



**Termoficare geotermică în
România**

**Potențial de utilizare și
strategii de optimizare pentru comuna
Lovrin**

**Raportul rezultatului partenerilor de proiect
GeoThermal Engineering GmbH**

August 2019

Autori: Dr.Michael Kraml, Geraldine Löschan

Cuprins

1. Introducere.....	2
2. Poziție geografică și geologică.....	4
3. Bază de date.....	6
3.1 Analize chimice.....	6
3.2 Puțuri în zona comunei Lovrin.....	7
3.3 Utilizarea apei termale.....	10
4. Rezultatele analizelor chimice.....	1
5. Posibilități de optimizare a utilizării apei termale în Lovrin.....	5
5.1 Reinjectarea apei termale.....	2
5.2 Instalarea unei stații de epurare a apei.....	2
5.3 Construirea unei canalizări + schimbător de căldură pentru reducerea temperaturii.....	2
5.4 Diluare.....	2
5.5 Suplimentar: separarea gazului metan și a combustiei într-un CHP.....	7
6. Recomandări de acționare pentru concepte de utilizare viitoare.....	3
7. Generalizarea rezultatelor.....	0
Literatură.....	3
...	1
	3
	3
	3
	4
	3
	5

1. Introducere

În județul Timiș în vestul României există în jur de 20 puțuri adânci din care se poate extrage apă termală caldă de 70 – 90 °C. Deși utilizarea resurselor geotermice adânci oferă un potențial mare pentru o alimentare termică durabilă și ecologică, doar unul dintre aceste puțuri este utilizat în prezent.

Comuna Lovrin extrage apă caldă de 84 °C în scop de încălzire, unde apa termală este pompată direct în rețeaua de căldură a comunei. Din cauza compoziției chimice a apei termale se formează depuneri și coroziune în conducte și calorifere, ceea ce conduce la costuri mari de întreținere. Pe lângă utilizarea căldurii locale, apa termală este folosită în plus balneologic în baia termală locală. Dat fiind faptul că, comuna nu dispune de nicio canalizare de apă reziduală și apa termală nu poate fi condusă din nou printr-un al doilea puț în rezervor, are loc înlăturarea și depozitarea deșeurilor în prezent în șanțurile de drenaj.

Din cauza situației descrise există în Lovrin un interes mare în optimizarea uzinei de termoficare. Chiar și alte comune în regiune, precum comuna Gottlob la aproximativ 6 km sud-vest de Lovrin sau și comuna Pecica în județul Arad, prezintă interes în utilizarea posibilităților geotermice date în regiune, precum și în elaborarea unei rețele de termoficare ecologice și durabile din resurse geotermice pentru comune. Scopul proiectului “Termoficare geotermică în România” este prin urmare:

- Optimizarea uzinei de termoficare existente în comuna Lovrin.
- Elaborarea bazelor pentru o uzină de termoficare comună a comunelor Lovrin și Gottlob din resurse geotermice resp. dezvoltarea unui concept de utilizare a termoficării cu recomandări de acționare.
- Derivarea unui ghid de acționare, care sprijină și alte comune în implementarea unui sistem de alimentare cu energie termică locală resp. termoficare.
- Elaborarea studiilor de fezabilitate pentru ca, comunele să poată depune cererile corespunzătoare de finanțare din fonduri UE de subvenții pentru implementarea ulterioară pe scară largă.

Pentru GeoThermal Engineering au fost specificate în acest sens următoarele pachete de lucru:

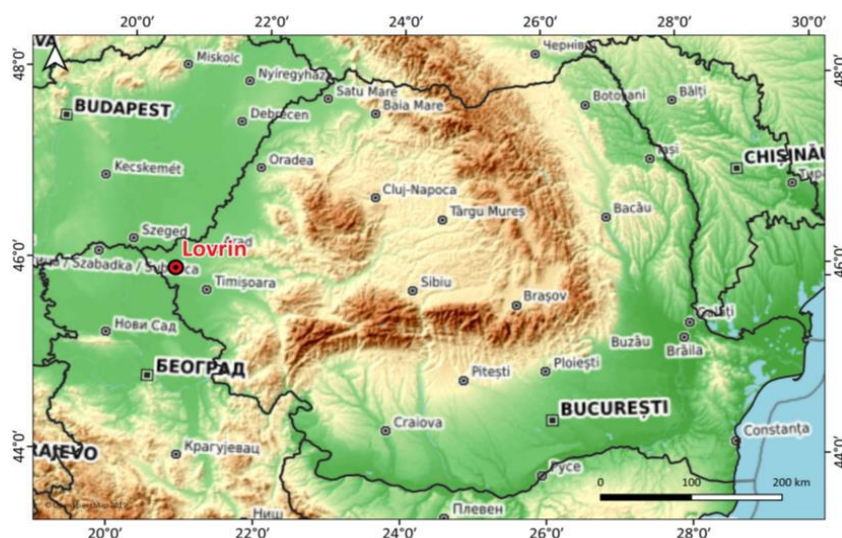
- Pentru Lovrin și Gottlob: verificarea posibilităților instalării unei stații de epurare a apei termale pentru care ar trebui să fie puse la dispoziție analize de laborator.
- Plauzibilizarea expertizei hidrologice pentru Lovrin și Gottlob, care ar trebui să fie întocmit printr-un birou de specialitate românesc.
- Pentru Lovrin și Gottlob: întocmirea recomandărilor de acționare și calculul rentabilității pe baza expertizei hidrologice.
- Generalizarea conceptelor de rezolvare în Lovrin și Gottlob, pentru a le putea transfera pe alte comune, precum și colaborarea în vederea întocmirii unui ghid de acționare.

Cu toate acestea contrar conceptului inițial al proiectului analizele de laborator puse la dispoziție pentru examinările suplimentare nu au fost potrivite (cf. și capitolul 3.1), precum și în perioada de derulare a proiectului nu a fost întocmită nicio expertiză hidrogeologică printr-un birou de specialitate român, programul de lucru a fost adaptat după cum urmează:

- Reperarea infrastructurii rețelei de apă termală/de încălzire în Lovrin, precum și prelevarea tehnico-specifică de probă de la fața locului (apă termală, depuneri)
- Atribuirea analizelor de laborator, precum și evaluarea rezultatelor (compararea cu valorile limită)
- Verificarea posibilităților de optimizare generale (inclusiv aprecierea costurilor) pentru utilizarea apei termale resp. uzinei de încălzire locală în Lovrin.
- Derivarea recomandărilor de acționare pentru diverse forme de utilizări viitoare
- Generalizarea rezultatelor, pentru a le putea transfera pe alte comune.

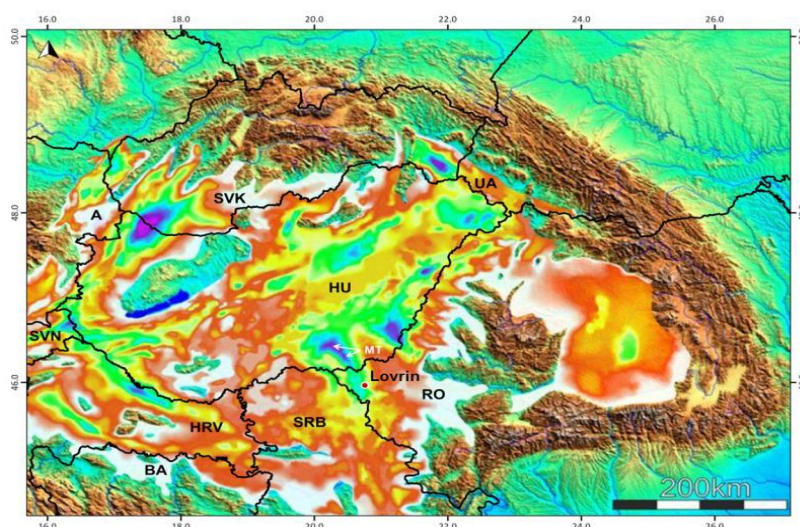
2. Poziție geografică și geologică

Comuna Lovrin se află în județul Timiș în vestul României, aproximativ 45 km nord-vest față de capitala orașului județ Timișoara (Temeswar). Comuna are aproximativ în jur de 3.200 de locuitori.



