

Kérdések és válaszok egy geotermikus koncesszió megvalósításának előkészítése során

Questions and answers when preparing to implement a geothermal concession

ID. ŐSZ ÁRPÁD

E-mail: oszarpad46@gmail.com



Magyarország a magas geotermikus gradiensének köszönhetően kedvező adottságokkal rendelkezik, de a legtöbb hazai hasznosítás alacsonyabb hőmérsékletű. Léteznek azonban nagy entalpiájú tárolók is az ország területén. A nagy entalpiájú geotermikus energia a Föld belső hőjének hasznosítását jelenti olyan rendszerekben, amelyekben a kitermelhető fluidum (víz vagy gőz) magas hőmérsékletű és nyomású. A nagy entalpiájú rendszerek jellemzően 150 °C feletti hőmérsékletűek. Elméleti megfontolások szerint a Pannon-medence mezozoós–paleozoós aljzatában, mélyebb szintben (4-5 km) nagy entalpiájú geotermikus tárolók vannak. A Fábánsebestyén–4. mélyfúrás víz/gőz kitörése látványos gyakorlati alátámasztást adott ennek a nézetnek. A Fábánsebestyén–4. mélyfúrás magas entalpiájú geotermikus tárolót tárt fel a Pannon-medence aljzatában. Az energiahordozó fluidum túlhevített sós víz, amelynek nyomása a hidrosztatikusnál jóval nagyobb. A tároló teljes egészében a töredezett-repedezett medencealjzatban helyezkedik el. A tároló töréses szerkezetét jelentős mértékben tektonikai hatások, oldaleltolódásos zónához tartozó lokális „push-up” folyamat hozta létre. Jelentős lehet a túlnyomásos márgaösszlet által generált természetes hidraulikus repedésrendszer is. Magyarország jórészt kiaknázatlan nagy entalpiájú geotermikus energiakészlete lehetővé teszi áramtermelő geotermikus rendszerek létesítését. A nagy entalpiájú geotermikus energiahasznosítás a hazai szerkezet- és szénhidrogén-kutatások során feltárt aljzati kiemelkedésekre fókuszál.

Kulcsszavak: entalpia, víz/gőz, mélyfúrás, kitörés, kútszerkezet, vízkőképződés, gáztartalom, vízvisszanyomás, kúthasznosítás, kérdés/felelet

Hungary has favorable conditions due to its high geothermal gradient, but most domestic utilization is at lower temperatures. However, there are also high-enthalpy reservoirs in the country. High-enthalpy geothermal energy refers to the utilization of the Earth's internal heat in system where the extractable fluid (water or steam) is at high temperature and pressure. High-enthalpy temperatures above 150°C. According to theoretical considerations, there are high-enthalpy Mesozoic-Paleozoic basement reservoirs of the Pannonian Basin, at a deeper level (4-5 km). The water/steam blow-out of the Fábánsebestyén–4 borehole provided spectacular practical support for this view. The Fábánsebestyén–4 deep borehole revealed a high-enthalpy geothermal reservoir in the basement of the Pannonian Basin. The energy-carrying fluid is superheated saline water, the pressure of which is much higher than hydrostatic one. The reservoir is located entirely in the fractured-cracked basin basement. The fractured structure of the reservoir was significantly created by tectonic effects and a local “push-up” process belonging to a lateral displacement zone. The natural hydraulic fracture system generated by the over-pressured marl assemblage may be significant. Hungary's largely untapped high-enthalpy geothermal energy reserves enable the establishment of electricity-generating geothermal system. The utilization of high-enthalpy geothermal energy focuses on subsurface outcrops discovered during domestic structural and hydrocarbon exploration.

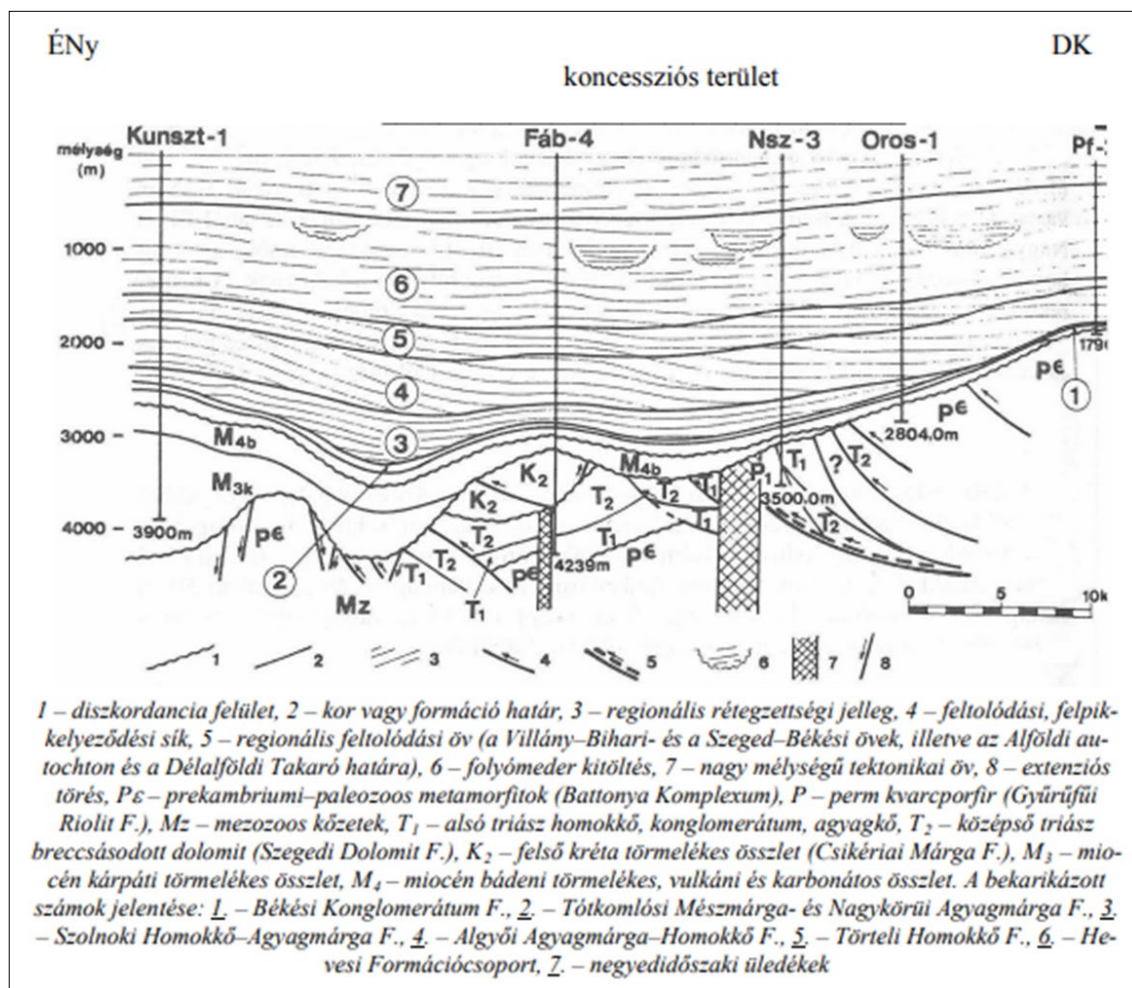
Keywords: enthalpy, water/steam, deep drilling, blowout, well construction, scale formation, gas content, water injection, well utilization, question/answer

Bevezetés

A 2019-es bányászati tenderre benyújtott pályázata alapján Gádoros területére, geotermikus energia kutatására, kinyerésére és hasznosítására meghirdetett kiírás nyertese két szénhidrogén-kutatással és -termeléssel foglalkozó társaság által létrehozott Kft. lett. A geotermikus koncesszió 35 évre szól, ez az időtartam újabb pályázat kiírása nélkül egy alkalommal, a koncessziós szerződés eredeti időtartamának felével meghosszabbítható. A koncessziós területen található a magyarországi mély szintű szénhidrogén-kutatás és nagy entalpiájú geotermikus energia két rendkívül fontos és meghatározó fúrása, illetve kútja, a Fáb-4. (Fáb-4.) és a Nagyszénás-3. (Nsz-3.) (1. ábra).

Magyarországon az 1909. és 2025. évek között bekövetkezett 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörések közül a 68. volt az 1985. december 16. és 1986. január 31. között zajlott Fáb-4. kutatófúrás kitörése. A magyarországi nagy mélységű szénhidrogén-kutatási program keretében a Világbanktól felvett kölcsönből mélyítette a Kőolajkutató Vállalat a Fáb-4. kutatófúrást. A fúrás mélyítése során 4239 m-ig 2 fűrőlyukegyensúly-meg-

bomlás volt (3733 m, 3795 m), amelyeket sikeresen helyreállítottak. A 4239 m talpmélységnél fűrőcsere céljából megkezdték a fűrőszár kiépítését. 1985. december 16-án 4 órakor, amikor már csak 1 db 7^{5/8}”-es fűrő és 3 db 6^{3/4}”-es súlyosbító volt a fűrőlyukban, ismét fűrőlyukegyensúly-megbomlás lépett fel és a lyukszájon túlfolyás jelentkezett. A munkapadon dolgozóknak még volt annyi idejük, hogy 1 szál 5”-es méretű fűrőcsővel, a tetején lévő biztonsági tolózárral, a fűrőlyukat lezárják. Amikor a lefűtató-rendszert is lezárták, a lyukfejen kialakult nyomás a fűrőszerszámot felfelé tolta addig, amíg a fűrőcső kapcsolója a kitörésgátló betéteket el nem érte. Ez a mozgás igen gyors és nagy erejű volt, mert a tolózár a szállítóhorognak ütközve letört, s így a súlyosbítókon és a fűrőcsővön keresztül a kiáramlás szabaddá vált. A fűrőiszap kiáramlása olyan erős volt, hogy a munkapadon már nem lehetett a kitörésgátló működtető pultját kezelni, ezért a főfűrőmester a betonlapon lévő távműködtetőhöz ment, hogy onnan kísérje meg a szerszám fűrőlyukba ejtését. A kinyitási kísérlet közben a kitörő fűrőiszap a szerszámot kilökte a fűrőlyukból, a súlyosbító három darabra tört. Ezek közül kettő a gépház tetejét áttörve a betonlapba állt, a harmadik a



1. ábra. Vázlatos földtani metszet a Kunszt-1., Fáb-4., Nsz-3., Oros-1. és Pf-129. fúrásokon keresztül



2. ábra. A gőzkitörés. A piros nyíl mutatja azt a súlyosbítót, amely a főfűrőmester halálát okozta¹

kitörésgátló távműködtető mellé állt a földbe és ott belengve a főfűrőmestert halálosan megsebesítette (2. ábra).

Megkísérelték a kitörésgátlót bezárni, azonban az már nem működött, később derült ki, hogy a belső tengelye eltörtött. 13 óra 30 perckor egy óriási robbanás történt a lyukszájnál, és az egész fűrőberendezés gőzfelhőbe került (3. ábra).



3. ábra. A fűrőberendezés gőzfelhőben

A kitörés hangja félelmetes volt, a sós víz és a gőz felfelé és oldalirányban tört a felszínre. Az oldalirányú

¹ A főfűrőmester Kiss Sándor 1962-ben végzett olajbányászati technikus volt. Ő volt a magyarországi kitörések második halálos áldozata. Az első halálos áldozat Eszenyi Viktor fűrőmester volt, aki az 1953-ban a Mezőkereszt-53. fúrás kitörésekor fulladásos halált szenvedett.

gőzsugár a kitörésgátló működtető eltört tengelyének helyén lépett ki, ahonnan a nyomás tengelycsontot kidobta. A további kitörés-felszámolási folyamatokat a helyszínen működő válságtáb határozta meg. Elsőként a fűrőlyuk eltömődékelését határozták el a lefúvató-vezetéken keresztül, tömedékelő anyagnak gumidarabokat, danamid (poliamid) golyókat, keményfát, parafát, alumíniumhengereket és -kapszulákat használtak. A tömedékelési munkák semmilyen eredményt sem hoztak. Világossá vált, hogy a kitörésgátló cseréje nélkül a kitörést nem lehet felszámolni. A válságtáb – tekintettel a nagy nyomásra, a magas hőmérsékletre és a rossz látási viszonyokra, továbbá a bányamentők testi épségének megőrzésére – úgy döntött, külföldi segítséget vesz igénybe. A Világbank a houstoni (USA, Texas) székhelyű Red Adair Co., kitörésselhárítási társaságot ajánlotta.

Amíg a külföldi szakemberek és eszközök megérkeztek, a kitörés folyamatosan zajlott, közben méréseket, valamint áramlási és hőtechnikai számításokat végeztek. A lyukfejen 360 bar nyomást és a lyukfej-szerelvény külső felületén 160 °C hőmérsékletet mértek. A kitörés alatt hozammérést nem tudtak végezni. A kitermelt forró víz és gőz mennyisége becslések szerint 5000–8000 m³/nap, a számított értéke 8400 m³/nap volt.

1986. január 2-án megérkeztek az amerikai szakemberek, felmérték az addig elvégzett munkát és a kialakult helyzetet, és a mentést irányítóival az alábbi programot dolgozták ki:

1. Ki kell rakni a fűrőárbocból a fűrőcsöveket és súlyosbítókat, le kell szerelni a fűrőberendezést és el kell távolítani a fűrőárbocot.
2. Kitörésgátló cserét kell végrehajtani.
3. Nyomásalatti módszerrel termelőcsövet kell beépíteni.
4. Szabályozott nyomású lyukegyensúly-helyreállítást kell elvégezni.

Az első két lépést 1986. január 26-ig sikeresen végrehajtották, azonban a nyomás alatti termelőcső-beépítés a béléscsőben kialakult vízkölerakodás (teteje 1150 m-ben volt) és a beépítő szerkezet valamennyi gumitömítésének tönkremenetele miatt meghiúsult. Így szabályozott nyomású lyukegyensúly-helyreállítást sem lehetett megvalósítani. Nem maradt más lehetőség – amit a mentést irányítók mindenféleképpen el akartak kerülni –, mint a lyukmegölés.² Ezt a műveletet 1986. január 31-én sikeresen végrehajtott-

² A lyukmegölés a lyukegyensúly-helyreállítás nem szabályozott nyomású módszere, amikor is a fűrőlyukban lévő összes fluidumot (kőolajat, földgázt, vizet vagy ezek elegyét) nagy sűrűségű fűrőiszappal és magas nyomással visszanyomják a rétegbe.

ták és ezzel a 47 napig tartó gigászi küzdelem a természet erejével véget ért (4. ábra).



4. ábra. A gőzkiáramlás a kitörésgátló csere után és a lyukmegelőzés előtt

A fúrást 1987-ben kivizsgálták és szénhidrogénre meddő lett, záró cementdugóval és 700 bar nyomáshatárú karácsonyfával látták el (5. ábra). Azóta néhányan (CEGE Zrt., GeoBlu Kft.) próbálkoztak a kút geotermikus hasznosításával – eredménytelenül.



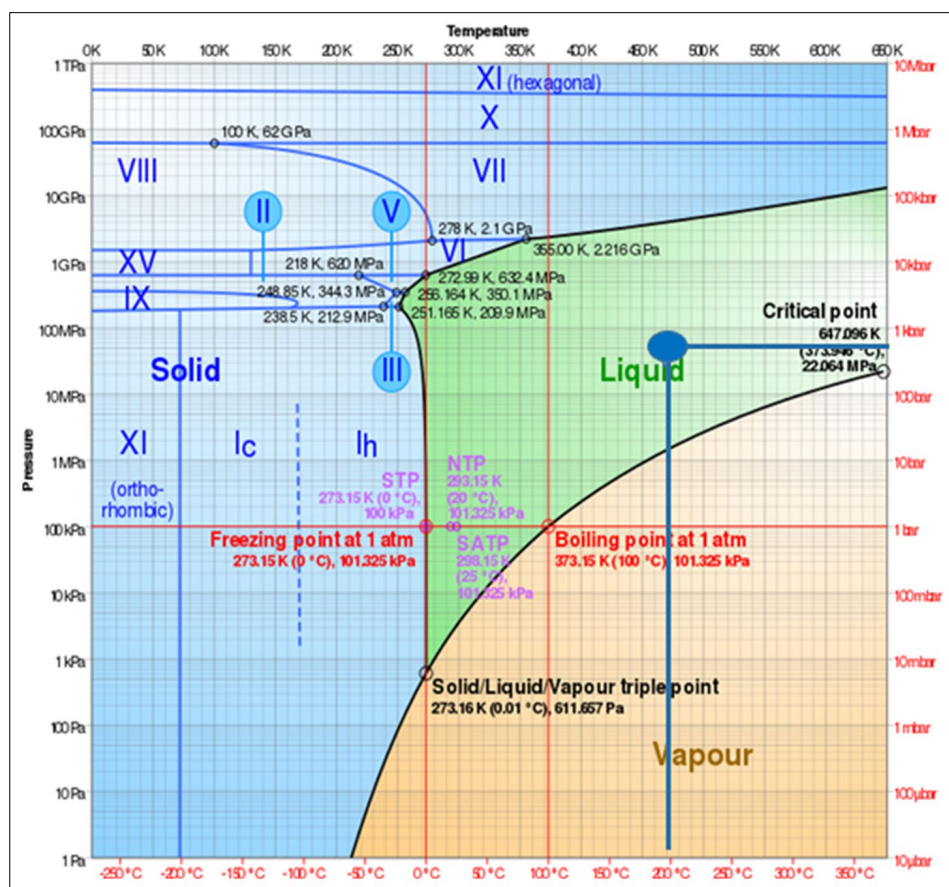
5. ábra. A Fábiánsebestyén-4. kút kútfejszerelvénye a karácsonyfával

Az 1981-ben szénhidrogén-kutatási célból mélyült Nagyszénás-3. fúrás mélyítése után az elsődleges rétegvizsgálatok során a 2922–2935 m közötti szakaszból 16 mm-es fűvókán 295–300 bar nyomással nem mért mennyiségű 105 °C-nál melegebb forró vízgőz-termelést kaptak. 1991-ben viszonylag hosszú idejű rétegvizsgálatot végeztek a tárolókapacitás megállapítására. Az 1981-ben 3500 méterig lefűrt kútban 2,10 kg/dm³ sűrűségű iszappal dolgoztak. 1991-ben végzett kútmunkáknál ugyanezen iszapsűrűség mellett a kúton kiépítéskor túlfolyást észleltek, ezért az iszapsűrűséget 2,121 kg/dm³-re emelték. A konglomerátum szakaszban 4–7%, a homokkőrétegekben 8–10% porozitás volt jellemző. A kőzet repedezettsége a tárolókapacitást, különösen az áteresztőképességet (permeabilitást) jelentősen növelheti. A középső triász breccsásodott dolomit a legkedvezőbb tároló tulajdonságú preneogén kőzet a fúrásban. A tárolótulajdonságok a

mélységgel alig romlanak. A részletes rétegvizsgálat során a 3038–3492 m szakaszon perforált béléscső mögötti rétegek hosszan tartó vizsgálatokor termeltetés közben 3006 m-ben maximálisan 185,47 °C hőmérsékletet mértek. A termeltetés közbeni hőmérséklet-gradiens-mérés alapján a beáramlás 3165 méterből jött. A geotermikus gradiens erre a mélységre 55,4 °C/km. A termeltetés után lezárt kútban 25,5 óra alatt a hőmérséklet 184,84 °C-ra csökkent. A rétegvizsgálatok során a vízzel és gőzzel együtt termelt földgáz minősége változó volt. Az éghető rész 45,85–62,58% között, a fűtőérték 17,21–23,2 MJ között ingadozott. A víz összetétele is változó volt, azonban általánosan elmondható, hogy nagy sókoncentrációjú, változó keménységgel bíró lágú, NaCl-os ásványvíz, amelynek litium, fluorid- és meta-kovászav-tartalma is jelentékeny. Az utólagos vizsgálata során a fűrészáras rétegvizsgálatot 1991. május 16–21. között, a kapacitásvizsgálatot 1991. május 14–21. között végezték. A fűrészáras rétegvizsgálatot a talpig tisztított kútban 3000 méterben ültetett tömítővel végezték el. A fűrészáras vizsgálat során 3 termeltetési mennyiséget és 3 nyomásemelkedést mértek. A vizsgálati fűrészcső és a súlyosbítórakat egy része a fűrészerendezés csigasorán felfüggesztett állapotban volt. A horogterhelést azonos értéken tartva a rendszer 2,95 métert mozdult el felfelé (a flexibilis termeltető rendszer az elmozdulást követte). A kapacitásmérés során a kút kezelhetősége és a vízkőkiválás elkerülése érdekében kettős szűkítést alkalmaztak (a kút 3470 méterig kitisztított volt). A vizsgálat hőtechnikai elemzése alapján a fluidum valószínűleg 3165 méternél (T1 Jakabhegyi Homokkő Formáció) áramlott a kútba. A nyomásemelkedési görbe alakja inhomogén tárolóra utal. A közvetlen kútkörnyezeten (400 m-en) túl az áteresztőképesség várhatóan jobb, mint a közvetlen környezetben. En-



6. ábra. A Nagyszénás-3. kút kútfejszerelvénye a karácsonyfával



7. ábra. A víz állapotábrája

nek utánpótlódása viszont kisebb áteresztőképességű tárolórészből valószínűsíthető. A rétegvizsgálat során a maximálisan 1891,2 m³/nap víz és vele együtt kitermelt 10060 m³/nap gáz 4,5 bar nyomáson és 171 °C hőmérsékleten hagyta el a lefűtató vezetékét. Megfelelő kútszerkezetet és kútfej kialakítást feltételezve akár 3000 m³/nap víz + 15600 m³/nap gázmennyiséget is kitermelhetőnek tartanak. A termelhető gázmennyiségek mellett a kútnál megállapított 5,2 m³/m³ gáz/víz viszonytal és gázösszetétellel lehet számolni. A műveletek elvégzése után 1991 júliusában a kútban 2988 méterben helyezték el a záró cementdugót, a termelőcsövet kiépítették, és karácsonyfát szereltek fel (6. ábra).

Megállapítható, hogy a nagyszénási túlnyomásos hévíztárolóból a vízzel együtt oldott állapotú földgáz is termelhető. A szilícium-geotermométeres vizsgálatok alapján, a kúttalpon 193–199 °C hőmérsékletet tételeznek fel, a mérések során 4–8 km-es mélységből feláramló víz jelenlétét mutatták ki. A kútban megjelent nagy nyomású forró víz-gőz-gáz elegyet a Nagyszénás–Orosháza térségében várható a legalább 10 km-re lenyúló Ny-ÉNy–K-DK-i csapás tektonikai övhöz köthető a forróvíztárolóból származtatják.³

³ Egy magát feltalálónak nevezett vállalkozó 1992-ben 5 milliárd forint névértékű kárpótlási jeggyel akart megvalósítani egy, a kútra telepítendő 5000 kW-os villamos

Kérdések és válaszok

A geotermikus koncesszió megvalósításának előkészítése során számtalan kérdés merült fel, amelyek közül hat megválaszolását az alábbiak ismertetik.

Első kérdés: Mi lépett be a rétegből a 4239 m talpmélységnél történt fúrólyukegyensúly-megbomláskor?

A fúrólyukegyensúly-megbomláskor három fajta rétegtartalom áramolhatott be:

- ☐ szuperkritikus víz;
- ☐ nedves gőz;
- ☐ folyékony halmazállapotú víz.

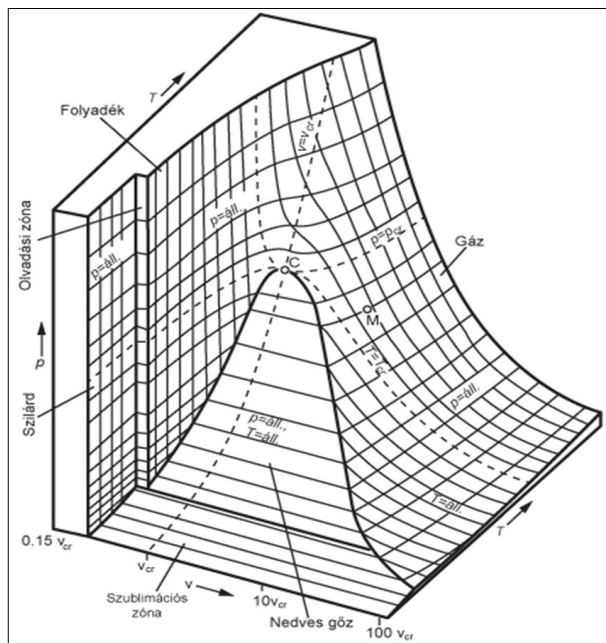
Szuperkritikus víz. A víz 373,946 °C hőmérséklet és 220,64 bar nyomás fölött „szuperkritikussá” válik.

erőművet. Emberek százaitól felvásárolta a kárpótlási jegyeiket, amit aztán elfelejtett kifizetni. A fejenként 200 000 forinttól egészen egymillió összegű kárpótlási jegyeiket így módon elveszített emberek bírósághoz fordultak, s az hiába ismerte el igazukat, a vállalkozó nem fizetett. Tervéből bukás lett, börtönbe került, kettő és fél évre elítélték, amiből leült másfelet. Kiszabadulása után még próbálkozott perekkel, eredménytelenül. A kút azóta is zárva van, várja a felhasználását.

Efölött a kritikus pont fölött nem nevezhető sem szilárdnak, sem folyadéknak, de gázállapotúnak sem, leginkább „folyadékszerű gáz”-ként írható le (7. ábra).

Ha a szuperkritikus víz szerves anyaggal érintkezik, felszakítja annak kémiai kötéseit, majd oxigén hatására reakció megy végbe (pirolízis). A 3744 m mélységben elvégzett fűrészáras rétegvizsgálat (DST) során 3684,5 m-ben 712,26 bar nyomást, 190,5 °C hőmérsékletet mértek. A beáramlás helyeként feltételezett 3881 m átlagmélységű rétegben az extrapolált hőmérséklet 199,6 °C és a rétegnomás 731 bar. A 4239 méteres talpra 219 °C hőmérséklet és 768 bar nyomás valószínűsíthető. A fenti értékekből látható, hogy a rétegfájdum nyomása ugyan túlhaladja a szuperkritikus víz állapotához szükséges értéket, azonban a hőmérséklete nem. Így kijelenthető, hogy a 4239 m talpmélységnél történt fűrészyuk egyensúly-megbomlásakor nem szuperkritikus víz lépett be a fűrészyukba.

Nedves gőz. A nedves gőz egy kétfázisú vízgőzkeverék, amikor egy adott állapotban egyidejűleg van jelen a cseppfolyós és a gőzállapot. Az állapotegyenlet általában nem adható meg egyszerű, analitikus összefüggéssel. Táblázatosan vagy más állapotjelzők függvényében grafikusan adható meg. Nyilvánvaló, hogy egy olyan egyenlet, mint a $p = p(V, T)$ egy felületen ábrázolható a p - V - T koordináta-rendszerben. Ez az ún. állapotfelület szakaszosan folytonos felületdarabokból áll, ahogy az a 8. ábrán látható.

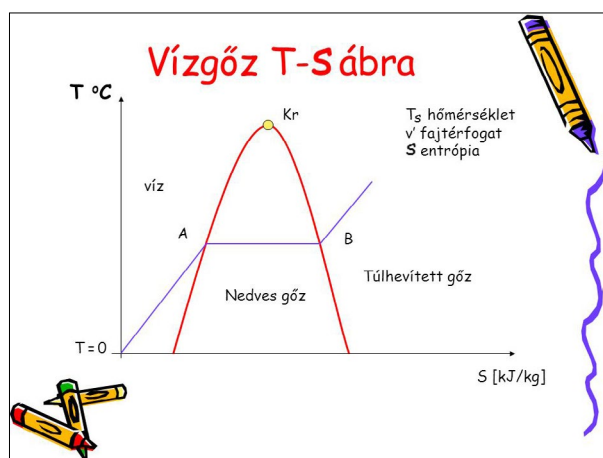


8. ábra. A víz teljes állapotfelülete

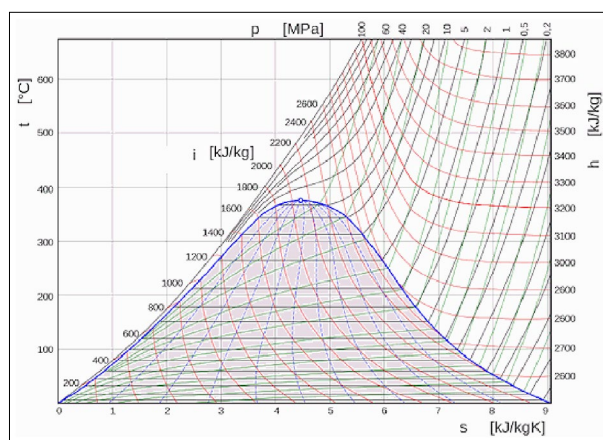
Szokás ennek a felületnek a vetületeit venni a p - V , a p - T és a V - T koordináta-síkokon. Egy ilyen vetületen a harmadik állapotjelzőt paraméterként

használják. Az állapotfelület konkrét alakja mindig jellemző egy adott anyagra. Más termikus állapotjelzők, mint az entalpia vagy az entrópia egyértékű függvényei a telítési hőmérsékletnek vagy a nyomásnak a telítési határgörbék mentén. Az alsó határgörbén a víz telített állapotban van, a felső határgörbén a telített gőzállapot található.

T (hőmérséklet) – S (entrópia) diagram. Az összefüggések grafikus megjelenítésére szolgál a T - S diagram, amely a jelenségek megértését nagymértékben megkönnyíti. A 9., 10. ábrán látható a vízgőz T - S diagramja.



9. ábra. A vízgőz T - S diagramja



10. ábra. A vízgőz T - S diagramja

Az entrópiát az abszcisszán, a hőmérsékletet az ordinátán ábrázoltuk. A diagram középpontjában egy jellegzetes harang alakú tartományt látunk, amelyet alsó és felső határgörbék fognak közre balról, illetve jobbról. A görbe tetőpontjában helyezkedik el a kritikus pont, amelynek paraméterei $p_c = 217,7$ bar, $T_c = 374$ °C és $v_c = 0,00318$ m³/kg. A kritikus pontban az entrópia $S_c = 4,4296$ KJ/kgK, az entalpia $I_c = 2099$ KJ/kg. Az alsó határgörbe választja el a vízfázist a víz-gőz keverék tartományától. A felső határgörbe a

kétfázisú tartományt választja el a száraz, túlhevített gőz területétől. A telítési határgörbéken bármelyik termodinamikai paraméter csupán egyetlen változótól függ: ez lehet a telítési hőmérséklet vagy a nyomás. Mind a víz állapotábráján és a teljes állapotfelületén, mind pedig a vízgőz T – S diagramján látható, hogy a beáramlás helyén vagy a fűrőlyuktalpon lévő nyomás- és hőmérsékleti körülmények között csak vízfázis van jelen. Így kijelenthető, hogy a 4239 m talpmélységnél történt fűrőlyukegyensúly-megbomlásakor nem nedves gőz lépett be a fűrőlyukba.