Ilustrația 1: asamblarea geografică a Lovrin-ului în vestul-României

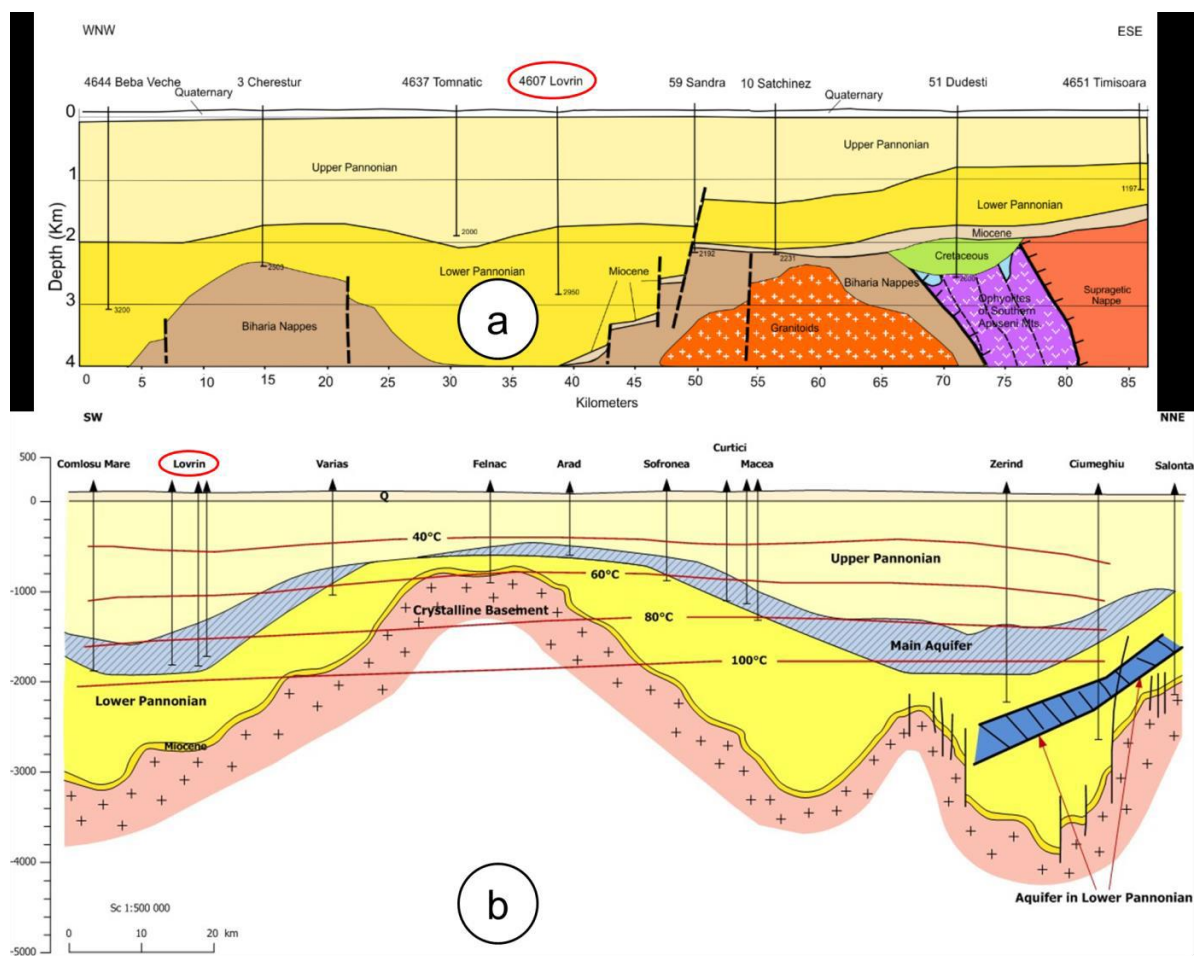
Geologic Lovrin se află în zona de proiect în Bazinul Panonic, care se extinde pe o lungime maximă de aproximativ 600 km în sud-vest și 580 km direcția nord-sud pe o suprafață totală de mai mult de 212000 km² (Bazinul Transilvănean în România și Bazinul Vienei în Austria nu au fost calculate aici). Cuprinde nouă state părți (cf. și ilustrația 2), printre acestea cea mai mare parte Ungaria (HU), partea de sud a Slovaciei (SVK), marginea de est a Austriei (A), partea de est a Sloveniei (SVN), nord-estul Croației (HRV), extremul nord-est al Bosniei și Herțegovinei (BA), nordul Serbiei (SRB), marginea de vest a României (RO) și vestul extrem al Ucrainei (UA).



Ilustrația 2: harta Bazinului Panonic cu grosimea sedimentelor bazinului (alb = 0 km până la violet = 8 km)
 Sursa: Balázs et al. (2016, modificat)

Pentru utilizare geotermică, acviferul de piatră de nisip panonic superior (Pliocen târziu) reprezintă orizontul de utilizare principal. Acesta se extinde în vestul României pe o suprafață de aproximativ 2500 km² (Bendea et al. 2015). Acviferul de nisip panonic superior este antedat acviferului panonic inferior atât pe baza productivității mari, cât și pe baza chimiei favorabile a apei.

Adâncul Makó (MT în ilustrația 2) pe partea ungară continuă pe zona de lucru din vestul României până în Serbia (acolo va fi numit adâncul Srpska-Crnja ; Dejan & Ljupko 2016).



Ilustrația 3: (a) secțiune transversală geologică de la Beba Veche spre Timișoara cu puțul adânc de 2950 m Lovrin 4607 ((Rotâr-Szalkai et al. 2018, modificat); (b) profil longitudinal geologic de la Comioșu Mare spre Salonta cu trei puțuri adânci aproximativ de 2000 m în jurul Lovrin-ului (Sursa: proiect DARLINGe ; conform Panu et al. 2000, modificat). Orizontul de utilizare principal geotermic (Acviferul principal) se găsește în Panonicul Superior (Upper Pannonian).

3. Bază de date

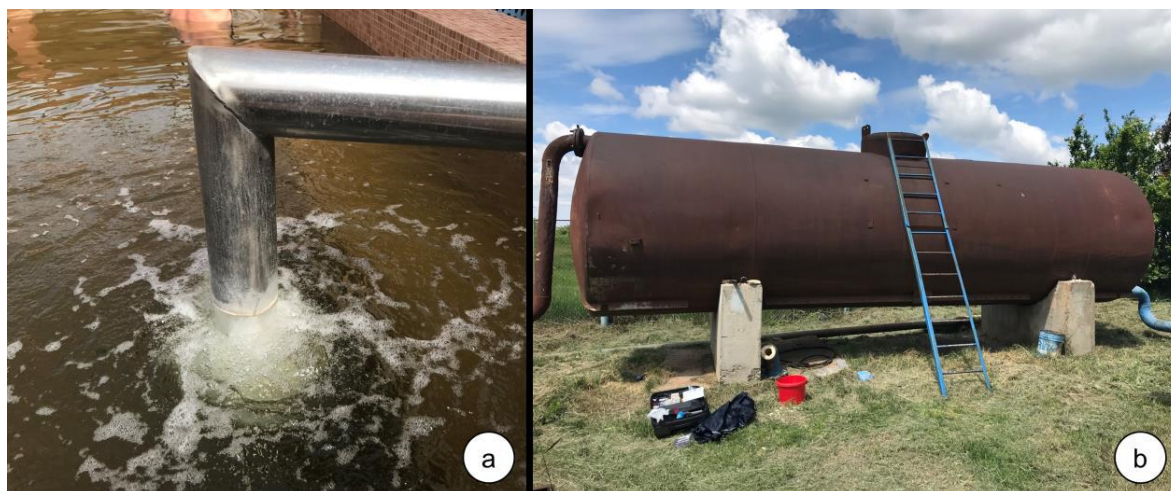
3.1 Analize chimice

La începutul proiectului, GeoThermal Engineering GmbH a trimis următoarele date/documente din partea României :

- 1) Document “Caracteristicile apei geotermale” cu un tabel privind variația datelor privind chimia apei din 2015 (puț 4607) și note explicative (1,5 pagini: autor/autoare: S.C. Hidroservices S.R.L.)
- 2) Document “Informații Lovrin” cu o analiză a apei din 2004 (puț 4607), hărți și documentații foto a instalațiilor geotermice (11,5 pagini: autor: J. Gerbl, Weber România S.R.L)
- 3) O analiză a apei din 2004 (puț 4607) în original (2 pagini : autor/autoare : S.C. Prospectiuni S.A)
- 4) O analiză a apei puțul 1543 în original din 1982 (2 pagini: autor/autoare: D.Cocic)
- 5) Planul asamblării comunei Lovrin (GIS-File)

Revizuirea documentației a relevat faptul că, există atât lacune de date (de ex. analize incomplete), cât și inconsistențe resp. variații uimitor de mari de date, care pot fi clarificate doar printr-o nouă analiză. Prin urmare s-a decis ridicarea propriilor date în timpul unei vizite în Lovrin, pentru a realiza o bază potrivită pentru prelucrarea proiectului. În plus a existat speranța de a furniza informații și date geologice suplimentare la fața locului, de ex. extinderea puțului, precum și obținerea unei analize a gazelor. Cu toate acestea, acest lucru a fost doar într-o măsură limitată, deoarece majoritatea datelor au trebuit să fie cumpărate pentru aproximativ 2.000-3.000 € pe puț de la firma SC FORADDEX VEST SA. Cu toate acestea, într-o căutare retrospectivă a datelor s-a dovedit că datele sunt parțial publicate.

Prelevarea probelor inclusiv vizitarea instalațiilor existente în Lovrin, au avut loc în 22.05.2019. Două probe de apă, una la degazeificatorul din spatele puțului și una la aflusul băii termale (cf. ilustrația 4), precum și o probă de rocă din depunerea de carbonat au fost prelevate dintr-o conductă imediat înainte de degazeificatpr (cf. și ilustrația 8).



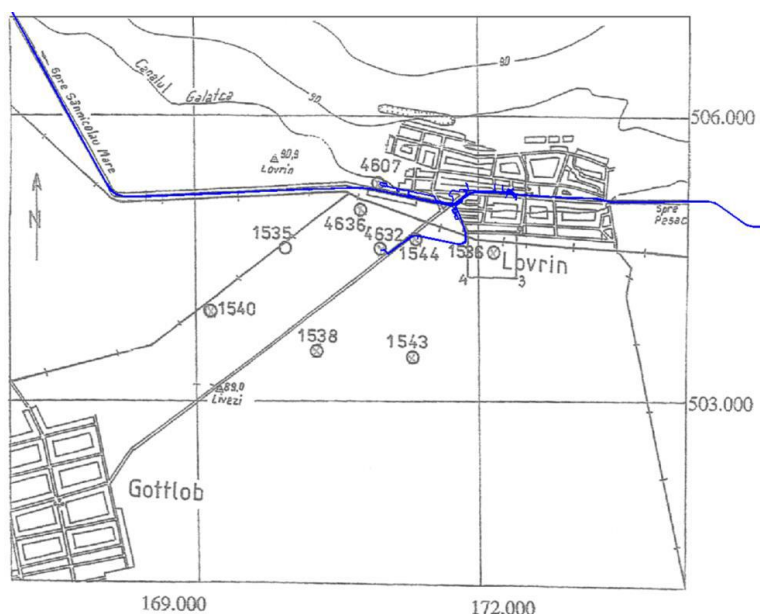
Ilustrația 4: (a) aflus de apă termală în baia termală și (b) degazeificator în spatele puțului de producție. Proba de apă a fost preluată de la deschizătura de pe partea superioară a tancului de degazeificare și depunerea de carbonat a fost eliminată de la partea conductei demontată (în spatele găleții roșii).