Folyékony halmazállapotú víz. A beáramlás helyeként feltételezett 3881 m átlagmélységű tárolótól a lyukfejig tartó úton a nyomás 731 bar-ról 360 bar-ra csökkent, a hőmérséklet pedig 199,6 °C értékről mintegy 191,5 °C-ra mérséklődött. Ezek az adatok teljesen egyértelművé teszik, hogy a víz – útjának teljes hosszában – csak folyékony halmazállapotú lehetett. A 191,5 °C hőmérsékleten a telített gőz nyomása 13,3 bar, így gőzfázis megjelenése a fűrőlyukban sehol sem volt lehetséges. Tehát a lyukfej kilépő keresztmetszetéig nagy nyomáson áramlott a víz, amely a kilépéstől kezdve individuális fázisátalakuláson (gőz) ment át. A mérések alapján várható 202 °C körüli hőmérsékletet jelentősen meghaladó, a SiO₂ geotermométer alapján becsült 254 °C hőmérséklet arra utal, hogy nagyobb, 5-6 km mélységből feláramló víz is jelen lehetett a fúrásban. Az L-Cl geotermométer 325 °C hőmérsékletadata is mélységi eredetű vizek (törések menti) feláramlását és az aljzatban tárolt vizekhez való hozzákeveredését valószínűsíti. A dehidratizációs (víztelenedési) elmélet szerint a Föld mélyében – a nagy nyomás és hőmérséklet következtében – a kőzetek eredeti víztartalmukat elvesztik, víztelenednek. Gautier kísérletileg kimutatta, hogy 1 kilogramm gránit vörös izzás mellett 2,5 gramm vizet ad le, azaz 1 km³ gránit 25–30 millió tonna vizet tud leadni. Weszelszky Gyula pedig azt mutatta ki, hogy a súlylyedő medencékben (pl. itt a Nagyalföldön) a geotermikus gradiens (földmelegedési fokozat) azért nagy, mert a medencealjzat kőzetei a magma közelébe jutva vizüket leadják, víztelenednek (dehidratizálódnak). Ez a víz gőz alakjában felfelé mozog, majd a viszonylag hidegebb rétegekben – adott nyomáson és hőmérsékleten – ismét folyékony halmazállapotú vízzé válik. A víztelenedő kőzetek így fel nem mérhető vízmennyiséget adhatnak át a felszínhez közelebb elhelyezkedő víztartó kőzeteknek. Ezáltal a felszín alatti víz is örökös körforgásban van, s ezt a vízféleséget profundus víznek nevezik.

A fentiek alapján, továbbá a víz állapotábráján és a teljes állapotfelületén, valamint a vízgőz T – S diagramján is látható, hogy a beáramlás helyén vagy a

fűrőlyuktalpon lévő nyomás- és hőmérsékleti körülmények között csak vízfázis van jelen. Így kijelenthető, hogy a 4239 m talpmélységnél történt fűrőlyukegyensúly-megbomlásakor folyékony halmazállapotú víz lépett be a fűrőlyukba. Ebből az is következik, hogy az itteni 200 °C körüli hőmérséklet és 700–800 bar körüli nyomás mellett a rétegekben a víz folyékony halmazállapotban van jelen.

A fűrőlyukban kialakult nyomás- és hőmérsékleti viszonyok mellett a víz sűrűsége 920 kg/m³, a kinematikai viszkozitási tényező $1,3 \cdot 10^{-7}$ m²/s. Bár a víz gyakorlatilag összenyomhatatlan, de a kompressziómodulusa jól számítható a hangsebességből: $K = \rho \cdot c^2$ vagy $K = \rho \cdot dP/d\rho$, ahol ρ a sűrűség, c a hangsebesség, $dP/d\rho$ a nyomás sűrűség szerinti deriváltja. Ez a víznél 22 000 bar körüli érték, azonban 200 °C körül 11 000–17 000 bar tartományig csökken, és a nyomástól is függ. Néhány érték a víz sűrűségére az érintett tartományban:

Hőmérséklet (°C)	Gőznyomás (bar)	Tényleges nyomás (bar)	Sűrűség (kg/m ³)
180	10	11	886
180	10	200	900
200	15,6	16	864
200	15,6	735	910
Megjegyzés: A 2% körüli sótartalom 6 kg/m ³ sűrűség-növekedésnek felel meg.			

Első válasz: A 4239 m talpmélységnél történt fűrőlyukegyensúly-megbomlásakor 920 kg/m³ sűrűségű folyékony halmazállapotú víz lépett be a fűrőlyukba.

Második kérdés: Milyen gáztartalma volt a víznek?

A dolomitban (dolomitbreccsában) mint kettős porózitású rendszerben szinte gázatlan víz van. Még annyi gáz sincs benne, amennyi az itt lévő nyomáson és hőmérsékleten oldatban lehetne, és ennek oka a nagymértékű túlnyomás. A gáztartalomról csak annyi információ van, hogy a kitörés folyamán három gáz jelenlétét és koncentrációját folyamatosan mérték: metánt (CH₄), szén-dioxidot (CO₂) és kén-hidrogént (H₂S). A metántartalom a kitörés megközelíthető területén megmérhetetlenül alacsony volt, jöllehet a levegőnél könnyebb gáz távozását a felszínre tört vízből könnyű magyarázni. Hasonlóképpen alacsony volt a szén-dioxid-koncentráció is, ez viszont csak 140 °C körül lesz könnyebb a 0 °C körüli levegőnél. A mért alacsony szén-dioxid-koncentrációt magyarázhatják a következő kérdésben leírtak is, azaz, hogy a mért CO₂ csak a vízben oldott kalcium-hidrogén-karbonát bomlásakor keletkezett. A kén-hidrogén enyhe szaga észlelhető volt, de messze határérték alattinak mérték. A

három gáz egyike sem igényelt a szokásostól eltérő óvintézkedést.

Második válasz: A 4239 m talpmélységnél történt fűrőlyukegyensúly-megbomlásakor a fűrőlyukba belépett 920 kg/m³ sűrűségű folyékony halmazállapotú víz szinte semmi szén-dioxidot, továbbá alig valamennyi metánt és kén-hidrogént tartalmazott.

Harmadik kérdés: Milyen volt a vízkőképződés?

A vízkőkiválás a vízben oldott sók kiválása a vízkutak felső szakaszán és a kútfejen – a buborékpont felett – a víz szabad szén-dioxid (CO₂) és a kalcium-hidrogén-karbonát- (Ca(HCO₃)₂) tartalma közti egyensúly felbomlása során történik. A rétegvizekben szoros összefüggés áll fenn a víz szabad szén-dioxid- és kalcium-karbonát-tartalma között. A vízben oldott kalcium-hidrogén-karbonát a



egyenletnek megfelelően bomlik a vízben gyakorlatilag oldhatatlan kalcium-karbonátra, vízre és szén-dioxidra. Ez az egyenlet megfordítható. Tehát, ha a vízben oldott szén-dioxidot valamilyen módon eltávolítjuk, akkor a reakció a felső nyíl irányában zajlik le, s a vízből oldhatatlan kalcium-karbonát válik ki. Ha viszont szén-dioxidot vezetünk a vízbe, a reakció megfordul, és a kivált kalcium-karbonát feloldódik, hidrokarbonáttá alakulva. Azt a szabad szén-dioxidot, amely a feloldódott a (HCO₃)₂ oldatban tartáshoz szükséges, egyensúlyi szén-dioxidnak nevezik. Ha a víz éppen az egyensúlyi szén-dioxidnak megfelelő szabad CO₂-t tartalmazza, akkor karbonát-szén-dioxid egyensúly áll fenn. Az egyensúlyi szén-dioxid-mennyiség a víz hőmérsékletétől és a Ca(HCO₃)₂-tartalmától függ. A szabad, illetve az egyensúlyi CO₂-, valamint a Ca(HCO₃)₂-tartalmától függően a vizekben három eset különböztethető meg:

- Ha a víz szabad szén-dioxid-tartalma kevesebb, mint amennyi a karbonát-szén-dioxid egyensúlyhoz szükséges, a vízből kalcium-karbonát válik ki mindaddig, amíg a kalcium-hidrogén-karbonát-koncentráció az egyensúlyi értékre nem csökken. A béléscső belső falán így vízkőképződés alakul ki, csökkentve a belső átmérőt, és növelve az áramlási nyomásvesztést. Ez történt a kitorés alkalmával a csökkent szén-dioxid-tartalmú lehűlő vízzel.
- Ha a víz szabad szén-dioxid-tartalma a kalcium-hidrogén-karbonát koncentrációjának megfelelő egyensúlyi értékkel egyenlő, az áramló vízből nem válik ki vízkő.
- Ha a víz szabad szén-dioxid-tartalma nagyobb az egyensúlyi értéknél, akkor az esetleg már lerakódott kalcium-karbonát-réteget leoldja a

béléscső faláról, az acéllal szemben pedig agresszíven viselkedik.

A szilíciumdioxid (SiO₂) kiválása is hozzájárulhatott a vízkövesedéshez.

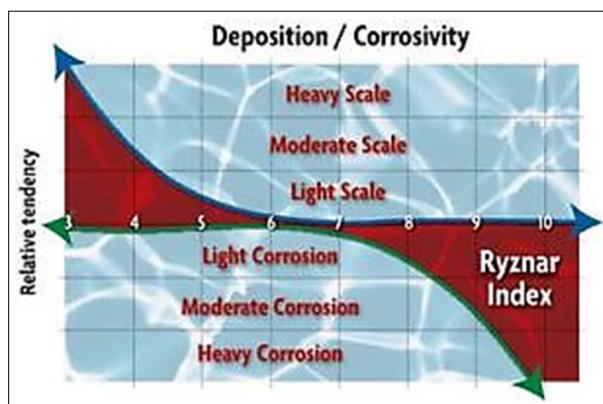
Az egyensúlymegbomlási folyamatot a víz pH-értéke is befolyásolja. A víz vízkőkiválási és korrodálási hajlamának értékelésére alkalmazzák a Ryznar-indexet, más néven Ryznar-féle *stabilitási indexet* (RSI), amelyet a víz aktuális pH-ja, hőmérséklete, só- és ion-tartalma alapján lehet meghatározni:

$$\text{RSI} = 2 \times \text{pH}_s - \text{pH},$$

ahol pH_s a szaturációs (telítettségi) pH

Abban az esetben, ha a Ryznar-index értéke:

- RSI < 5 intenzív vízkőkiválás várható;
- 5 < RSI < 6 vízkőkiválás várható;
- 6 < RSI < 7 átmeneti tartomány van;
- 7 < RSI < 7,5 korrozio a jellemző;
- 7,5 < RSI < 9 korrozio várható;
- 9 < RSI intenzív korrozio várható (11. ábra).



11. ábra. A Ryznar-index

A Ryznar-index kalkulátorral elvégzett számítás alapján a felszínre kitörő víz RSI-értéke 3,72-re adódott.

A kitorés közben 100%-ban megbízható vízmin-tavétel nem volt lehetséges, mert csak az árokban elfolyt és a felszíni vízzel keveredett víz volt hozzáférhető. Ezt a vizet később egy földbe vájt tartalékgödörbe vezették. A vízben oldott sókról – hasonlóan a gáztartalomhoz – így kevés megbízható információ adódott. A vett vízmintákban a vízkövesedést okozó sók már nem nagyon voltak, ezek a hűlés során kiváltak. A sóösszetételben felsorolt sókból csak a Ca(HCO₃)₂ tudott kicsapódni. A többi só oldhatósága magasan az adott koncentráció fölött volt, a NaCl oldhatóságát még a hőmérséklet is alig befolyásolja. A könnyebb sók – elsősorban a nátrium – messze az oldhatósági határ alatt voltak. A konyhasó oldhatósága 20% körüli, a beáramlott rétegvíz só-tartalma 2% kö-

rüli volt (kisebb, mint a leghígabb tengervíz). A szulfáttartalom kizárja az alkáli földfémeket, a magnéziumot kivéve, azonban korlátozott kalciumtartalom megengedett. Tehát sem barit, sem pedig rádiumsók nem lehettek jelen. A kismértékben kimutatott barit a nehezített öblítőiszapból szennyezésként kerülhetett be, de földtanilag is nehezen képzelhető el ebben a mélységben barittartalmú réteg. A kivált vízkő tömör, szinte kvarc állagú, sósavban a porozitás híján lassan, de maradék nélkül oldódott, s ez kizárja a kovasavtartalmat. Hófehér színű volt, ez viszont arra utalt, hogy vas vagy egyéb nehézfém kizárható volt. Az, hogy a víz szinte semmi szén-dioxidot nem tartalmazott és a $8\frac{5}{8}$ "-es bélésű csőben 1167,5 m-ben megindult a vízkőkiválás, továbbá a kalkulált Ryznar-index értéke, a vízkő tömörsége és keménysége is arra utalt, hogy itt az egyensúlyfelbomlással volt kapcsolatos a vízkőképződés. A $8\frac{5}{8}$ "-es bélésű csőben kivált vízkövet 21 napig fűrtak ki, és a vízkő vegyi összetételéről nincs adat. A rétegfluidum teljes oldott szilárdanyag- (só-) tartalma 27,21 g/l volt.

Harmadik válasz: A vízkőképződés elsősorban a víz szabad szén-dioxid- (CO_2 -) és a kalcium-hidrogén-karbonát- ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -) tartalma közti egyensúly felbomlása során a nagy vízkövesedést okozó kalcium-hidrogén-karbonát és a többi kismértékű vízkövesedést okozó sók kicsapódásával volt kapcsolatos.

Negyedik kérdés: Mi tudható a belépett víz radioaktivitásáról?

A radioaktivitásra vonatkozó információk eredetét és tartalmát ellenőrizni kell, ugyanis a fűrólyukban számos radioaktív mérés történt – elsősorban rétegtani céllal (természetesgamma, gamma–gamma, neutron–gamma stb.), s ezek semmiféle rendkívüli eredményt nem mutattak ki. A fűróberendezésnél izotóppal dolgozó szakemberek (geofizikusok, geológusok, iszapvegyészek, csővizsgálók) a zsebükben hordott doziméterrel közlekedtek, ennek eredményéről sincs semmi rendkívüli. Ha lett volna – bármilyen okból is –, akkor riasztottak volna. Továbbá a vízelemzésből is hiányzik a káliumtartalom, pedig ez az az elem, amelyik a háttérsugárzás fő forrása, annak 86%-át adja. A kálium ^{40}K izotópja is radioaktív. A kőzetek káliumtartalmának 0,0118%-a radioaktív izotóp, felezési ideje 1,277 milliárd év. Ez 88%-ban β - és 1,36 MeV γ -sugárzással ^{40}Ca izotóppá alakul, a bomlás 12%-ban elektronbefogással (pozitronkibocsátással) metastabil ^{40}A atom és 1,46 MeV γ -sugárzással stabil ^{40}A atom keletkezik. Az argon a továbbiakban már nehezen válik el a földgáztól, és jelzi azt az időt, amelyet a földgáz a migráció során a csapdában töltött. A kalciumot viszont már soha nem lehet elkülöníteni az eleve kő-

zetalkotó kalciumtól, tehát semmiféle információs értéke nincs.

Negyedik válasz: A belépett víz radioaktivitásáról meglévő információk és adatok bizonytalanok, azokat ellenőrizni kell.

Ötödik kérdés: A lyukmegölés folyamán milyen mélységben történt a rétegfluidum visszanyomása a rétegbe?

A $8\frac{1}{2}$ "-es szelvényben előfűrés közben $1,65\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszap alkalmazásával 3733 m talpmélységnél a fűrólyuk egyensúlya megbomlott, az egyensúly helyreállítását fűrés módszerrel $2,10\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszappal végezték el. Ezzel az öblítőiszap sűrűséggel 3740 m-ig magot fűrtak folyadékvesztés nélkül. Ez azt jelentette, hogy a 2750–3740 m közötti nyitott szakasz elbírta a $2,10\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszapból adódó nyomást. A nyitott fűrólyukszakaszt felbővítették $10\frac{5}{8}$ "-re, majd a $8\frac{5}{8}$ "-es bélésű csövet 3698 m-ig beépítették, és 1970 m-ig elcementezték a fűrólyuk teljes egyensúlya mellett. 3744 m-ig előfűrtak, ahol rétegeterhelési próbát (FIT = *Formation Integrity Test*) tartottak $2,10\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszappal és 35 bar nyomással, ami eredményes volt. Ez azt jelentette, hogy a 3698–3744 m közötti nyitott felső kréta rétegsor elbírta a $2,10\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszap nyomását folyadék kiszivárgás vagy felrepedés nélkül. Ebben a mélységben elvégzett fűrószáras rétegvizsgálat (DST = *Drill Stem Test*) eredménye: $P_{ws} = 712,3$ bar, ez azt mutatta, hogy a rétegnyomás ~ 74 bar-ral volt túlegyensúlyozva.

3795 m-es talpmélységnél kiépítés közben a fűrólyuk egyensúlya ismételtén megbomlott, túlfolyás jelentkezett olyan helyzetben, hogy a fűrószerszám vége 564 m-ben volt. Ezért a fűrólyuk egyensúlyát csak lyukmegöléssel lehetett helyreállítani, amit $2,12\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszappal sikeresen végrehajtottak. A további előfűrés alatt 4239 m-ig az öblítőiszap sűrűségét $2,12$ – $2,14\text{ kg/dm}^3$ értéken tartották, további sűrűség növelés ($2,15\text{ kg/dm}^3$) a részleges iszapvesztés miatt nem volt lehetséges. Ez azt jelentette, hogy a 3698–4239 m közötti nyitott felső kréta, középső triász és alsó triász rétegsorok elbírták a $2,14\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszap nyomását folyadék kiszivárgás vagy felrepedés nélkül.

4239 m-es talpmélységnél a fűrószerszám kiépítése közben a fűrólyuk egyensúlya harmadszor is megbomlott, amely kitöréshez vezetett. A kitörés áramlás- és hőtechnikai folyamatainak rekonstrukciója során a kitörés helyeként feltételezett 3881 m átlagmélységű rétegben az érintetlen rétegnyomás 731 bar volt. Ebben a mélységben az $2,12\text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszap statikus nyomása 822,8 bar nyo-

más volt, amely az jelenti, hogy a rétegyomás ~92 bar-ral volt túlegyensúlyozva. A 4239 m-es talpra extrapolált nyomás 768 bar. Ebben a mélységben az 2,12 kg/dm³ sűrűségű öblítőiszap statikus nyomása 898,7 bar nyomás volt, ami az jelenti, hogy a rétegyomás ~131 bar-ral volt túlegyensúlyozva. Ez azt mutatja, hogy a fűrőlyuk egyensúlyának megbomlását nem a váratlanul megemelkedett rétegyomás, hanem a fűrőszerszám kiépítése közbeni lyukeltöltés elmulasztása vagy a gyors kiépítés miatt fellépő fűrőlyuk megdugattyúzása, illetve mindkettő egyszerre történő hatása okozta. A fűrőlyuk egyensúlyát végül lyukmegöléssel lehetett helyreállítani, amelyet 2,15 kg/dm³ sűrűségű öblítőiszappal sikeresen végrehajtottak. A kitörés folyamán a fűrőlyukban 0,92 kg/dm³ sűrűségű folyékony halmazállapotú víz volt, amelyet a lyukmegölés folyamán vissza kellett nyomni a rétegbe. A fűrőlyuk teljes ürtartalmának megfelelően 130 m³ 2,15 kg/dm³ sűrűségű iszapot nyomtak a fűrőlyukba. A lyukmegölés 420 bar nyomással indult, amely fokozatosan csökkent a művelet végéig. Majd 18 nap után a fűrőlyuk és a lyukfejszerelvény rendbetételére egy kisebb kapacitású fűrőberendezést szereltek fel. A 8^{5/8}”-es béléscsővön 35 bar nyomást találtak, ami azt jelentette, hogy a fűrőlyukban a lyukaltól felfelé 380 m magasságban (3879 m-ig) 0,92 kg/dm³ sűrűségű folyékony halmazállapotú víz volt, a felett pedig 2,15 kg/dm³ sűrűségű iszap. A sikertelen nyomásleeresztés után a fűrőlyukat ismét megölték 60 m³ 2,15 kg/dm³ sűrűségű iszappal. Ezek után tudták folytatni a munkálatokat.

Ötödik válasz: A lyukmegölés folyamán 3750 m és 3879 m közötti középső triász repedezett dolomit (dolomitbreccsa-) rétegbe történt a rétegfluidum viszszanyomása.

Hatodik kérdés: Hová sajtolható vissza a kitermelt rétegvíz felhasználás után?

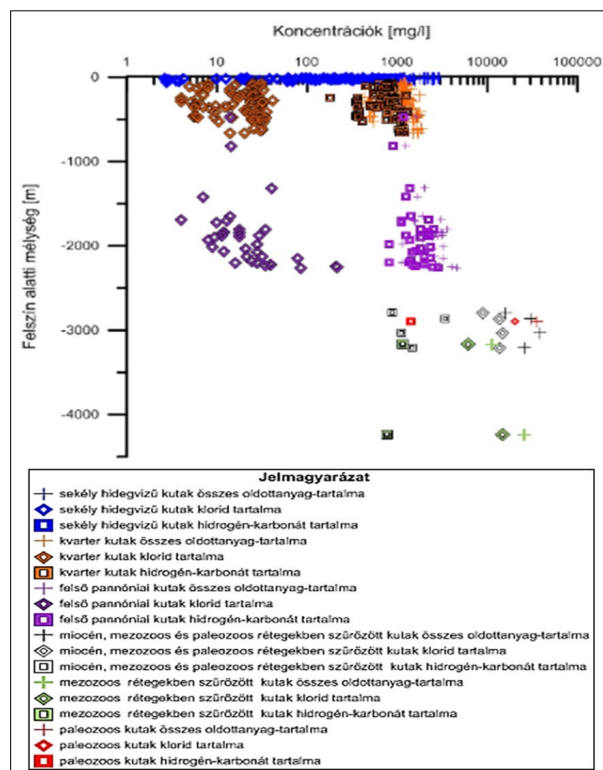
A visszasajtolásra kerülő víz minősége lehetőleg közel azonos legyen a befogadó rétegekben (tároló képződményekben) lévő víz minőségével. Kiemelt megkötés, hogy lebegőanyag- (szárazanyag-) tartalma nem haladhatja meg az 1 mg/l-t, továbbá bakteriológiai és biológiai szennyeződések nem tartalmazhat. A visszasajtolásnál azt is figyelembe kell venni, hogy a felhasznált vízből már eltávozott a gáztartalom, kicsapódott néhány oldott anyag, így a visszanyomott víz már összetétel szempontjából sem rendelkezik azonos paraméterekkel. Fontos kiemelni, hogy hévíz visszatáplálás – a hatóságok által jóváhagyott – a kitermeléssel azonos vagy azonos célra használt felszín alatti térrészbe csak azoknál a bizonyítottan nem szennyeződött, zárt rendszerű, energetikai célú hé-

vízhasznosításoknál jöhet szóba, ahol kizárható a felszín alatti vizek elszennyezése.

Tehát:

- ❑ A geotermikus energia hasznosítására kitermelt vizet zárt rendszerben kell felhasználni és visszacsajtolni.
- ❑ A kitermeléssel azonos vagy azonos célra használt rétegbe történő vízvisszasajtolás előírása kizárja a pannon rétegekbe történő vízvisszasajtolást.
- ❑ Az, hogy a visszasajtolásra kerülő víz minősége lehetőleg közel azonos legyen a befogadó rétegekben lévő víz minőségével, szintén kizárja a pannon rétegekbe történő vízvisszasajtolást, ugyanis
 - a területen a felső pannóniai vizek összes oldottanyag-tartalma (TDS) 1,9–3,0 g/l,
 - a területen az alsó pannóniai vizek összes oldottanyag-tartalma (TDS) ~5 g/l,
 - a rétegfluidum összes oldottanyag-tartalma (TDS) a Fáb–4. fúrásban 27,21 g/l, a Nsz–3. fúrásban 24,45–25,40 g/l volt.

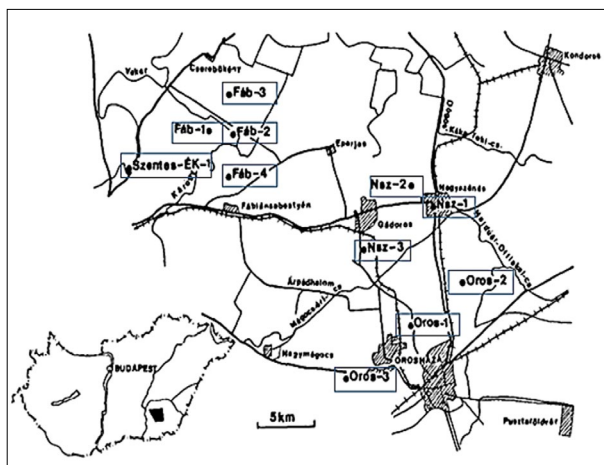
A vízvisszasajtolás csak az alsó pannóniai képződményeknél idősebb rétegekbe történhet, ahol 15,0–30,0 g/l az összes oldottanyag-tartalma (TDS) a rétegvizeknek. A koncessziós terület felszín alatti vizei főbb vízminőségi paramétereinek mélység szerinti alakulását a 12. ábra mutatja be.



12. ábra. A főbb vízminőségű paraméterek alakulása a mélység függvényében a koncessziós terület felszín alatti vizeiben

A mélység növekedésével nő a víz összes oldott-anyag-tartalma a felszíntől számított körülbelül 3000 méteres mélységig, mely alatt számottevő változást e komponens nem mutat. Éles vízminőségi változás tapasztalható körülbelül 2500 méter felszín alatti mélységben, ahol a víz kémiai jellege NaHCO_3 -os jellegről NaCl -os jellegre vált.

Gádosoros geotermikus koncesszió körzetében lévő kutak. A Gádosoros geotermikus koncesszió körzetében – kb. 15 km sugarú körön belül – 11 olyan szénhidrogén-kutató fúrás (kút) található, amelyet érdemes víz-visszasajtolásra megvizsgálni. Ebből 10 a koncesszió területén van és egy azon kívül (Oros-3.) (13. ábra).



13. ábra. A Gádosoros geotermikus koncesszió körzetében lévő kutak

A 10 db szénhidrogén-kutatófúrásból 6 db pretercier aljzatot elért fúrás esik a területre. A terület 2000 m-nél mélyebb fúrásokkal való feltártsága közepes: a Fáb-1., Fáb-2., Fáb-3., Fáb-4., Nsz-1., Nsz-2., Nsz-3., Oros-1., Oros-2. és Szent-ÉK-1. fúrások esnek a területre (1., 2. táblázat).

A Gádosoros geotermikus koncesszió körzetében lévő 11 kútba történő vízvisszasajtolás lehetőségének vizsgálata az alábbi szempontok alapján történt:

- ❑ Van-e a kútban pannonnál idősebb korú, víz-visszasajtolásra alkalmas réteg.
- ❑ A jelenlegi kútállapot alkalmas vagy alkalmassá tehető-e vízvisszasajtolásra.
- ❑ A kút területi elhelyezkedése a koncesszió körzetében.

Nagyszenás-1. (Nsz-1.) kút. Az 1950-es évek elején elindított nagyalföldi mélyfúrési program célja az volt, hogy a Nagyalföld mélymedencéjének üledékeiben szénhidrogén keletkezésére és felhalmozódására milyen körülmények alakultak vagy alakulhattak ki. A Nagyszenás-1. (Nsz-1.) jelű földtani alapfúrást a Magyar-Szovjet Olaj Rt. (MASZOLAJ) Kőolajkutató és Feltáró Vállalata mélyítette le 3009 méter talpmélységig 1953–1954-ben. A paleozoós alaphegységet nem érték el, alsó pannóniai rétegsorban álltak meg. Az 1888–1895 méterben megnyitott alsó pannóniai homokkőösszetből 460 m³/nap (320 liter/perc) 75 °C hőmérsékletű hévizet kaptak. A vízkúttá történt kiépítése után a kút a Nagyszenás város tulajdonába került, és fürdőt létesítettek. A fürdő 1999-ig műkö-

1. táblázat. Szénhidrogén-kutatófúrások a koncessziós területen

Település	MBFH azonosító	EOV Y (m)	EOV X (m)	Z (mBF)	Mélység (m)	Dátum	MBFH dokumentáció
Fábiánsebestyén	Fáb-1	755 820,41	154 260,04	82,52	3342	1965	1222/2mf
Fábiánsebestyén	Fáb-2	757 920,83	154 036,12	81,86	3259	1966	1222/3mf
Fábiánsebestyén	Fáb-3	757 563,07	156 843,81	82,24	3600	1968	1222/4mf
Fábiánsebestyén	Fáb-4	757 481,76	151 048,69	82,5	4239	1986	T.16710, T.14163
Nagyszenás	Nsz-1	774 149,62	148 630,04	87,95	3009	1954	676/3mf
Nagyszenás	Nsz-2	772 334,75	150 148,45	86,93	3159	1982	676/4mf
Nagyszenás	Nsz-3	768 356,6	145 695,62	85,68	3500	1981	676/5mf
Orosháza	Oros-1	772 231,96	140 435,24	88,17	2804	1979	715/19mf
Orosháza	Oros-2	776 524,29	143 411,97	88,16	2877	1980	715/20mf
Szentes	Szentes-ÉK-1	749 166,06	151 854,1	84,47	3400	1987	