Temperatura apei a fost determinată în fiecare caz prin intermediul unui termometru cu infraroșu al firmei TFA Dorstmann GmbH & Co. KG, Wertheim (precizia măsurării $\pm 1,5^\circ \text{C}$), iar duritatea carbonatului a fost determinată la fața locului cu titrare până la pH 4,3 (Testul firmei JBL GmbH & Co. KG, precizia măsurării ± 2 grad de duritate). Valoarea pH-ului a fost determinată cu benzi indicatoare cu fixare de culoare (pH-Fix 4.5-10.0) al firmei Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren (precizia citirii $\pm 0,5$ unități). În plus apa a fost testată de sulfură semicantitativ prin intermediul unei hârtii de testare de asemenea de la Macherey-Nagel (rezultate: vezi tabelul 1 în capitolul 4).

Pe lângă prelevarea probelor, în discuția cu primarul comunei Lovrin, doi angajați tehnici, precum și domnul Dorin Blitz de la firma SC FORADEX VESTA SA (= succesorul fostei companii de stat, care este proprietarul puțurilor precum și a datelor subsolului) au putut fi obținute informații suplimentare despre puțurile de apă termală, precum și prin inspectarea instalațiilor a putut fi înțeleasă starea infrastructurii apei termale.

3.2 Puțuri în zona comunei Lovrin

În zona comunei Lovrin au fost scufundate din 1977 până în 1984 nouă puțuri de apă termală (cf. ilustrația 5). Primul puț (nr. 4607) a fost gândit ca și puț de explorare. Acesta a fost scufundat până la aprox. 2.900 m adâncime (vezi și ilustrația 3a) și cel puțin parțial fixat (cf. ilustrația 6). Acesta reprezintă singurul puț de producție activ în zona proiectului.



Ilustrația 5: privire de ansamblu a asamblării puțurilor de apă termală în zona comunei Lovrin. Harta prezentării generale nu este precisă și deformează (aceasta este clar la puțul încă activ 4607: acesta nu se află lângă canal (Canalul Galatca) și stradă, ci în nord față de canal. Linia albastră (GPS-Track) marchează distanța parcursă la fața locului.

Părți ale carotei au fost utilizate aproape de puț pentru umplerea striurilor urmelor pe drumul de țară (ilustrația 6). Carota este alcătuită din depuneri alternative de piatră de nisip/argilă. Piatra de nisip predomină, sunt formate parțial fibros și marcate prin mică deschisă pe suprafețele stratului.

În zona, probabil, superioară a segmentului carotei este umplută o fisură în unghi foarte abrupt cu depuneri de carbonat pentru stratificare (ilustrația 6a), ceea ce sugerează că la carote ar putea fi vorba despre o parte din zona rezervorului. Conform afirmației domnului Biltz (SC FORADEx VEST SA), zona rezervorului are o grosime de aproximativ 100-150 m și se situează în intervalul de adâncime 1.500 și 1.800 m (cf. și ilustrația 3b).



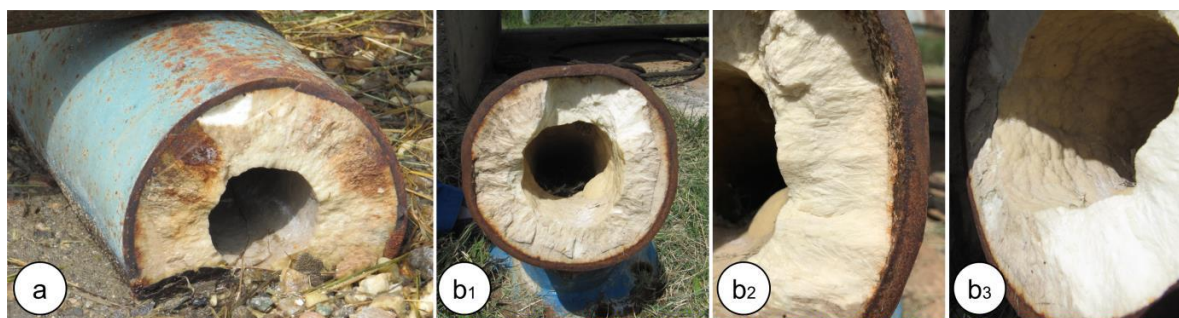
Ilustrația 6: carotele din puțul explorat 4607, care vor fi utilizate pentru umplerea striurilor urmelor pe drumul de țară aproape de puț

Dat fiind faptul că, puțul 4607 a fost găurit complet (13%, 9% și 7 țoli), învelișul a trebuit să fie perforat în zona rezervorului pentru a putea produce apă termală. Aceasta curge liber cu 84 °C, aceasta înseamnă cu cel puțin 0,5 bar la debitul maxim de curgere de 12 l/s. La ≤ 6 l/s presiunea crește la 1,5 bar și temperatura scade puțin. Dacă de exemplu puțul este scos din funcțiune pentru puțin timp pentru lucrările de întreținere, nivelul apei se oprește la -14 m sub marginea superioară a terenului. Apoi, scurgerea liberă poate fi reactivată cu ajutorul unui lift aerian. Debitele au fost determinate prin intermediul timpului măsurat în care un butoi de 200 de litri se umple complet.



Ilustrația 7 (a): puțul de producție nr. 4607 precum și (b) conducta de alimentare de la puț la degazeificator

Nu se poate face în prezent nicio declarație despre starea puțului 4607, care a fost scufundat în 1977, deoarece nu a existat nicio inspecție (de exemplu, prin inspecția cu o cameră). Se știe doar că s-a depus puțin carbonat la o adâncime de 50 până la 70 m. Cu toate acestea, cea mai mare parte a precipitațiilor de carbonat se găsește în conducta spre degazeificator (cf. ilustrația 7b, ilustrația 8) astfel că, aceasta trebuie să fie înlocuită în fiecare an.



Ilustrația 8: conducta de 14 mm din oțel puternic dintre puțul de producție și degazeificator cu depuneri de carbonat de (a) 42 mm și (b) 34 și 37 mm, care reduc drastic diametrul interior (a: 154 mm ; b: 150 mm) la doar 70 mm (a) și 79 mm (b). Proba de carbonat a fost prelevată din bucată de conductă (b1). Imaginile detaliate 2b și b3 prezintă structura densă radiantă a carbonatului.

Celelate puțuri (cf. ilustrația 5), care au servit în primii ani pentru încălzirea serelor (→ export amplu de legume în fostele state din Blocul de Est), sunt fiecare de câte 2.000 m adâncime și indică temperaturi de scurgere de 75 până la 80 °C. Acestea au fost scoase din funcțiune în 1992/93. Chiar și aceste puțuri care nu mai sunt utilizate sunt marcate fără excepție printr-o scurgere liberă de aproximativ 10 l/s. Pe baza testelor de interferență se pleacă de la premisa că, nu toate puțurile au produs acvifer din aceeași apă termală.

Pentru încălzirea serelor au fost utilizate în special puțurile nr. 4636, 4632 și 1544. Ambele puțuri 1535 și 1536 au fost prevăzute inițial pentru reinjectare. Reintroducerea apei termale utilizate în subsol nu a fost totuși posibilă conform afirmației domnului Blitz (SC FORADEX VEST SA) chiar la presurizarea de 700 bar (pompă cu motor 160 kW). În literatură este specificată o presiune aparent realistă a capului de reinjectare de 50-90 bar (Mitrofan & Șerbu 1997), ceea ce face însă imposibilă reinjectarea în această zonă.



Ilustrația 9: (a) puț 1544 cu subsol uscat al puțului și (b) puțul 4632; se ține cont de apa cu plante acvatice “lintiță” (Lemna minor) la subsolul puțului.

3.3 Utilizarea apei termale

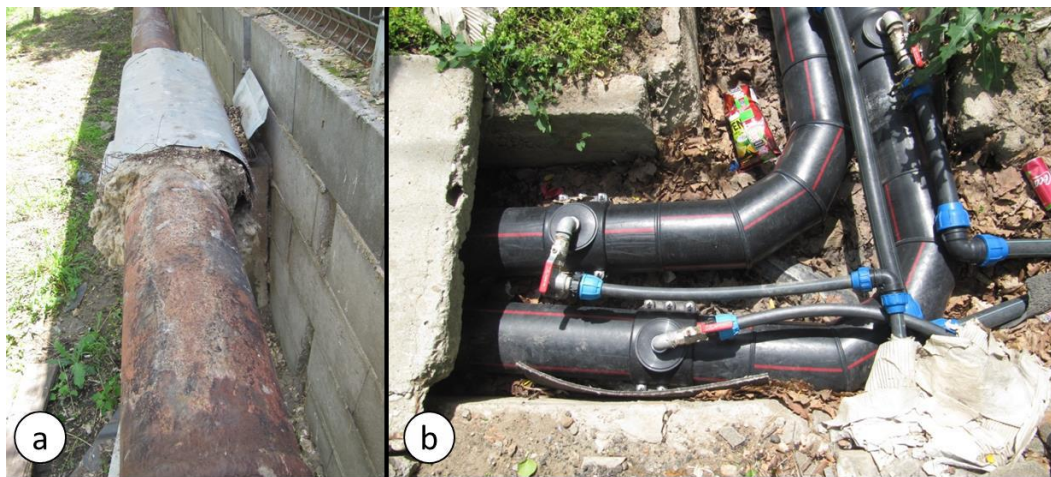
În timpul iernii în Lovrin se extrage aproximativ 10 l/s de apă termală pentru încălzire, în timp ce vara sunt necesari doar 4 l/s pentru funcționarea băii termale (22.05.2019 : 6l/s).