2. táblázat. Pretercier aljzatú fúrások a koncessziós területen

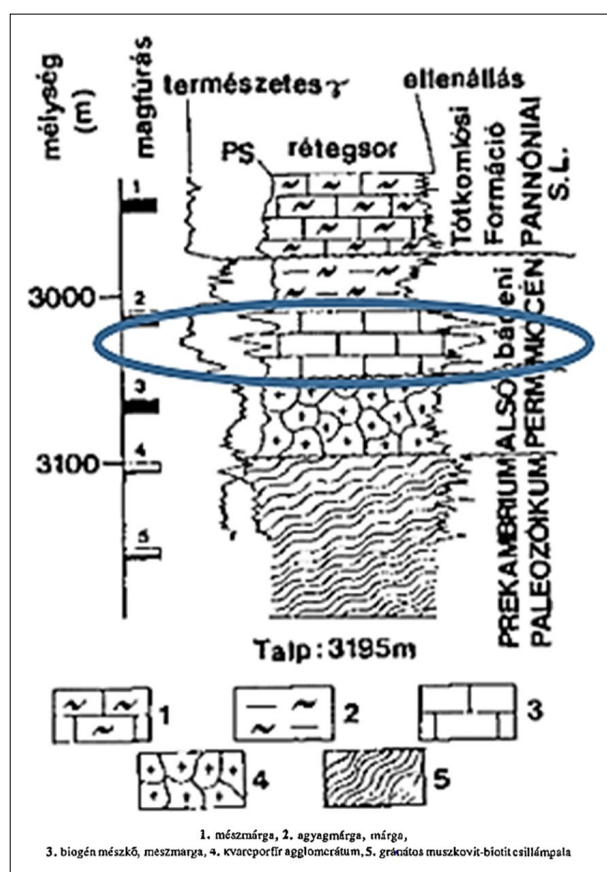
Frs_id	Település	Fúrás	EOV Y (m)	EOV X (m)	Z (m)	Mélység (m)	Dátum	Pretercier*
49661	Fábiánsebestyén	Fáb-4	757 481,67	151 049	83,18	4239	1986	3153 m csK3
100377	Nagyszenás	Nsz-2	772 334,62	150 148,5	87,61	3159	1982	3059 m gP1
100378	Nagyszenás	Nsz-3	768 356,43	145 695,8	86,36	3500	1981	3037 m jT1
110564	Orosháza	Oros-1	772 231,71	140 435,3	88,85	2804	1979	2616 m B_Pz
110565	Orosháza	Oros-2	776 524,07	143 412	88,84	2877	1980	2870 m sgT2
164138	Szentes	Szent.ÉK-1	749 166,01	151 854,5	85,15	3400	1987	3205 m ?K3

*Első pretercier réteg felszíne (m) és képződménye: K3 – felső kréta, csK3 – Csikériai Márga F., sgT2 – Szegedi Dolomit F., jT1 – Jakabhegyi Homokkő F., gP1 – Gyűrűfői Riolit F., B_Pz – Battonyai Komplexum

dött, majd közel 20 évi szünet után a kutat és a fürdőt felújították. A termálvíz hőenergiáját a közintézmények (iskola, óvoda, orvosi rendelő, művelődési ház, polgármesteri hivatal és a megyei fenntartású szociális otthon) fűtésére használják fel. Ismét megnyílt a Parkfürdő, ahol gyógyászati célokra is használják a jótékony hatású termálvizet. A 40–60 °C-os hulladékhőt pedig mintegy 21 ezer m²-es fóliasátor és üvegház fűtésére használják.

Megállapítás: A Nagyszénás-1. (Nsz-1.) kút víz-visszasajtolásra nem alkalmas.

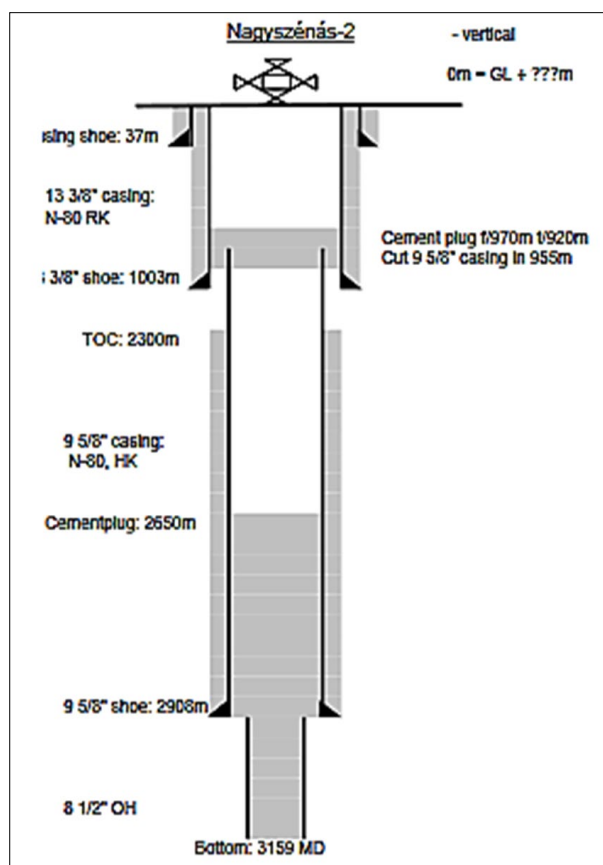
Nagyszénás-2. (Nsz-2.) kút. A Nsz-2. fúrást 1982-ben mélyítették le 3159 m talpmélységig, és vizsgálták ki. A fúrást szénhidrogénre meddővé nyilvánították (14. ábra).



14. ábra. A Nsz-2. fúrás alsó részén feltárt földtani képződmények

A kút végleges állapota:

- ❑ védő cementdugók a 9 5/8" beléscsőben 2905-2725 m és 2716-2650 m,
- ❑ 9 5/8" beléscső kimentve 955 m-ig,
- ❑ záró cementdugó a 9 5/8" × 13 3/8" beléscsövekben 970–920 m,
- ❑ a kútban 2,05 kg/l sűrűségű iszap van,
- ❑ a kúton 350 bar nyomáshatárú beléscsőfej és karácsonyfa van (15. ábra).



15. ábra. A Nsz-2. kút végleges állapota

Általános vélemény:

- ❑ A miocénben 3015–3059 m között lévő barnásszürke biogén mészkő első gondolatra talán alkalmas is lehetne a vízvisszasajtolásra.
- ❑ Azonban, a 2/2. mag (3015–3018 m) leírása alapján a biogén mészkő barnásszürke, helyenként meszesedett növényi töredékek feldúsulásától sárgásbarna, tömött, kemény és rétegtelen.
- ❑ Továbbá, a biogén mészkőben a 3159 m talpmélységig alkalmazott 2,05 kg/l sűrűségű öblítőiszappal még részleges iszapvesztés sem lépett fel.
- ❑ Ez utóbbi kettő azt mutatja, hogy a biogén mészkő tömött, nem repedezett és vízvisszasajtolására alkalmatlan.
- ❑ Műszaki szempontból is nagyon költséges lenne a kút kiképzése, mivel a szükséges munkálatok:
 - Cementdugók kifúrása és nyitott szakasz kitakarítása 3060 m-ig
 - 7" beléscső beépítése 3059 m-ig (3015-3059 m között előreperforált- vagy réselet)
 - 7" beléscső cementezése 3015-2800 m között
 - Biogén mészkő savas rétegrepesztése
 - Azonban, ezek a munkálatok sem garantál-

ják, hogy a biogén mészkő alkalmassá tehető a vízvisszasajtolásra.

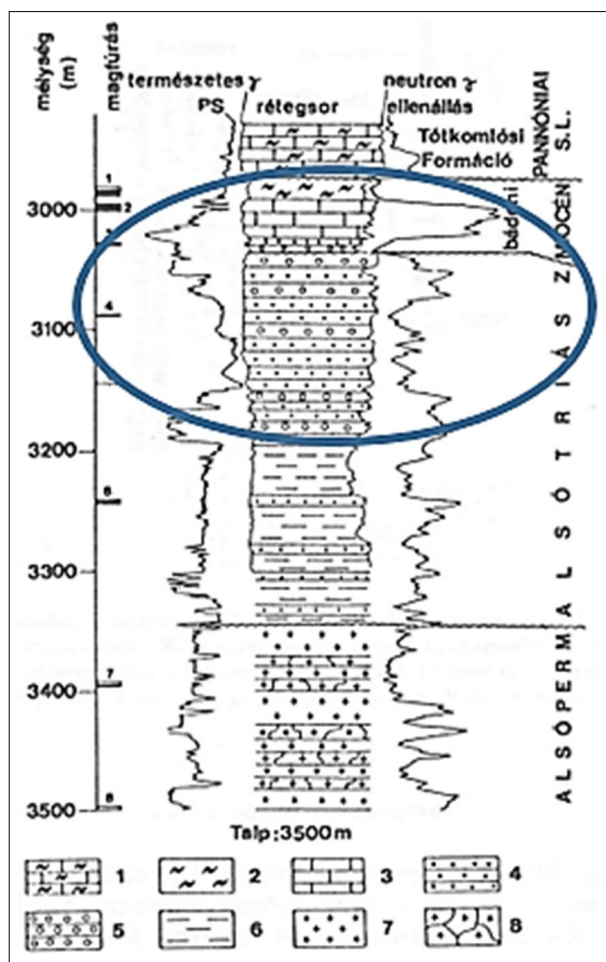
Megállapítás: A Nagyszénás-2. (Nsz-2.) kút víz-visszasajtolásra nem alkalmas.

Nagyszénás-3. (Nsz-3.) kút. A Nsz-3. kút a koncesz-sziós területen aránylag központi helyen van, így bár-hol is lesz a termelő kút, ehhez a kúthoz lehet legrövi-debb a visszasajtolandó vizet szállító vezeték.

A 3500 m talpmélységet elérő Nsz-3. fúrásban az alsó triász korú rétegek 3037–3410 m között találhatók. A vízvisszasajtolásra megfelelő réteg a Jakabhegyi Homokkő Formáció (3037–3240 m), amelyet a 4. mag (3088–3089 m, magnyereség 0,6 m) és az 5. mag (3144–3145 m, magnyereség 0,2 m) is bizonyított. 3240 m-től 3410 m-ig már vörösesbarna kalciteres márga van. A 4. mag részletes leírása: vörös árnyalatú, fehéres szürke, kemény, rétegzetlen, max. 5 cm át-mérőjű, közepesen koptatott kvarcporfir és meta-morfit kőzet kavicsokat tartalmazó osztályozatlan homokkő. A vékonycsiszolat alapján a kőzet nagyon kevés kovából és szericitből áll kötőanyagot tartal-

maz, törmelékdarabjai jól koptatottak, de osztályo-zatlanok, 0,5–2 mm körüliek. A mikroszkópos méretű kavicsok között uralkodik az önálló, nem mozaik-struktúrák, de unduláló kioltású kvarc, kevésbé kop-tatott mozaikstruktúrák kvarcit és a hasonló méretű kvarcporfir, amely erősen átkristályosodott, jelenleg csak 0,01 mm körüli kvarc- és szericithalmazokból áll, néhány földpát utáni szericit pseudomorforált, alakatlan limonit foltokat tartalmaz. Makro- és mikro-faunát nem tartalmaz. Az 5. mag részletes leírása: vö-rös, zöld árnyalatú világosszürke, közepesen kemény, rétegzetlen, kovás, agyagos kötőanyagú finomszemű homokkő. A vékonycsiszolat alapján a kőzet bőséges szericitből és kovából álló kötőanyagot tartalmaz. Szemcséi enyhén nyúlt, egy irányba rendezett, önálló, nem mozaikstruktúrák kvarc, néha mozaikstruktúrák kvarcit anyagúak. Néhány átkristályosodott kvarcpor-fir alapanyagból álló kőzetdarabka is megfigyelhető. Makro- és makrofaunát nem tartalmaz (16. ábra).

Nagyszénás–Orosháza környékének mélyföldtani megismerésére, illetve szénhidrogén-kutatás céljából 1981-ben mélyítették le a Nagyszénás-3. (Nsz-3.) jelű fúrást 3500 m mélységig. Az 1981-ben elvég-zett rétegvizsgálatok során a 2922–3500 m nyitott lyukszakaszból 16 mm átmérőjű fúvókán 295–300 bar nyomással nem mért mennyiségű, 105 °C-nál na-gyobb hőmérsékletű forróvíz/gőz termelést kaptak. Ez és később a Fábánsebestyén-4. (Fáb-4.) jelű fú-rásnál bekövetkezett forróvíz/gőz kitörés felhívta a figyelmet a környék neogén aljzatának geotermikus energiatárolási lehetőségeire. Ezért a Nsz-3. jelű fú-ráson 1991-ben újabb, viszonylag hosszú rétegvizs-gálatot folytattak a tárolókapacitás megállapítására. A rétegvizsgálat folyamán a kútáram kezelhetősége és a vízkőkiválás elkerülése érdekében kettős szűki-tést alkalmaztak. A kútfejfúvóka alkalmazása mellett a lefúvató vezeték végén szilárdságtanilag és áram-lástanilag méretezett diafragmát szereltek fel. A gáz-folyadék viszony megállapítására részáramot vezettek át a szeparátoron, az elkülönült vízfázis mennyiségét nyitott, téglatest alakú mérőtartályban mérték. A gáz-nemű közeget hűtőrendszeren vezették keresztül, ahol a vízgőztartalom kondenzálódott, majd a második szeparátoron leválasztva megmérték a gáz mennyi-ségét. A kúton ellenőrizték a kezdeti zárt rétegnyo-más értékét, majd különböző fúvókák kapacitást mérték. A kútáram vízkövesedési hajlamának üzemi körülmények közötti tanulmányozása érdekében „víz-kő-provokációs” műveletet hajtottak végre, amikor a rendszert szűkítés nélkül termeltették. A vizsgálatot nyomásemelkedés-méréssel fejezték be. A 3. táblázat tartalmazza a rétegvizsgálat termelési, nyomás- és hő-mérsékletadatokat. A vizsgálat hőtechnikai elemzése alapján a fluidum valószínűleg 3165 méternél (T1 Ja-kabhegyi Homokkő Formáció) áramlott a kútba.



16. ábra. A Nsz-3. fúrás alsó részén feltárt földtani kép-ződmények

A kapacitásmérést követően besajtolási profilt terveztek felvenni, azonban az OKGT ehhez nem járult hozzá. Ezután édesvízzel vízbesajtolási próbát végeztek 3 ütemben:

- ❑ 260 l/p ütem 325–355 bar 32 percig,
- ❑ 200 l/p ütem 351 bar 9 percig,
- ❑ 100 l/p ütem 325–340 bar 27 percig.

Ez a következőket jelenti:

- ❑ A vízbesajtolás az alsó triász Jakabhegyi Homokkő Formációba történt, amelynél $-4,6$ szkinhatást és $11,28$ mD ($11,28 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$) áteresztőképességet mértek.
- ❑ 3165 m-ben a rétegyomás 638 bar.
- ❑ Az édesvíz hidrosztatikus nyomása 3165 m-ben 316,5 bar.
- ❑ A 638 bar rétegyomást az édesvíz 316,5 bar hidrosztatikus nyomása és 321,5 bar kútfejnyomás ellensúlyozta.
- ❑ Így a besajtolási nyomás:
 - 260 l/p ütemnél $355 - 321,5 = 33,5$ bar,
 - 200 l/p ütemnél $351 - 321,5 = 29,5$ bar,
 - 100 l/p ütemnél $340 - 321,5 = 18,5$ bar.
- ❑ Ez azt mutatja, hogy a rétegbe $\sim 20\text{--}35$ bar túlnyomással lehetett benyomni a vizet, amely igen kedvező érték.

Megjegyzés:

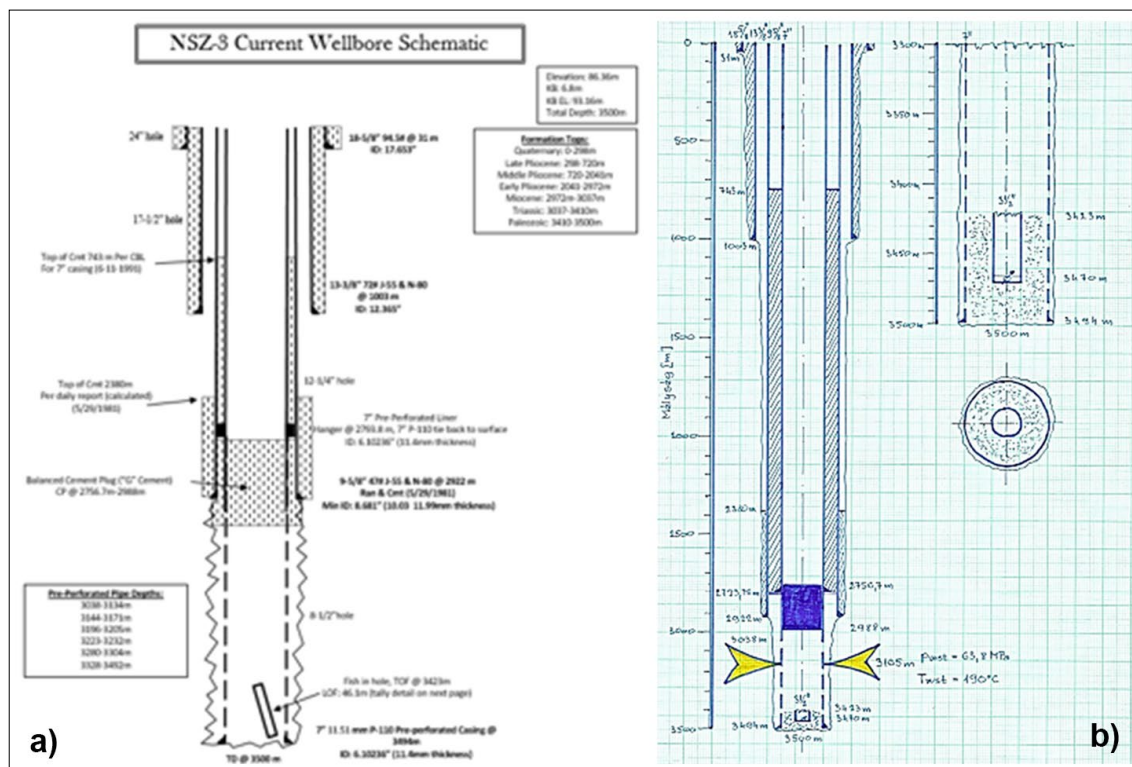
- ❑ Ilyen mélységbe történő vízviszanyomásról ismereteink szerint nincs sem nemzetközi, sem pedig hazai adat, információ.

- ❑ Összesen csak $12\,820$ liter ($12,82 \text{ m}^3$) vizet nyomtak vissza a rétegbe.
- ❑ Hogy miként viselkedik ez a réteg nagy besajtolási térfogatáram és mennyiség esetén, valamint mennyi ideig lehet ilyen kis túlnyomással visszanyomni, ma senki sem tudja megmondani. Ehhez mindenféleképpen egy nagyobb mértékű (különböző mennyiségű, ütemű és idejű) besajtolási próbát kell elvégezni.

A rétegvizsgálatot követően záró cementdugót helyeztek el $2988\text{--}2756,7$ m között, amelynek zárásáról a $2,18 \text{ kg/dm}^3$ sűrűségű iszap vízre történt kicserélésével győződtek meg, a cementdugó zárt. A $3\frac{1}{2}$ " termelőcsövet kirakták, a kutat $2,18 \text{ kg/dm}^3$ sűrűségű iszappal feltöltötték. A kútfejkiképzést követően a kútfej 120 bar nyomással zárt, majd a berendezés $1991.$ július 21 -én leszerelt a kútról és azóta (több mint 35 éve) ott áll a kút változatlanul.

Általános vélemény:

- ❑ A 7 " 32 lb/ft $11,51 \text{ mm}$ P110 termelő/besajtoló bélésű cső belső nyomáshatára 859 bar, amely több mint kétszerese a várható besajtolási nyomásnak.
- ❑ Az előre réselt bélésű csövek mélysége:
 - $3038\text{--}3134$ m
 - $3144\text{--}3171$ m
 - $3196\text{--}3205$ m
 - $3223\text{--}3232$ m
 - $3280\text{--}3304$ m
 - $3328\text{--}3492$ m



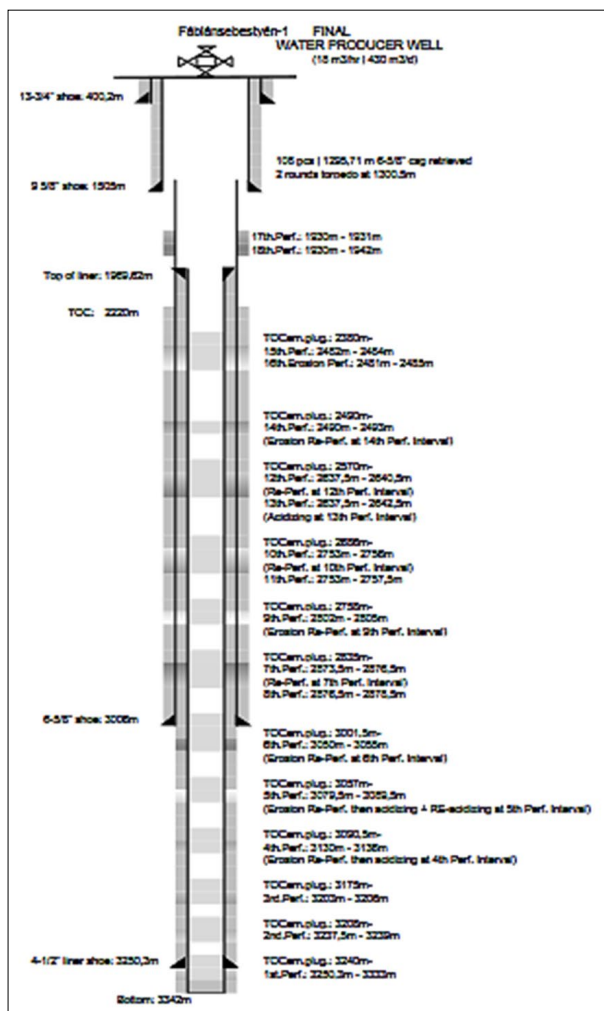
17. ábra. A Nsz-3. kút végleges állapota. a) A koncessziós társaság vázlata. b) A tanulmány szerzőjének vázlata

- ❑ A Jakabhegyi Homokkő Formáció 3037–3240 m között van, a fluidum belépése és vízbesajtolás mélysége valószínűleg 3165 m-ben történt, így az előre réselt beléscsövek helye megfelelő.
- ❑ A 2756,7–2988 m között lévő cementdugó kifúrása és az alatta lévő 7" beléscső 3423 m-ig történő kitisztítása után a kútszerkezet kész a vízbesajtolási kísérletre vagy a végleges vízbesajtolásra.
- ❑ A kútmunkálatokhoz szükséges folyadék sűrűsége 2,12 kg/l, amely 18 bar túlegyensúlyozást jelent.

A kút szerkezetét és kiképzését a 17. ábra szemlélteti.

Megállapítás: A Nagyszenás–3. (Nsz–3.) kút vízvisszasajtolásra alkalmas, illetve aránylag kis költséggel alkalmassá tehető.

Fábiánsebestyén–1. (Fáb–1.). A Fáb–1. fúrás a geofizikailag kimutatott szeizmikus maximum legkedvezőbb pontján mélyült 1965-ben 3342 m talpmélységig. A rétegvizsgálatokra 1966–1968-ban került sor. A



18. ábra. A Fáb–1. kút végleges állapota

rétegvizsgálatok után minden perforáció fölé záró-elválasztó cementdugót helyeztek el.

Végleges kútállapot:

- ❑ Legutolsó cementdugó teteje: 2380 m.
- ❑ Nyitott perforáció: 1930–1942 m.
- ❑ 6 5/8" beléscsövet 1300 m-ig kimentették.
- ❑ A kútban víz van.
- ❑ 105,3 m hosszú 2 3/8" termelőcsövet akasztották a 9 5/8" beléscsőfejbe
- ❑ Csőfej: 13 3/4" alapperem, 350 bar nyomáshatárú 9 5/8" beléscsőfej, szögperem és 1 db 2" tolózárr (18. ábra).

Általános vélemény:

- ❑ Az 1930–1942 m felső pannon rétegből a kút víztermelésre kiképezhető.
- ❑ A sok perforáció és a nyitott 9 5/8"–6 5/8" gyűrűstér miatt a kút egyéb célra nem használható fel.

Megállapítás: A Fábiánsebestyén–1. (Fáb–1.) kút vízvisszasajtolásra nem alkalmas.

Fábiánsebestyén–2. (Fáb–2.). A Fáb–2. fúrás 1965–1966-ban mélyült 3259 m talpmélységig, a rétegvizsgálatokra 1966–1967-ben került sor. A rétegvizsgálatok után minden perforáció fölé záró elválasztó cementdugót helyeztek el.

Végleges kútállapot:

- ❑ 6 5/8" beléscsövet torpedózással 1279,2 m-ig kimentették.
- ❑ A kútban 1,25 kg/l sűrűségű öblítőiszap van.
- ❑ Záró cementdugó teteje 1278 m
- ❑ A 2 7/8" termelőcsövet kirakták
- ❑ Csőfej: 9 5/8" beléscsővön csősapka 1 db 2" tolózárral

Általános vélemény:

- ❑ A felső pannon rétegből a kút víztermelésre kiképezhető.
- ❑ A sok perforáció és a sérült 9 5/8" beléscső miatt a kút egyéb célra nem használható fel

Megállapítás: A Fábiánsebestyén–2. (Fáb–2.) kút vízvisszasajtolásra nem alkalmas.

Fábiánsebestyén–3. (Fáb–3.). A Fáb–3. fúrást 1967–1968-ban mélyítették le 3600 m talpmélységig, majd 1968-ban és 1971–1972-ben vizsgálták ki. A rétegvizsgálatok után minden perforáció fölé záró elválasztó cementdugót helyeztek el.

A rétegvizsgálatok során a kútban maradt:

- ❑ 3584 m-ben 18 db perforátor üveggkamra és 18 db fa távtartó.
- ❑ 3509 m-ben 2 db 8 m hosszú 10 mm átmérőjű gömbvas és tartókengyel.

- A kutat 1987. április 4-vel felszámolták és a végleges állapota:
 - A $9\frac{5}{8}$ " beléscső 624–625 m között sérült.
 - A 7" beléscsővet 1667,5 m mélységben torpedózással elvágták és kiépítették.
 - Záró cementdugót helyeztek el 1682–1616,5 m között.
 - A kutat 1,30 kg/l sűrűségű öblítőiszappal feltöltötték.
 - A beléscsőfejet leszerelték.
 - A $13\frac{3}{8}$ " beléscsőre tűszeleppel ellátott acél csősapkát hegesztettek fel a talajszinttől 1 m mélységben.
 - A betonalapot feltörték és elszállították.
 - A fúrási telephelyet rekultiválták.

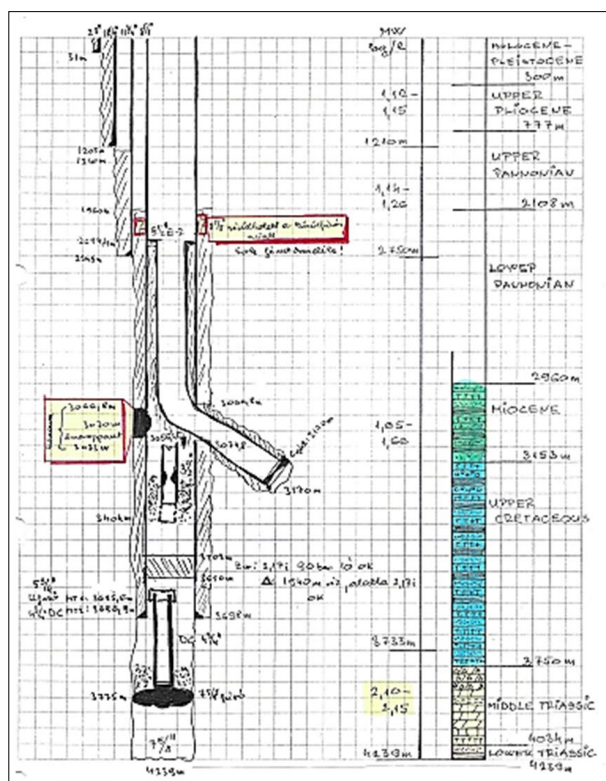
Megállapítás: A Fábiánsebestyén-3. (Fáb-3.) kút vízvisszasajtolásra nem alkalmas.

Fábiánsebestyén-4. (Fáb-4.). A kitörés felszámolása utáni rétegvizsgálatra 1986. szeptember 26-án költözött a lyukbefejező berendezés a kútra. A kutat 3508 m-ig (cementdugó tető) kitisztították 7 5/8" háromgörgős fúróval, majd 3404 m-ig beépített 3 1/2" termelőcsővel nyomásos és 2120 m-es nívócsökkentéses zárásvizsgálatot végeztek. A zárásvizsgálat közben a termelőcső megszorult. A vitlás ólom mintavevőn lévő nyomok a termelőcső összeroppanására utaltak. A termelőcsövet torpedó segítségével 3056,45 m-ben lecsavarták. A termelőcső további kimentése során

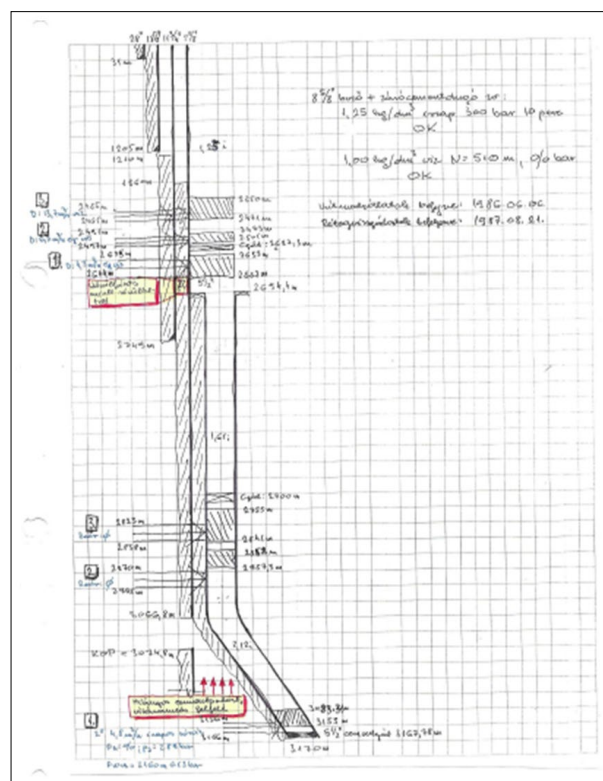
különböző mentőszerszámokkal 7 körülmarás és 8 fogási kísérlet történt eredménytelenül. A 8 $\frac{5}{8}$ ” bélés-csővön a körülmarók 3066,8–3073 m között ablakot martak és a béléscső összeroppant. Végül a béléscsővön 3066,8–3074,8 m között ablakot martak, amelyet felbővítettek. Ezután 7 $\frac{5}{8}$ ” háromgörgős fúróval 3170 m-ig melléfúrtak a felső triász tetejébe és a melléfúrt szakasz 5 $\frac{1}{2}$ ” béléscsővel 3170 m-ig lecsövezték. A béléscső (betétcső) akasztása E-2 típusú akasztóval 2694 m-ben történt, és a béléscsövet lecementezték (19. ábra).