Presiunea la puțul de producție este - așa cum s-a menționat în capitolul 3.2 - 1,5 bar și este crescută cu o pompă supraterană (în apropierea puțului de producție) la 3,5 bar (cf. ilustrația 10).



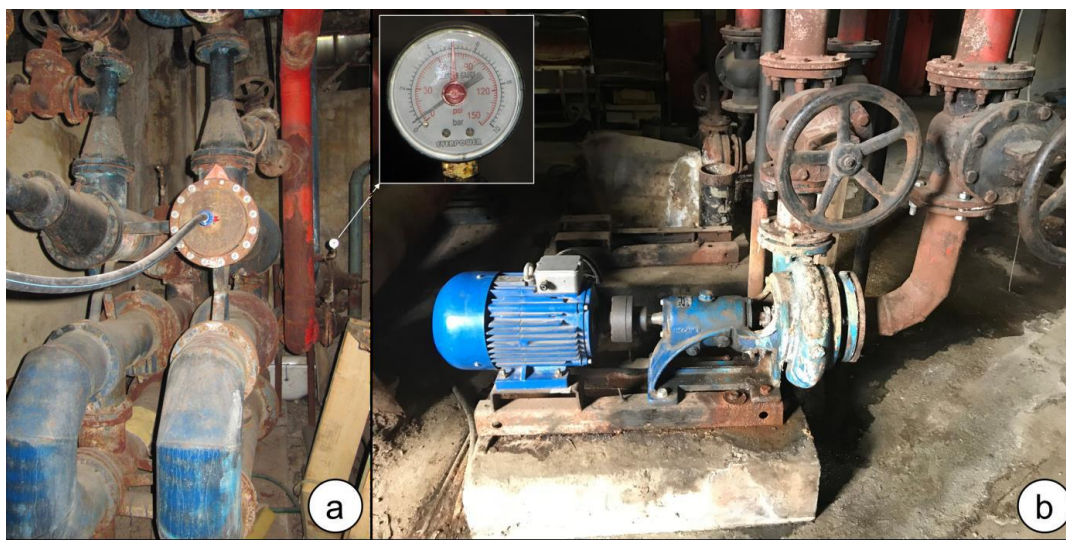
Ilustrația 10: pompă supraterană pentru creșterea presiunii în conducta de apă termală.

Apa termală ajunge la aproximativ 1,5 km până la stația de încălzire la vest cu o presiune de 0,5 bar. Conducta de apă termală până la centrala de încălzire este compusă din metal (fier resp. oțel; 200 mm diametru resp. 160 mm în segmentele recent înlocuite), în timp ce distribuția are loc prin conducte din plastic de polietilenă de înaltă densitate puse paralel (alimentare și flux de retur). Dintre acestea din urmă pleacă conductele de casă (cf. ilustrația 11 b). Conducta de la puțul de producție până la centrala de încălzire este practic fără izolație (cf. ilustrația 11a), motiv pentru care apa termală de 72° C la degazeificator indică numai 68 °C (măsurată cu un termometru cu infraroșu) când ajunge la centrala de încălzire.



Ilustrația 11: (a) segmentul conductei de apă termală între puțul de producție și centrala de încălzire; (b) ramificația conductelor gospodăriei cu robinete sferice BIANCHI.

Centrala de încălzire nu mai funcționează complet din 1999 (aceasta înseamnă practic că este scoasă din funcțiune). De asemenea și popma centralei de încălzire, care în mod normal crește presiunea în conducta de distribuție, este în prezent scoasă din funcțiune (ilustrația 12b).



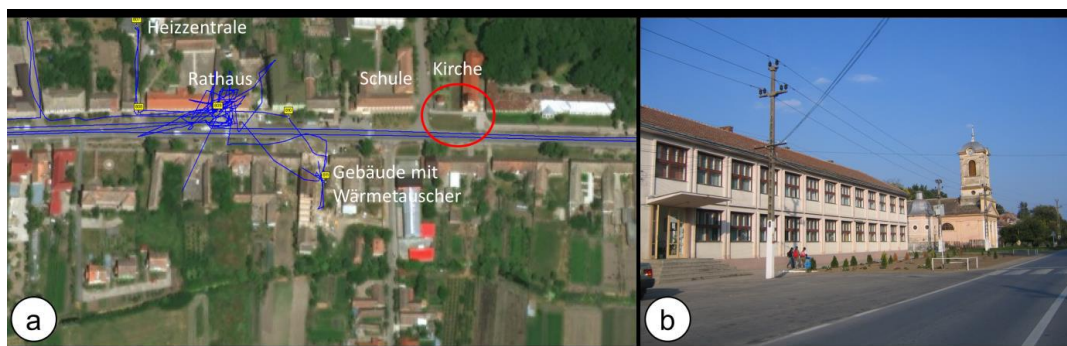
Ilustrația 12: centrala de încălzire (a) apa termală de intrare în conducta roșie, (b) pompă

Ilustrația 13 oferă o impresie a conductei de alimentare și a fluxului de retur în care în timpul iernii circulă direct apa termală. Temperaturile diferite măsurate în 22.05.2019 cu termometrul-IR la conductă nu au coincis cu acelea de pe afișaj (de la fiecare câte 52 °C).



Ilustrația 13: centrala de încălzire cu conductă de alimentare și flux de retur (tranziția de la metal la plastic-HDPE)

Ilustrația 14 prezintă poziția centralei de încălzire în centrul Lovrin-ului. În prezent, toate clădirile publice și aproximativ 100 de apartamente private sunt conectate la rețeaua de căldură locală.



Ilustrația 14: (a) începutul conductei de distribuție la centrala de încălzire și capătul la biserică. Linia albastră (GPS-Track) marchează segmentele puse la fața locului. (b) Școala și biserica la care se termină conducta de distribuție (Fotografia b: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3693697>)

În timp ce apa termală din toate celelalte clădiri curge direct prin calorifere, a fost instalat la centrul comunei/clădirile de evenimente, un nou schimbător de căldură în plăci, care nu este încă în funcțiune, al companiei italiene VAREM (17 plăci, 10 bar) cu rezervor de compensare (6 bar) pentru a încălzi clădirea printr-un circuit secundar cu calorifere deionizate prin care curge apă de la robinet (temperatură de curgere 45°C, temperatura camerei 20°C).



Ilustrația 15: schimbător de căldură în plăci cu rezervor de compensare a presiunii pentru alimentarea unei construcții noi în Lovrin

Ultima utilizare a apei termale înainte de evacuarea ei într-un șanț de drenaj are loc în baia termală locală. În lunile de iarnă, în timp ce furnizarea are loc exclusiv în piscina interioară (cf. ilustrația 16b), piscina exterioară este alimentată în plus și în lunile de vară (cf. ilustrația 16a).

Datorită extracției de căldură din rețeaua locală de încălzire în lunile de iarnă, temperatura la scurgerea din piscina interioară este în această perioadă de ≥ 30 °C. Dacă în comună nu există pierderi de căldură, temperatura la scurgere este de > 60 °C.



Ilustrația 16: (a) bazin termal în aer liber și (b) piscină interioară fiecare în stare excelentă. Apa termală – piscina exterioară (a1) va fi condusă printr-o cascadă (în spatele a2) în bazinul de înot astfel încât să se poată răci puțin. În prim-planul (b) se află afluentul din oțel inoxidabil pentru umplerea piscinei interioare (22.05.2019: 66 °C).

După piscina interioară ca ultim element din utilizarea cascadei apa va fi condusă într-un șanț de drenaj pe cealaltă parte a străzii (ilustrația 12).



Ilustrația 17: scurgerea apei termale în șanțul de drenaj (a1, a2). La punctul de evacuare a unei conducte din beton (a3) a urmat determinarea temperaturii apei aburinde (62°C la temperatura aerului de 19°C , ceea ce corespunde unei puteri de 1 MW_{th} la 6 l/s). (b) indică trecerea sub stradă (Düker) și (c) continuarea șanțului de drenaj pe partea nordică a străzii în interiorul parcului.

În general, condițiile de temperatură au un impact mare asupra ecologiei acvatice. În Lovrin, de exemplu, prin evacuarea apei termale, broasca mare de lac *Pelophylax ridibundus*, care locuiește în acest canal/pârâu, rămâne activă și iarna și nu hibernează (Bogdan et al. 2011). De asemenea, solubilitatea oxigenului în apă scade odată cu temperaturile în creștere. Prin urmare, o creștere a temperaturii duce din acest motiv la agravarea condițiilor de viață ale viețuitoarelor acvatice.

4. Rezultatele analizelor chimice

Așa cum s-a prezentat deja în capitolul 3.1, în 22.05.2019 au fost prelevate două probe de apă termală pentru o analiză hidrochimică completă, o probă fiind prelevată la ieșirea superioară a degazeificatorului puțului nr. 4607 și cealaltă probă la afluxul piscinei interioare termale. Tabelul 1 oferă o imagine de ansamblu a parametrilor măsurați la fața locului: temperatura, valoarea pH-ul, duritatea carbonatului și conținutul de sulfuri.

Tabelul 1: parametrii măsurați la fața locului în 22.05.2019. Conținutul de sulfură (dacă există) este foarte scăzut, deoarece chiar și mai multe picături de apă nu au dus la decolorarea brună a benzii de testare.

Prelevare probă	Abreviere	Temperatură-apă [°C]	Valoare-pH [-]	Duritate carbonat [°dH]	Sulfură [mg/l]
Piscină interioară, aflux de apă termală	HB	66	8,3	55 (53-57)	<< 5
Puț termal 4607, degazeificator	TH	72	8,0	51 (49-54)	<< 5

Rezultatele analizelor hidrochimice complete, care au fost efectuate prin Institutul Tehnologic Karlsruhe (KIT) sunt prezentate în tabelul 2. În acestea sunt prezentate de asemenea rezultatele analizelor anterioare ale apei termale.