A rétegvizsgálatok után minden perforáció fölé záró elválasztó cementdugót helyeztek el. Végleges záró cementdugót helyeztek el 2471–2350 m között, amelynek zárását nyomásos és nívósökkentéses zárásvizsgálattal ellenőrizték. A kutat 1,25 kg/l sűrűségű öblítőiszappal feltöltötték. A kúton teljes kútfejszerelvény maradt. A lyukbefejező berendezés 1987. augusztus 21-én leszerelt a kútról és azóta (több mint 39 éve) ott áll változatlanul (20. ábra).

A felső kréta törmelékes összletet a fúrás 3153 m-ben érte el, és 597 m vastagságban harántolta. Az összlet alsó 50 m-e szürke, sötétszürke, maximálisan 20 cm átmérőjű, osztályozatlan, nem vagy alig kopottott törmelékdarabokból álló dolomitbreccsa, konglomerátum. A kőzetben dolomitdarabok mellett kevés kvarchomokkő, vörös színű agyagkő és savanyú vulkáni törmelék is előfordul. A kötőanyag a felsorolt kőzetdarabok finomszemcsés (homok, aleurolit) málladéka: dolomitkristályklaszt. szeriéit. kvarc, kvarcit,

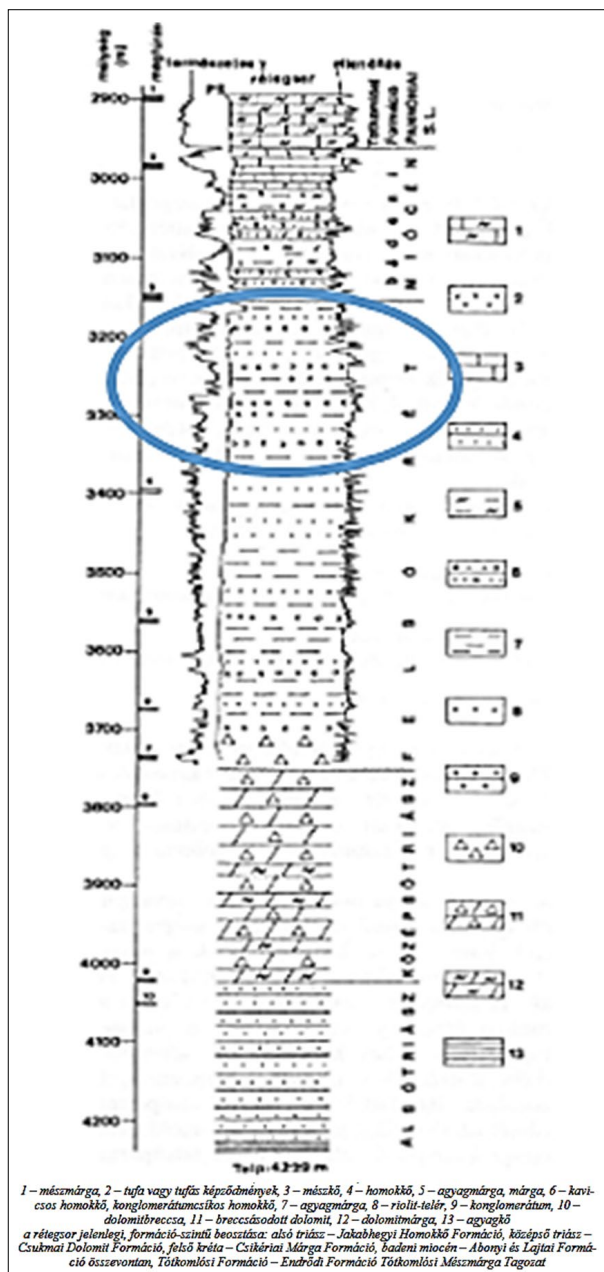


19. ábra. A Fáb–4. kút állapota rétegvizsgálat előtt



20. ábra. A Fáb–4. kút végleges állapota

csillámpikkelyek és agyag. Az összlet e fölötti része különböző vastagságú, sötétszürke agyagkő-, agyagmárga-, aleurolit- és szürke, világosszürke homokkő-, kavicsos homokkőrétegek különböző arányú váltakozásából áll, több helyen közbetelepülten konglomerátumrétegekkel. Az összletre ritmusos litológiai heterogenitás jellemző, a kőzetek préseltek, gyakoriak bennük a csúszási felületek. A törmelékes összletbe helyenként riolittelérek nyomultak, amelyek kora miocén vagy esetleg bizonytalanul felső eocénbe sorolt riolit vulkánitokhoz tartozhatnak. A néhol megjelenő riolituffa bemosott, esetleg távoli vulkáni kitörésből származik, és az üledékes részekkel egykorú. A változó mértékben koptatott kavics és homokszemcsék anyaga metamorf eredetű kvarc, kvarcit, metamorfit,



21. ábra. A Fáb-4. fúrás alsó részén feltárt földtani képződmények

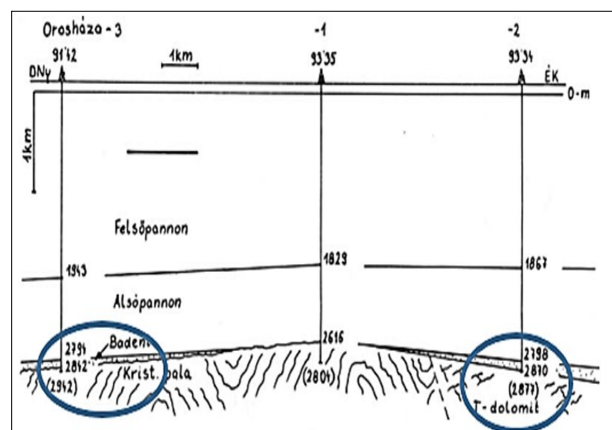
karbonát kőzetek, savanyú vulkáni törmelék, alsó triász homokkő, földpát, muszkovitpikkelyek. Ebbe a felső kréta összlet felső részébe hatolt be ~15 m-t a melléfúrás, és ez adott a rétegvizsgálat során 4 m³/nap sós vizet (21. ábra).

Általános vélemény:

- ❑ A kút komoly, költséges és sok bizonytalansággal terhelt kútmunkálatokkal vízvisszasajtoló kúttá képezhető ki.
- ❑ A kútkiképzés főbb lépései:
 - 8 5/8" béléscsőben lévő cementdugók kifűrése
 - 5 1/2" béléscső kitoldása felszínig és elcemen-
tezése
 - 5 1/2" béléscsőben lévő cementgát és ce-
mentdugók kifűrése a 3167,78 m-ben lévő
cementgátig
 - 5 1/2" béléscsőben lévő perforációk kizárása
nyomásos cementdugókkal
 - kút kitisztítása 4 1/2" fúróval 3170 m talp-
mélységig
 - visszasajtolási vizsgálat
 - ha elegendő a nyitott szakasz: 3 1/2" előre-
perforált vagy réselt termelőcső beakasztása
 - ha nem elegendő a nyitott szakasz: tovább-
fűrés 4 1/2" fúróval és 3 1/2" előreperforált
vagy réselt termelőcső beakasztása

Megállapítás: A Fábiánsebestyén-4. (Fáb-4.) kút vízvisszasajtolásra alkalmas lehet, illetve komoly, költséges és sok bizonytalansággal terhelt kútmunkálatokkal alkalmassá tehető.

Orosháza-1. (Oros-1.). A Battonya-Pusztaföldvár medencealjzati magas rögvonulat folytatódik ÉNy felé, a gravitációs mérések szerint ezen a szeizmikus mérések több kisebb záródó kiemelkedést jeleztek. Ezeket a medencealjzatban levő magasabb rögeknek vélték, és ezeken mélyültek az orosházi kutatófúrások. Fúrási tevékenység Orosházán a középső medencealjzati kiemelkedésen mélyült az Oros-1., innen K-re az Oros-2. és DK-re az Oros-3. fűrés, egy-egy



22. ábra. Az Orosházi fúrások DNy-ÉK földtani metszete

szeizmikus kiemelkedésen. Az Oros–1. és –2. fúrás 1979-ben, az Oros–3. 1980-ban mélyült (22. ábra).

Az orosházi fúrások rétegsorában a negyedidőszak szárazföldi-folyami homok, agyag, aprókavicsos homok. A pliocén tarka agyag, homokos agyag, vastagabb homokrétegek, lignites tözeges csíkok. A felső pannon homokos agyag, agyagos homok sűrű változása és néhány vastagabb homokréteg. Lent vastagabb homokpadok (Törteli Formáció). Az alsó pannon homokpados agyagmárga, finomszemű csillámos homokkő vékony sötétszürke homokrétegekkel. Lefelé átmegy világosszürke márga-, mészmárgarétegekbe. Szarmata üledék nem volt kimutatható. A középső miocén bádeni emelet szürke, zöldesszürke márga és konglomerátum. A neogén alatt diszkordánsan triász dolomit és dolomitbreccsa következik, kisebb elterjedésben, mint lepusztulási maradék. Végül a kristályos alaphegység változatos kőzetei következnek: szericitpala, kvarcit, antracitos csillámpala és gneisz. Utóbbi zöldesszürke, sötétszürke, rendszerint bontott kőzet, kvarcit erekkel-lencsékkel, palás szerkezetű, benne kvarc, földpát és csillám ismerhető fel (3. táblázat).

Az Oros–1. fúrást 1979-ben mélyítették le 2804 m talpmélységig, majd 1980-ban vizsgálták ki. A 2616 m-ig tartó alsó pannon rétegek után egyből a kristályos alaphegység következik, amelybe 2804 m-ig (188 métert) fúrtak bele. Sem a középső miocén bádeni emelet márga és konglomerátum, sem pedig a triász dolomit- és dolomitbreccsa-rétegek nem találhatók. A rétegvizsgálatok után minden perforáció fölé záró elválasztó cementdugót helyeztek el.

Végleges kútállapot:

- ❑ 7" béléscsövet 1303,7 m-ig visszanyerték,
- ❑ 9⁵/₈" béléscsövet 256,94 m-ig visszanyerték,
- ❑ a kútban 1,25 kg/l sűrűségű öblítőiszap van,
- ❑ záró cementdugó teteje 195 m,
- ❑ a béléscsőfejet leszerelték,
- ❑ a 13³/₈" béléscsövön csősapka van tűszeleppel.

Általános vélemény:

- ❑ A sok perforáció és a visszanyert 13³/₈" és 9⁵/₈" béléscsövek hiánya miatt a kút semmilyen célra sem használható fel.
- ❑ A paleozoikum tetején elvégzett sikertelen rétegrepsztes miatt nincs információ a zöldesszürke, erősen mállott, bontott és breccsásodott, palás elválású csillámpala (1. mag) nyelőképességéről.
- ❑ Az alsó nyitott szakaszban lévő tömött, sötét, feketés szürke gránátos, biotitos csillámpalába (2. mag) nem lehet visszasajtolni.

Megállapítás: Az Orosháza–1. (Oros–1.) kút víz-visszasajtolásra nem alkalmas.

Orosháza–2. (Oros–2.). Az Oros–2. fúrást 1979–1980-ban mélyítették le 2877 m talpmélységig, majd 1980–1981-ben vizsgálták ki.

Fúrás folyamán fellépő nehézségek:

- ❑ A 8¹/₂" szelvény fúrásakor 2825 m-től jelentkező gyakori gázbelépés miatt sűrűn kellett az előfúrást abbahagyni, fúrólyukegyensúly-helyreállítást és öblítőiszap-sűrűség-növelést kellett végrehajtani. 2864 m talpmélységnél fúrószár beépítése közben 2806 m szerszámvégállásnál egy karmantyú szétszakadt, és a fúrószerszám a fúrólyukba zuhant. Hosszan tartó mentési munkálatok után a mentéssel 2169,46 m mentendő tetőnél felhagytak. Cementdugók elhelyezése után a 8¹/₂" szelvénnel melléfúrtak 2063 m-től 2810 m-ig, ahol ismét jelentkezett a gázosodás.
- ❑ A 2805 m-ig beépített 7" bélésű cementezése előtti öblítéskor részleges, majd teljes iszapveszteség lépett fel. A cementezés közben is végig iszapveszteség volt. A cementpalást tetőt 2092 m-ben találták.
- ❑ A 2877 m-ig tartó 6" szelvény fúrása közben is gyakori gázbelépésekkel küzdöttek (fúrólyukegyensúly-helyreállítás, öblítőiszap-sűrűség-növelés). Végül is 2,20 kg/l sűrűségű öblítőiszappal tudták a fúrást befejezni.
- ❑ A 4¹/₂" bélésű (betétső) cementezése folyamán teljes folyadékveszteség lépett fel, az összes cementtejet elnyelte a réteg. Így a 4¹/₂" bélésű mögött nincs cementpalást. A 7"–4¹/₂" gyűrűstér lezárása érdekében 2703 m-től nyomásos cementdugót helyeztek el. A cementdugó tetejét 2652 m-ben találták meg.

Elvégzett rétegvizsgálat: csak egy rétegvizsgálatot végeztek el, a 4¹/₂" bélésű (betétső) mögötti elcementegetlen nyitott szakasz vizsgálatát. Ennek eredménye: 8 mm fűvókán 15 8000 m³/nap éghető gáz, 330 m³/nap 14,9 g/l sótartalmú 90 °C-os víz 162 bar nyomással.

Végleges kútállapot:

- ❑ A kutat 2,20 kg/l sűrűségű öblítőiszappal feltöltötték.
- ❑ A 7" bélésűben záró cementdugót helyeztek el, a cementdugótető 276,5 m.
- ❑ A kútfejszerelvényt eltávolították, a 13³/₈" bélésű csőre 1"-es tűszeleppel ellátott csősapkát helyeztek.

3. táblázat. Az orosházi fúrások főbb földtani adatai

Fúrás	Fa.	Q.	L.	Fp.	Ap.	Bádeni	T.	Krist.	Megjegyzés
Oros-1	93,35	331	949	1829	2616	-	-	(2804)	
-2	93,34	360		1867	2798	2870	(2877)		gáznyom
-3	91,42	365		1943	2794	2842	-	(2942)	*

- ❑ Béléscső visszanyerésére, betonlap feltörésére, akna betemetésére, a terület rekultivációjáról nincs információ.