Valorile limită pentru apa potabilă conform OMS (2017), precum și pentru deversări în ape naturale (NTPA 001) resp. în canalizări (NTPA 002) din România sunt prezentate în tabelul 3. La acesta se arată că apa termală din Lovrin depășește în mod semnificativ temperatura maximă admisă, precum și valorile limită pentru clorură și conținutul total de solvent conform specificațiilor românești pentru evacuarea în ape naturale (NTPA 001). În plus, concentrația de bor în apa termală este mai mult de două ori mai mare decât valoarea limită-OMS a apei potabile.

În 22.05.2019 s-a renunțat la o prelevare de probă de gaz. Cu toate acestea după multe examinări anterioare, se poate presupune că în acvifer se dizolvă 1-2 Nm₃/m₃ metan (CH₄) în apa termală (Panu et. al 2002). Pentru puțul termal 4607 s-au specificat o valoare de 0,8-1,3 Nm₃/m₃ și presiuni de saturație de 9-20 atm (bar) (S.C. Hidroservices S.R.L.), care corespunde unei adâncimi de apă de 80 până la 190 m. Conținutul de gaz la fața locului a fost de 1,5 până la 1,7 Nm₃ / m₃.

Termoficare geotermică în România
 Potențial de utilizare și strategii de optimizare pentru comuna Lovrin

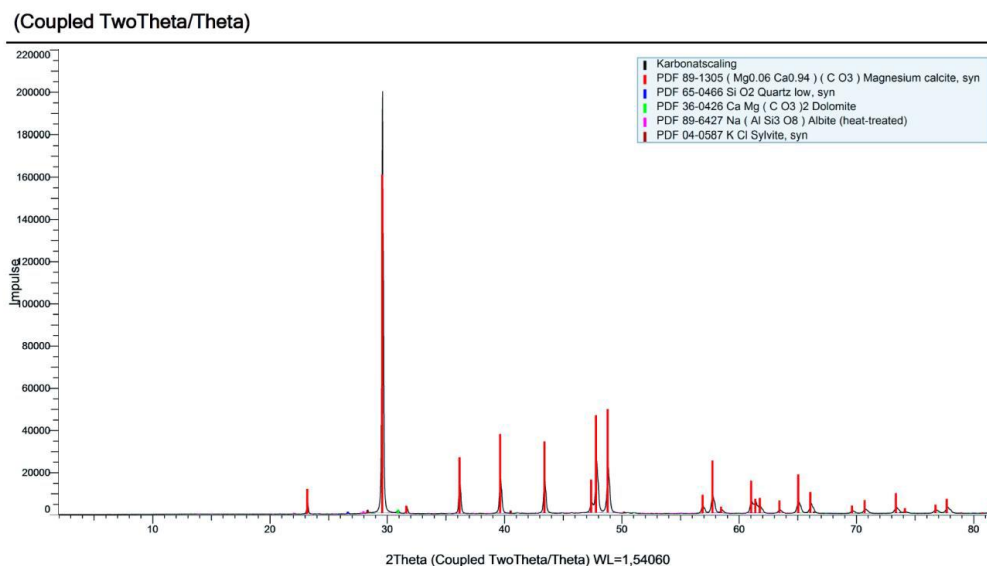
Tabelul 2 : rezultatele hidrochimice complete care au fost prelevate din probele de apă termală în 22.05.2019 în Lovrin (TH = puț 4607 și HB = afluxul apei termale) precum și rezultatele examinărilor anterioare.

Messgröße	Einheit	22.05.19 (TH)	22.05.19 (HB)	07.08.18 (TH)	10.11.04 (TH)	17.04.15 (TH)
Temperatur	[° C]	72	66	-	85	-
el. Leitfähigkeit	[μS/cm]			4400	4390	-
pH-Wert	-	8,0	8,3	8,3	8,36	7,2 - 7,8
Na	[mg/l]	995,4	976,9	-	983	944,6 - 1200
Mg	[mg/l]	3,63	3,19	-	2,8	5,55 - 6,2
K	[mg/l]	15,91	15,46	-	16,5	103,1 - 105,3
Ca	[mg/l]	12,83	6,17	12	11,45	3,55 - 15,2
SiO ₂	[mg/l]	50,5	49,4	-	22	32 - 57
F	[mg/l]	0,84	0,81	-	0,3	-
Cl	[mg/l]	892,6	878,4	-	851	590 - 815,5
Br	[mg/l]	-	-	-	0,5	-
NO ₃	[mg/l]	< NG	< NG	0,815	-	0,048 - 0,430
SO ₄	[mg/l]	8,67	7,54	7,62	-	8,23 - 67,5
I	[mg/l]	-	-	2,5	0,2	-
NH ₄ ⁺	[mg/l]	-	-	3,67	14	21 - 29,8
S ²⁻ und H ₂ S	[mg/l]	kein Hinweis	kein Hinweis	-	0	-
HCO ₃	[mg/l]	1112	1199	-	1342	1342 - 1649
CO ₃	[mg/l]					75,2 - 174,3
B	[μg/l]	5198	5076	-	7750	5500
P	[μg/l]	176,5	179,6	-	-	-
Al	[μg/l]	16,55	12,84	-	73,2	-
Li	[μg/l]	226,0	223,2	-	200	-
Ti	[μg/l]	6,21	6,45	-	-	-
V	[μg/l]	2,33	2,11	-	0	-
Cr	[μg/l]	0,25	0,12	-	1,7	-
Mn	[μg/l]	10,12	0,38	19,4	50	-
Fe	[μg/l]	55,6	15,1	114	75	510 - 1650
Co	[μg/l]	0,10	0,07	-	0,12	-
Ni	[μg/l]	< 0,04	< 0,04	-	1,89	-
Cu	[μg/l]	< 0,04	< 0,04	-	56,67	-
Zn	[μg/l]	13,78	3,40	-	15,2	-
As	[μg/l]	6,10	5,71	-	0	-
Rb	[μg/l]	21,71	21,47	-	-	-
Sr	[μg/l]	648,5	571,9	-	-	-
Y	[μg/l]	0,02	0,01	-	-	-
Mo	[μg/l]	0,33	0,23	-	3,72	-
Cd	[μg/l]	< 0,001	< 0,001	-	0,26	-
Sb	[μg/l]	< 0,02	< 0,02	-	-	-
Cs	[μg/l]	2,49	2,46	-	-	-
Ba	[μg/l]	439,6	406,8	-	-	-
Pb	[μg/l]	< 0,02	< 0,02	-	8,72	-
U	[μg/l]	< NG	< NG	-	-	-
Be	[μg/l]	-	-	-	0,03	-
Se	[μg/l]	-	-	-	3,02	-
TDS berechnet	[g/l]	3,05	3,09	-	3,25	3,13 - 4,13
TDS angegeben	[g/l]					3,44 - 3,80
TDS aus EC ber.	[g/l]			3,30	3,29	
Suspension	[mg/l]	-	-	-	9,3	-
Phenole	[mg/l]	-	-	-	4,5	2,3 - 3,8

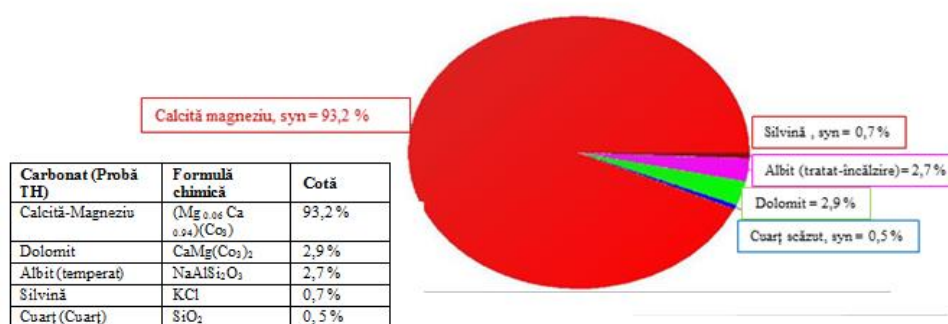
Tabelul 3: valorile limită OMS pentru apa potabilă și valorile limită românești pentru evacuarea în ape naturale (NTPA 001) resp în canalizări (NTPA 002). # Limite suplimentare din documentul "Informații Lovrin". * Rezultat: roșu = apă termală în Lovrin peste valoarea limită, verde = în intervalul de toleranță sau sub valorile limită.

Messgröße	Einheit	WHO	NTPA 001	NTPA 002	Ergebnis*
Temperatur	[° C]	-	35	40	
el. Leitfähigkeit	[μS/cm]	-	-	-	kein Grenzwert
pH-Wert	-	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	
Na	[mg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Mg	[mg/l]	-	40 [#]	-	
K	[mg/l]	-	50 [#]	-	
Ca	[mg/l]	-	300	-	
SiO ₂	[mg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
F	[mg/l]	1,5	5	-	
Cl	[mg/l]	-	500	-	
Br	[mg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
NO ₃	[mg/l]	50	25	-	
SO ₄	[mg/l]	-	600	600	
I	[mg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
NH ₄ ⁺	[mg/l]	1,5	2,0	-	
S ²⁻ und H ₂ S	[mg/l]	-	0,5	-	
HCO ₃	[mg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
CO ₃	[mg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
B	[μg/l]	2400	-	-	
P	[μg/l]	-	1000	5000	
Al	[μg/l]	-	5000	-	
Li	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Ti	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
V	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Cr	[μg/l]	50	1000	1500	
Mn	[μg/l]	-	-	2000	
Fe	[μg/l]	-	5000	-	
Co	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Ni	[μg/l]	70	-	1000	
Cu	[μg/l]	2000	200	200	
Zn	[μg/l]	-	-	1000	
As	[μg/l]	10	100	-	
Rb	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Sr	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Y	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Mo	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Cd	[μg/l]	3	200	300	
Sb	[μg/l]	20	-	-	
Cs	[μg/l]	-	-	-	kein Grenzwert
Ba	[μg/l]	1300	-	-	
Pb	[μg/l]	10	200	500	
U	[μg/l]	30	-	-	
Be	[μg/l]	(12)	-	-	
Se	[μg/l]	40	-	-	
TDS	[g/l]	-	2	-	
Suspensionsfracht	[mg/l]	-	35	350	
Phenole	[mg/l]		0,3	30	

În plus față de examinările hidrochimice, s-a prelevat o probă de rocă din depunerile din conductă imediat înainte de degazeificator (cf. capitolul 3.2). Ilustrația 18 și ilustrația 19 arată rezultatele analizei difracției de raze X (XRD). Prin urmare calcita de magneziu este faza minerală dominantă în separații (numită și scale) cu o pondere de 93,2%. Carbonatele de magneziu-calcium în general (calcită + dolomit) reprezintă o pondere de 96,1%. Compoziția chimică a precipitatului de carbonat este prezentată în tabelul 4.



Ilustrația 18: diagramă cu intensitatea razelor X „reflectată” trasată față de „unghiul de reflecție” (2 Theta). Lungimea de undă a razei X monocromatice utilizate pentru examinare este de 1,54 angstromi (radiație -K α cupru).



Ilustrația 19: compoziția mineralogică a depunerilor de carbonat din conductele de apă termală în Lovrin.

O analiză chimică anterioară a depunerii de carbonat în aprilie 2015 a rezultat 93 până la 97% CaCO₃, Na₂CO₃, 1,5 până la 2,0% FeCO₃ și aproximativ 1% MgCO₃ (S.C. Hidroservices S.R.L.).

Tabelul 4: elementele principale și urmele depunerii de carbonat

Messgröße	Einheit	Probe TH	Messgröße	Einheit	Probe TH
Na	[g/kg]	0,35	Li	[mg/kg]	2,08
Ca	[g/kg]	359	B	[mg/kg]	0,65
K	[g/kg]	<0,03	P	[mg/kg]	576
Mg	[g/kg]	14,1	V	[mg/kg]	0,57
Al	[g/kg]	0,10	Cr	[mg/kg]	0,48
Mn	[g/kg]	1,50	Co	[mg/kg]	0,25
Fe	[g/kg]	9,24	Ni	[mg/kg]	0,59
Si	[g/kg]	<0,41	Cu	[mg/kg]	0,20
Sr	[g/kg]	4,17	Zn	[mg/kg]	1,41
Ba	[g/kg]	1,74	As	[mg/kg]	0,03
			Rb	[mg/kg]	0,06
			Y	[mg/kg]	2,91
			Cd	[mg/kg]	0,01
			Cs	[mg/kg]	0,01
			Pb	[mg/kg]	0,19
			U	[mg/kg]	0,06

Pentru a determina gradul de suprasaturație a mineralelor de carbonat (valorile-SI mai mari de 0,5 indică o suprasaturație a mineralului respectiv), s-a efectuat modelarea geochimică a apei termale prin intermediul versiunii 3.5 a lui PhreeqC (ilustrația 20, tabelul 5).

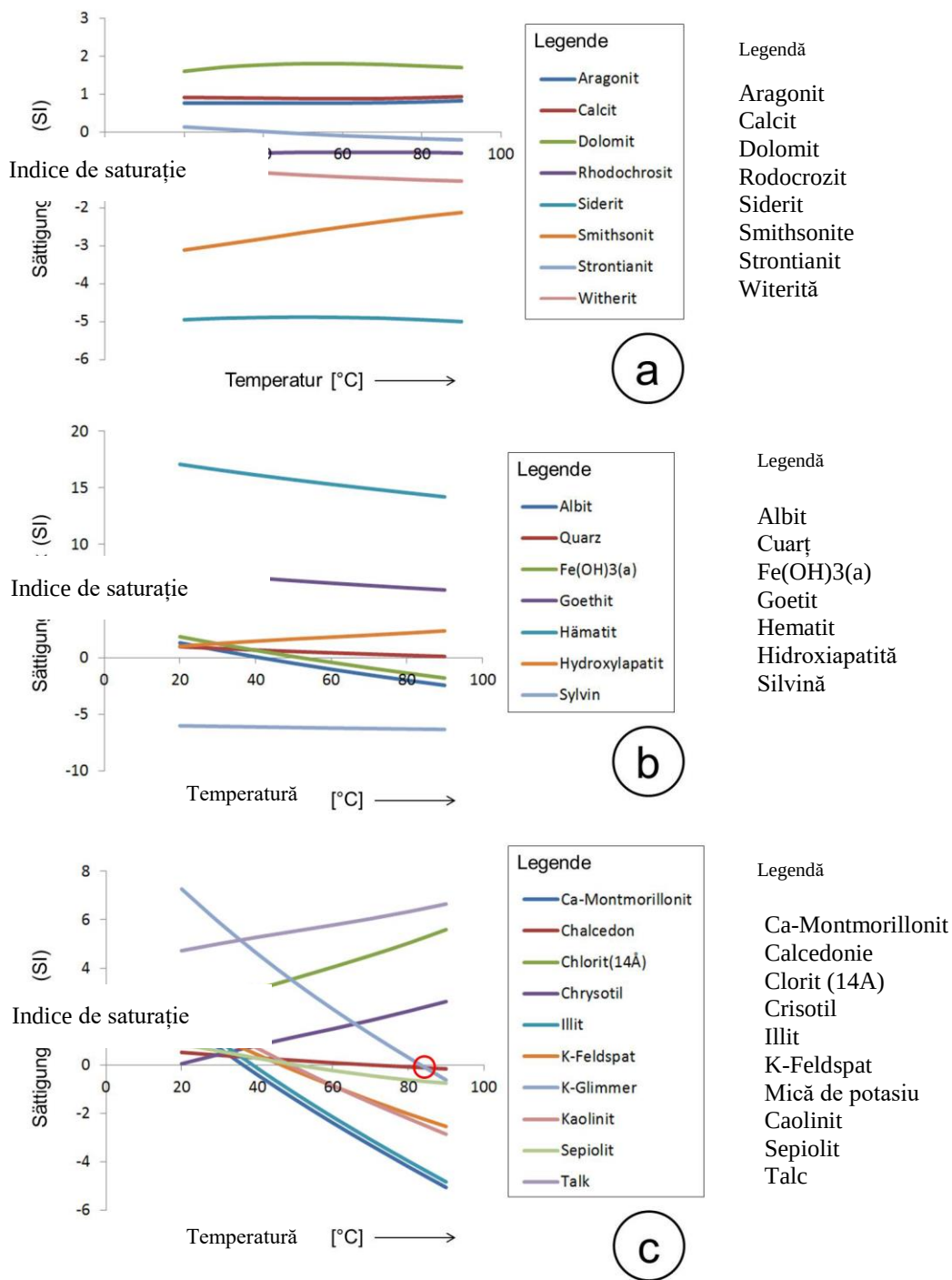
Acest lucru indică că pe întreaga zonă de temperatură 20 și 90 °C valorile pentru dolomit ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$) se situează între +1,6 și +1,8, pentru calcit (CaCO_3) la aproximativ +0,9 și pentru aragonit (CaCO_3) la aproximativ +0,8, motiv pentru care fazele minerale corespunzătoare sunt suprasaturate. Toate celelalte carbonatate sunt fie saturate (strontianite), fie nesaturate (rodocrosit, witerită, smithsonite și siderit).

De asemenea, hidroxiapatita ($\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{OH}$) cu un indice de saturație de 1,0 până la 2,4 este clar suprasaturată, ceea ce trebuia deja presupus comparativ prin conținutul relativ mare de fosfor al depunerii de calcar de doar 0,6 g / kg (tabelul 4).

După cum s-ar putea aștepta de la epuizarea fierului în conductă între degazeificator și apa termală (tabelul 2), oxizii/hidroxizii de fier hematitul și goetitul sunt puternic suprasaturați.

Suprasaturația de regulă puternică a potasiului silvină (KCl) sugerează că determinarea acestei minerale în depunerile de calcar nu este fiabilă din cauza vârfului foarte mic de la poalele vârfului de calcit dominant.

La temperaturi scăzute, practic toate mineralele argiloase, precum și albitul și cuarțul inhibat cinetic sunt suprasaturate, ceea ce trebuie luat în considerare la determinarea temperaturii de reinjecție.



Ilustrația 20: indice de saturație (a) pentru minerale carbonatate (b) pentru mineralele scalei, minerale de fier precum și apatit și (c) pentru aluminosilicați în zone de temperatură între 20 și 90 °C. Cercul roșu marchează temperatura rezervorului de 84 °C punctul de intersecție al calcedonului și micii de potasiu.

Tabelul 5: indice de saturație (SI) de minerale conform modelării geochemice a apei termale la temperatura de probă de 72 °C cu PhreeeqC. (a) din paranteză reprezintă o fază amorfă și (d) o structură minerală dezordonată. Roșu = suprasaturat; galben = saturat; verde=subsaturat.