Általános vélemény:

- ❑ A 7" béléscsővet az alsó pannon és triász határában helyezték el. Ebben a mélységben szürke, rétegzetlen, tömött finomszemű homokkő és szürke, rétegzetlen, tömött, kemény, maximum 5 cm átmérőjű, alig koptatott metamorfit kavicsokat tartalmazó, agyagos kötőanyagú konglomerátum és breccsa van (1. mag).
- ❑ A 8 1/2" szelvény fúrása közben az 1,68–1,70 kg/l sűrűségű öblítőfolyadék dinamikus nyomását a réteg még elbírta. Azonban, a 8 1/2" fűrőlyuk és 7" béléscső között lévő szűk gyűrűstérben a súrlódási nyomásvesztés meg-növekedett, ezzel az öblítőfolyadék dinamikus nyomása is megnőtt, és ezt a nyomást a réteg már nem bírta el. A réteg felrepedt, és ezért következett be a 7" béléscső cementezése előtti öblítéskor a részleges és teljes, majd cementezés közbeni teljes folyadékvesztés.
- ❑ A 6" szelvény fúrásakor 2820 m-től már dolomit volt, végig a 2877 m végleges talpmélységig. A szürke, sötétszürke dolomit tektonikailag erősen igénybe vett breccsásodott anyagában néhol kvarcér található (2. mag).
- ❑ A 6" szelvény fúrása közben a 2,20 kg/l sűrűségű öblítőfolyadék dinamikus nyomását a réteg még elbírta. Azonban a 6" és 4 1/2" béléscső (betéteső) között lévő szűk gyűrűstérben a súrlódási nyomásvesztés meg-növekedett, ezzel az öblítőfolyadék dinamikus nyomása is megnőtt, és ezt a nyomást a réteg már nem bírta el. A réteg felrepedt, és cementezés közben teljes folyadékvesztés lépett fel, az összes cementet elnyelte a réteg.
- ❑ Tekintettel arra, hogy a triászban részleges és teljes folyadékvesztés lépett fel, valamint hogy a 4 1/2" béléscső mögött nincs cementpalást, a kút potenciális vízbesajtoló lehet.
- ❑ A kút komoly, költséges és sok bizonytalansággal terhelt kútmunkálatokkal vízvisszasajtoló kúttá képezhető ki.
- ❑ A kútkiképzés főbb lépései:
 - Csőfejszerelvény (13 3/8" alapperem, 9 5/8" és 7" béléscsőfej) visszaszerelése, a béléscsövek kitoldása, ültetése és zárásvizsgálata.
 - Záró cementdugó kifúrása.
 - Kúttisztítás a 2877 m-ben talpra ültetett 4 1/2" béléscső (betéteső) végéig.
 - 4 1/2" béléscső (betéteső) perforálása 2820–2877 m között.

- Visszasajtolási vizsgálat:
 - ha a visszasajtolás (nyomás, térfogatáram, mennyiség) megfelelő, a kút készen van,
 - ha a visszasajtolás nem megfelelő, a triász dolomit savas rétegrepszése.

Megállapítás: Az Orosháza–2. (Oros–2.) kút víz-visszasajtolásra alkalmas lehet, illetve komoly, költséges és sok bizonytalansággal terhelt kútmunkálatokkal alkalmassá tehető.

Orosháza–3. (Oros–3.). Az Oros–3. fúrást 1980-ban mélyítették le 2942 m talpmélységig, majd 1981-ben vizsgálták ki.

Korbeosztás: Fúrás folyamán fellépő nehézségek:

- ❑ A 8 1/2" szelvény fúrásakor 2791 m-ben fűrőlyukegyensúly-megbomlás következett be. A fűrőlyukegyensúly helyreállítása folyamán többször öblítőiszap-sűrűség-növelést kellett végrehajtani, cementdugókat kellett elhelyezni és végül a fűrőszerszám megszorult. Hosszadalmas mentési munkálatok (lecsavarás, körül-fúrás, fogás törrel stb.) után a fűrőszerszámot maradéktalanul sikerült kimenteni. A 2781 m-ig beépített 7" béléscső cementezése előtti öblítéskor részleges iszapvesztés lépett fel. A cementezés közben is végig iszapvesztés volt. A cementpalást tetőt 2140 m-ben találták.
- ❑ A 2942 m-ig tartó 5 7/8" szelvény fúrása közben is gyakori gázbelépésekkel küzdöttek (fűrőlyukegyensúly-helyreállítás, öblítőiszap-sűrűség-növelés). Végül 2,20 kg/l sűrűségű öblítőiszappal tudták a fúrást befejezni.
- ❑ A 4 1/2" béléscső (betéteső) cementezése zavartalan volt, az akasztó tetőig eredményesen felcementeztek.
- ❑ Az elvégzett rétegvizsgálatok folyamán minimális szén-dioxid- és sósvíz-beáramlás kaptak.

Végleges kútállapot:

- ❑ A kút 2,20 kg/l sűrűségű öblítőiszappal feltöltötték.
- ❑ A 7" béléscsővet 1725,6 m-ig visszanyerték.
- ❑ A 9 5/8" béléscsőben záró cementdugót helyeztek el, a cementdugó tető 1713 m.
- ❑ A kútfejszerelvényről és a terület rekultivációjáról nincs információ.

Általános vélemény:

- ❑ A 7" béléscsővet az alsó pannon és triász határában helyezték el. Ebben a mélységben feketésszürke, tömött, kemény, rétegzetlen márga, agyagmárga és mészmárga van, ritkán függőleges repedéseket és különböző irányú csúszási felületeket tartalmaz (1. mag).

- ❑ A 8 ½” szelvény fúrása közben az 1,76 kg/l sűrűségű öblítőfolyadék dinamikus nyomását a réteg még elbírta. Azonban a 8 ½” fűrőlyuk és 7” beléscső között lévő szűk gyűrűstérben a súrlódási nyomásvesztés megnövekedett, ezzel az öblítőfolyadék dinamikus nyomása is megnőtt, és ezt a nyomást a réteg már nem bírta el. A réteg felrepedt, és ezért következett be a 7” beléscső cementezése előtti öblítéskor a részleges, majd cementezés közbeni teljes folyadékvesztés.
- ❑ Az 5 7/8” szelvény fúrása alatt és a 4 ½” beléscső (betétcső) cementezése közben sem lépett fel a 2,20 kg/l sűrűségű öblítőiszappal folyadékvesztés. Ez arra utal, hogy ebben a szakaszban lévő rétegek (márga, mészmárga, agyagmárga, konglomerátum és csillámpala) (1., 2. és 3. mag) felrepedésre nem hajlamosak, vízvisszasajtolásra nem alkalmasak.

Megállapítás: Az Orosháza–3. (Oros–3.) kút víz-visszasajtolásra nem alkalmas.

Szentes-Északkelet–1. (Szentes-ÉK–1.). A Szentes-ÉK–1. fúrást 1986–1987-ben mélyítették le 3400 m talpmélységig, majd 1987-ben vizsgálták ki.

A fúrás folyamán fellépő nehézségek:

- ❑ A fúrás mélyítése 1,28 kg/l sűrűségű öblítőiszappal 2886 m-ig problémamentes volt, azonban ennél a talpnál előfúrás közben fűrőlyukegyensúly-megbomlás következett be.
- ❑ A kitörésgátló bezárása után az öblítőiszap sűrűségét 1,37 kg/l-re emelték, a fűrőszerszám megszorult, majd túlhűzés során szétszakadt. A fűrőlyukban maradt 315,24 m fűrőszerszám, a mentendő tető 2564,76 m volt. Közben a fűrőlyukegyensúly többször is megbomlott, s végül 1,65 kg/l sűrűségű öblítőiszappal sikerült helyreállítani.
- ❑ Ezt követően körülfúrással és lecsavarással 2792,44 m mentendő tetőig folytatták a mentést. Ekkor a további mentést kilátástalannak és gazdaságtalannak ítélték meg, és felhagytak vele. A fűrőlyukban maradt 89,02 m fűrőszerszám.
- ❑ A 2786,24 m-ben beépített ferdítópálya segítségével a fúrást kiferdítették. A 3400 m-ig tartó fúrás közben is gyakori gázbelépésekkel küzdöttek (fűrőlyukegyensúly-helyreállítás, öblítőiszap-sűrűsögnövelés). Végül 1,80 kg/l sűrűségű öblítőiszappal tudták a fúrást befejezni.
- ❑ A 7” cementező tolóhüvelyen történt cementezés folyamán a tolóhüvely kinyitáskor részleges, majd a II. lépcső cementezésekor teljes folyadékvesztés lépett fel.

Az elvégzett rétegvizsgálatok során 4000–4300 m³/nap éghető gázt, 0,8 m³ párlatot és 8,4–9,4 m³/nap 7,6–14,42 g/l sótartalmú vizet kaptak.

Végleges kútállapot:

- ❑ A 7” beléscsőbe záró cementdugót helyeztek el, cementdugó tető 2604,8 m.
- ❑ A kút 1,63 kg/l sűrűségű öblítőiszappal feltöltve.
- ❑ A 7” beléscsővet 706 m-ig visszanyerték.
- ❑ A beléscsőfejet a 9 5/8” alapperemig leszerelték, és az alapperemre védő peremet helyeztek.
- ❑ A kútra hévíztermelés céljából a szentesi Árpád Mgtsz. igényt tartott, azonban további sorsáról nincs információ.

Általános vélemény:

- ❑ A 8 ½” szelvény fúrása közben az 1,65–1,67 kg/l sűrűségű öblítőfolyadék dinamikus nyomását a réteg még elbírta. Azonban, a 8 ½” fűrőlyuk és 7” beléscső között lévő szűk gyűrűstérben a súrlódási nyomásvesztés megnövekedett, ezzel az öblítőfolyadék dinamikus nyomása is megnőtt, és ezt a nyomást a réteg már nem bírta el. A réteg felrepedt, és ezért következett be a 7” beléscső tolóhüvely kinyitáskor részleges, majd a II. lépcső cementezésekor teljes folyadékvesztés.
- ❑ Az 6” szelvény fúrása alatt nem lépett fel a 1,80 kg/l sűrűségű öblítőiszappal folyadékvesztés. Ez arra utal, hogy ebben a szakaszban lévő alsó pannon és felső kréta rétegek felrepedésre nem hajlamosak, vízvisszasajtolásra nem alkalmasak.

Megállapítás: Szentes-Északkelet–1. (Szentes-ÉK–1.) kút vízvisszasajtolásra nem alkalmas.

Hatodik válasz:

- ❑ A vízvisszasajtolásra nem alkalmas kutak: Nsz–1., Nsz–2., Fáb–1., Fáb–2., Fáb–3., Oros–1., Oros–3. és Szentes-ÉK–1.
- ❑ A Nsz–3. kút vízvisszasajtolásra alkalmas, illetve aránylag kis költséggel alkalmassá tehető.
- ❑ A Fáb–4. és az Oros–2. kút vízvisszasajtolásra alkalmas lehet, illetve komoly, költséges és sok bizonytalansággal terhelt kútmunkálatokkal alkalmassá tehető.

Befejezés

A geotermikus koncesszió megvalósításának előkészítése során számtalan kérdés merült fel, amelyek közül csak 6-ot mutatott be ez a dolgozat. Ezekre a kérdésekre adott válaszok – remélhetőleg – elősegítették a döntéshozatalt és a projekt megvalósítását.

Irodalom

- [1] Pap Sándor: Fábiansebestyén – Nagyszénás – Oros-háza környékének mélyföldtana. Földtani Közlöny 123/1, 69–93 (1993), Budapest
- [2] Körössi László: Az Alföld délkeleti része kőolaj- és földgázkutatásának eredményei. I. rész. Általános Földtani Szemle 29, 41–132, (2005), Budapest.
- [3] Stegena Lajos – Horváth Ferenc – Landy Kornél-né – Nagy Zoltán – Rimpler János: Nagy entalpiájú geotermikus rezervoárak Magyarországon. Földtani Közlöny 122/2–4, 195–208. (1992), Budapest.
- [4] Dr. Dövényi Péter – Dr. Árpási Miklós (2012–2013): Nagy entalpiájú geotermikus fluidum hasznosító fúrások Magyarországon. Kézirat. (2013).
- [5] Prof. Dr. Bobok Elemér – Dr. Tóth Anikó PhD (Miskolci Egyetem: Túlnyomásos tárolók művelésének lehetőségei. TÁMOP – 4.2.1.B – 10/2/KONV – 2010 – 0001 jelű projekt része.
- [6] Kőolajkutató Vállalat, Szolnok: Fáb–4. kutatófúrás rövid műszaki összefoglalása. Szolnok, 1987. december 14.
- [7] Buda Ernő: Magyarországi kőolaj-, földgáz-, széndioxid-, hévíz- és gőzkitörések eseteiről (1909–2000). Fábiansebestyén–4. 1985. Nagykanizsa, 2001. június 4.
- [8] Dr. Szűcs Péter: Hidrogeológia. 2. Esettanulmány. Fábiansebestyén. (2014), Digitális Tankönyvtár.
- [9] Dr. Bobok Elemér: Geotermikus energiatermelés környezeti hatásai. VII. Súlyos üzemi balesetek környezeti hatása. 1. A Fábiansebestyén–4. gőzkitörés. (2014), Digitális Tankönyvtár
- [10] TRP GEO Spa (GeoBlue Kft.): Fábiansebestyén – The investment, the site, the estimated re-injection power need and the drilling costs. (2010).
- [11] Reiniger Róbert (Deloitte Zrt.) (GeoBlue Kft.): Jelen-tés a Fábiansebestyén külterületén tervezett geotermi-kus energia hasznosítására. (2009).
- [12] Ónodi Tibor: Fábiansebestyén geotermikus lehetősé-gei. Kézirat. 2008. október 3.
- [13] Kocsis András: Geotermikus kút béléscső szerkezeté-nek tervezése. Diplomamunka. Miskolc, (2011).
- [14] Magyar Bányászati és Földtani Hivatal: Gádos geotermikus koncessziós terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentés. Budapest, 2012. október 30.
- [15] YouTube: Fábiansebestyeni gőzkitörés
- [16] YouTube: Kurca Televízió – Fábiansebestyén–4-es számú lefajtott gőzkút 2014-ben, 1–2. rész (Dr. Szabó György, Dr. Árpási Miklós, Farkas Sándor)
- [17] Árpási Miklós: Geovillamos áramtermelés. Forrás-oldali lehetőségek Magyarországon. Kézirat. 2015. május.
- [18] Bencsik István – Csaba József – Megyeri Mihály – Pap Sándor: Nedvesgőz-termelési lehetőség a Nagy-szénás–3. kútból. BKL Kőolaj és Földgáz 25. (125.) évf. 7. szám, 1992. július, 193–206.
- [19] id. Ösz Árpád: Fábiansebestyén–4 kút összefoglalása és rajzai. Kézirat (2009).
- [20] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal: Magyarország geotermikus felmérése, 2016. Buda-pest. Szerkesztette: dr. Tóth Anikó Nóra.
- [21] Kútönyvek. Kőolajkutató Vállalat, Szolnok, (2009).
- [22] Kun Éva – Zilahi-Sebess László – Szanyi János: Bat-tonya–Pusztaföldvári–hát térségének nagy entalpiájú geotermikusenergia-vagyona (I. rész): Hidrodinami-kai és hőtraszport modell. Földtani Közlöny, 152/1, 53–76., (2022), Budapest. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2022.152.1.53>
- [23] Szanyi János – Bíró Lóránt: Nagy entalpiájú geoter-mikus rendszerek. Szegedi Tudományegyetem.
- [24] Bada Gábor – Dombrádi Endre – Mike Peffer – Bla-ine Saathoff: Gádos Geothermal Concession – A breakthrough in geothermal energy utilization in Hungary?
- [25] Dr. Beke János: Műszaki hőtan mérnököknek. Mező-gazdasági Szaktudás Kiadó, (2000), Budapest.
- [26] Dr. Vitális György. Magyarország vízföldtana. OSKAR Kiadó, (2012), Budapest.
- [27] Peter Aird: Drilling and testing hot high pressure well. Oilfield Review, April/July 1993, 15–32.
- [28] Kriti Yadav – Anirbid Sircar: Review of deep drilling techniques for high entalpy geothermal resevoirs. International Journal of Advanced Research (IJAR), June 2017, 2359–2370. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/4681>
- [29] Vangala Srimannarayana: High Pressure High Tem-perature Well Completion and Problems.
- [30] Alejandro Obando: High-pressure, high temperature technologies. Oilfield Review, 2008, Autumn, 46–60.
- [31] Santana Das: HPHT101 – What petroleum engineers and geoscientists should know about high pressure high temperature environment. Canadian Research & Development Center of Sciences and Cultures. Vol. 4, No. 2, (2012), 36–60.