Mineral	Chemische Formel	Sättigungsindex
Al(OH) ₃ (a)	Al(OH) ₃	-3,95
Albit	NaAlSi ₃ O ₈	-1,63
Alunit	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	-17,35
Anhydrit	CaSO ₄	-3,58
Anorthit	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	-4,22
Aragonit	CaCO ₃	0,78
Barit	BaSO ₄	-0,91
Ca-Montmorillonit	Ca _{0,165} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂	-3,49
Calcit	CaCO ₃	0,9
Celestin	SrSO ₄	-3,2
Chalcedon	SiO ₂	-0,01
Chlorit(14Å)	Mg ₅ Al ₂ Si ₉ O ₁₀ (OH) ₈	4,62
Chrysotil	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1,92
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	1,78
Fe(OH) ₃ (a)	Fe(OH) ₃	-1
Fluorit	CaF ₂	-2,66
Gibbsit	Al(OH) ₃	-1,63
Goethit	FeOOH	6,33
Gips	CaSO ₄ ·2H ₂ O	-3,74
Halit (Steinsalz)	NaCl	-4,75
Hausmannit	Mn ₃ O ₄	-2,37
Hämatit	Fe ₂ O ₃	14,86
Hydroxylapatit	Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	2,01
Illit	K _{0,6} Mg _{0,25} Al _{2,3} Si _{3,5} O ₁₀ (OH) ₂	-3,26
Jarosit-K	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	-12,4
Kalium-Feldspat	KAlSi ₃ O ₈	-1,57
Kalium-Glimmer	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	1,08
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-1,68
Manganit	MnOOH	-5,14
Melanterit	FeSO ₄ ·7H ₂ O	-14,72
Pyrochroit	Mn(OH) ₂	-7
Pyrolusit	MnO ₂ ·H ₂ O	-2,68
Quarz	SiO ₂	0,29
Rhodochrosit	MnCO ₃	-0,53
Sepiolit	Mg ₂ Si ₃ O _{7,5} OH·3H ₂ O	-0,48
Sepiolit(d)	Mg ₂ Si ₃ O _{7,5} OH·3H ₂ O	-4,45
Siderit	FeCO ₃	-4,92
SiO ₂ (a)	SiO ₂	-0,72
Smithsonit	ZnCO ₃	-2,33
Strontianit	SrCO ₃	-0,14
Sylvin	KCl	-6,28
Talk	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	6,09
Vivianit	Fe ₃ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O	-19,54
Willemit	Zn ₂ SiO ₄	-0,62
Witherit	BaCO ₃	-1,23
Zn(OH) ₂ (epsilon Polymorph)	Zn(OH) ₂	-4,26

5. Posibilități de optimizare a utilizării apei termale în Lovrin

Pentru a evita precipitațiile minerale (scale) în sistemul de conducte al comunei Lovrin și, astfel, minimizarea costurilor de întreținere, au fost testate diverse abordări de rezolvare tehnic și economic. În plus, au fost examinate variante pentru optimizarea echilibrului ecologic general al sistemului. În prezent, aceasta prezintă deficite prin evacuarea apei termale în cea mai apropiată deversare, deoarece comuna nu dispune până acum de nicio canalizare de apă reziduală.

Cele două cele mai critice condiții sunt pe de-o parte compoziția fluidului și pe de altă parte proprietățile rocii eterogene a rezervorului, ceea ce a făcut dificilă resp. imposibilă reinjectarea în trecut.

Ca și posibilități de optimizare a utilizării apei termale existente în Lovrin au fost dezvoltate prin urmare patru variante principale. Acesta cuprind

1. Reinjectarea (plus inhibarea)
2. Instalarea unei stații de epurare a apei
3. Construirea unei canalizări
4. Diluarea cu apă freatică.

Variantele individuale vor fi prezentate în cele ce urmează. În plus, ca și o posibilitate suplimentară de optimizare a fost examinată în plus față de aceasta separarea suplimentară a gazelor (în special de metan).

5.1 Reinjectarea apei termale

La reinjectare apa termală extrasă după utilizarea energetică (și eventual materială) va fi adusă printr-un al doilea puț, în așa numitul puț de reinjectare în subsol. Pe de o parte, acest lucru oferă avantajul că nu este necesară evacuarea în apele de suprafață și, pe de altă parte, echilibrul apei din subsol rămâne echilibrat în sensul utilizării durabile.

În principiu reinjectarea apei termale este posibilă în acviferul pietrei de nisip panonice (Ungemach 2003, Tanase 2016; vezi și Pajak & Tomaszewska 2018). Cu toate acestea, în contextul acestui studiu, nu este posibil, fără alte examinări corespunzătoare, să se clarifice care dintre următorii factori (conform Ungemach 2003) din Lovrin au împiedicat reinjectarea în trecut (cf. capitolul 3.2):

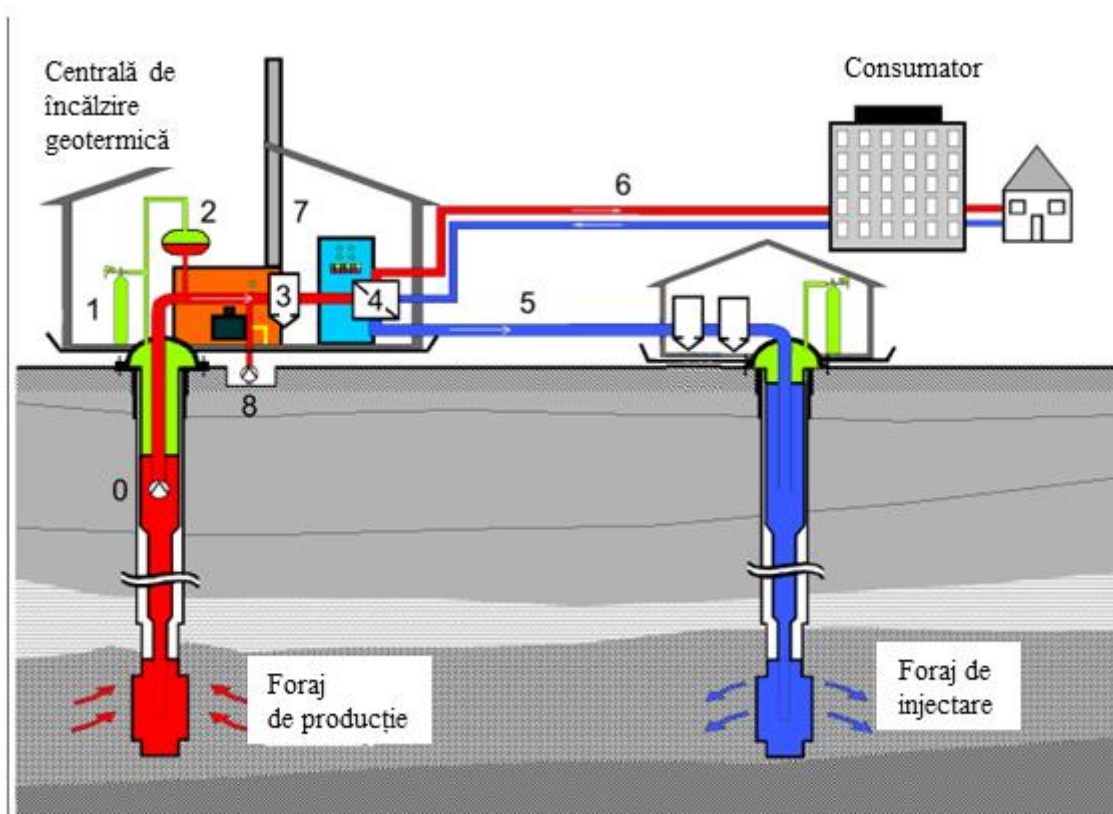
- a) Incompatibilitatea chimică între fluidul injectat și cel de formare
- b) Efectele microbiologice (de ex. creșterea bacteriilor reducătoare de sulfați)
- c) Sensibilitatea la apă a pietrelor de nisip (de ex. izvorârea mineralelor argiloase)
- d) Solidele suspendate (particule de rocă/minerale cu granulație fină) din rezervor, produse de coroziune a conductelor din metal, scale)
- e) Migrație particule cu granulație fină (aduse sau mobilizate) în interiorul zonei reinjectate a formațiunii de pietre de nisip care reține argila
- f) Gaze incluse
- g) Contaminarea aerului
- h) Aditivi și inhibitori chimici incompatibili (în prezent pot fi excluse)

- i) Modificările termodinamice (presiuni și temperaturi), care vor fi declanșate prin procesul de injectare
- j) Debitele injectării sunt prea mari
- k) Construcție inadecvată a puțului (în cazul Lovrin-ului la aceasta joacă un rol integritatea tubulaturii, care poate să nu fie garantată după lungul timp de includere al apei termale)

Prin urmare, înainte de implementarea următoarelor două variante cu reinjectare, trebuie făcută o examinare detaliată a factorilor de mai sus. Pe baza cunoașterii se poate stabili, care acvifer panonic a putut fi câștigat prin modelare în jurul Szeged-ului pe partea ungară (Antics 2003).

Varianta 1a: reinjectarea cu menținerea presiunii plus schimbător de căldură mare

Ilustrația 21 prezintă schematic componentele instalate, care sunt necesare pentru un circuit de apă termală închis cu reinjectare.

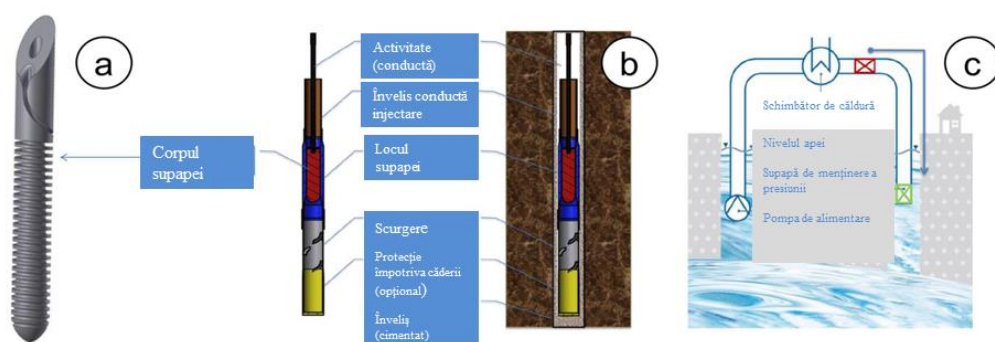


Ilustrația 21: schema unei centrale de încălzire geotermice (Huenges & Erbas 1999, modificat). 0 = pompă de producție; 1 = admisia-azotului; 2 = rezervor de echilibrare presiune (1+2 = sistem-menținere presiune-gaz inert); 3 = filtru-particule; 4 = schimbător de căldură resp. transportator de căldură; 5 = circuit apă termală; 6 = cazan de încălzire de vârf (pentru redundanță); 8 = groapă nămol (nu este necesară la fluidul cu salinitate redusă).

O menținere a presiunii de, de ex. 21 bar (aceasta înseamnă mai mare decât presiunea maximă de eliberare a gazului de 20 bar) ar menține metanul și, de asemenea, CO₂ în soluție și astfel ar preveni depunerea de carbonat în circuitul apei termale. Admisia-azotului este necesară dacă, în plus, accesul oxigenului duce la o precipitare a oxizilor/hidroxizilor metalici.

Acesta poate fi indirect închis din cauza epuizării drastice printre altele a manganului și fierului pe drumul de la degazeificator la puțul de apă termală (proba TH) până la baia termală (proba HB) (cf. tabelul 2). Formarea mineralelor de fier indică, de asemenea, o suprasaturare puternică a acestora (tabelul 5).

O menținere eficientă a presiunii este acum posibilă și printr-o supapă recent dezvoltată în puțul de reinjectare pentru a evita precipitațiile chiar și pe partea de reinjectare (gec-co 2017; ilustrația 22). Conform informațiilor furnizate de Global Engineering & Consulting-Company GmbH (denumită în continuare gec-co), prețul acestui sistem de supape este de aproximativ 77.000 de euro (fără instalare și tuburi). Prin instalare, etc., ar putea rezulta costuri de aproximativ 300.000 de euro.



Ilustrația 22 : (a) corpul supapei în 3D ; (b) privire de ansamblu al supapei de menținere a presiunii; (c) poziția supapei pentru menținerea presiunii în puțul de reinjectare (gec-co 2017)

Costurile totale pentru o centrală de încălzire cu componentele numite mai sus (fără BHKW, vezi jos) ar fi în total în jur de 900.000 euro (informație gec-co).

Dacă puțul 1544 sau 4632 ar putea fi utilizat pentru reinjectare, pornind de la joncțiunea drumului la baia termală, ar fi necesară o conductă de reinjectare de 590 m sau 975 m lungime. Costul unei conducte de reinjectare de un kilometru este de aproximativ 120.000 de euro (informație gec-co).

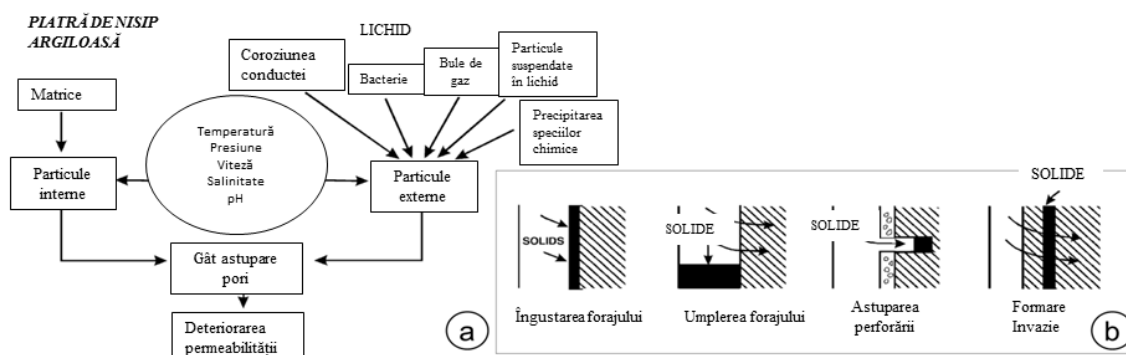
Prin urmare, costurile suplimentare pentru conducta de conectare sunt cuprinse între 80.000 și 120.000 de euro. De la centrala de încălzire distanța este de 1.215 m, respectiv 1.630 m.

În acest scenariu, instalarea unui schimbător de căldură mare în centrala de încălzire și stațiile de transfer (de exemplu, <https://www.pewo.com/produkte/uebergabestationen/>) este esențială, astfel încât cele două circuite să fie complet separate una de cealaltă, aceasta înseamnă că, din centrala de încălzire numai apa de la robinet deionizată curge în conductele de distribuție și caloriferele clădirilor. Stațiile de transfer garantează de asemenea că presiunea din fiecare circuit de încălzire al clădirilor este echilibrată. Această variantă este de preferat pentru schimbătoarele de căldură individuale mici din fiecare complex de clădiri (aceasta înseamnă în toate clădirile publice și 100 de locuințe) care în viitor ar fi de preferat pentru a furniza la mai multe apartamente și din motive de cost, motiv pentru care varianta cu multe schimbătoare de căldură mici nu este discutată în continuare.

De asemenea se recomandă izolarea conductei de apă termală pentru a minimiza pierderea temperaturii până la centrala de încălzire.

Utilizarea unei pompe mici în puțul de producție este de asemenea necesară pentru locurile cu flux artezian, deoarece aceasta crește presiunea necesară, (i) pentru a reinjecta și (ii) pentru

a compensa pierderea presiunii la trecerea prin filtru. Spre deosebire de două filtre standard utilizate, în Lovrin ar fi utile trei filtre duble (două filtre conectate întotdeauna în paralel pentru a permite schimbarea lor fără întrerupere) pentru a preveni intrarea particulelor în formațiunea rezervorului (ilustrația 23).



Ilustrația (2): diagrama de flux cu cauzele reducerii permeabilității pietrelor de nisip argiloase (Ungemach 2003); (b) Diferite tipuri de blocare a găurilor puțurilor cu particule cu granulație fină.

Pe lângă filtrul din partea producției, cele două nivele ale filtrului înainte de reinjectare au o importanță deosebită, deoarece acestea sunt atât solide suspendate distribuite din fluxul de apă termală, precum și particule de rugină ale conductei de apă termală și precipitate microcristaline, printre altele filtrate din calcar, care altfel pot înfunda efectiv spațiile porilor pietrei de nisip și astfel fac imposibilă reinjectarea.

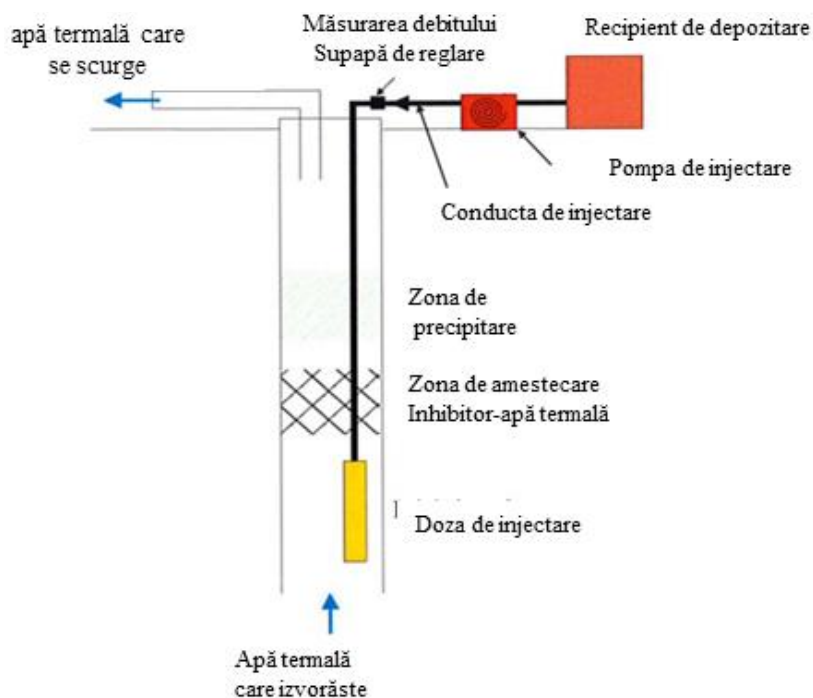
După cum s-a notat mai sus, ar trebuie efectuate examinări suplimentare (de ex. analiza de distribuție a mărimii particulelor, cantitatea și tipul particulelor de la capătul conductei, precum și încercarea de perfuzare cu calote de pietre de nisip în laborator) pentru a clarifica cauzele exacte și pentru a putea dimensiona filtrele. Până în prezent se știe doar că apa termală de la degazeificator conține 9,3 mg / l solide suspendate (tabelul 2). Cu toate acestea nu se știe încă despre ce particule este vorba la aceasta, câte produse de coroziune din conductele de metal și (formate în fluxul de apă termală) cristalite de carbonat etc. se adaugă. și ce granulație fină au aceste particule. Datorită apei termale corozive relativ reduse, filtrele pot fi realizate din oțel negru cu costuri reduse, care ar trebui să miște prețul la aproximativ 40.000 de euro pe bucată (informație gec-co).

Varianta 1b: reinjectarea cu inhibitor plus schimbător de căldură mare

În plus la reinjectare se recomandă utilizarea unui inhibitor (ilustrația 24) pentru a nu se lăsa deloc formarea depunerilor de carbonat. Prin aceasta ar fi – ca și în cazul menținerii constante a presiunii (varianta 1a) – printre altele s-ar anula înlocuirea regulată a conductelor de apă termală adăugată. La utilizarea unui inhibitor, menținerea presiunii (varianta 1a) poate fi redusă corespunzător.

Ca inhibitor, s-a descoperit în încercări că, tripolifosfatul de sodiu într-o doză de 5 mg/l este adecvat la puțurile 4632 și 4636 (Sebeșan et al. 2005). Examinările anterioare corespunzătoare privind depunerile puțurilor 4632 și 4636, precum și a chimiei apei termale asociate sunt prezentate în tabelul 6.

Deoarece polifosfații anorganici afectează calitatea apei, au fost dezvoltati inhibitori mai ecologici (fosfonați organici și polielectroliți organici, de ex. Amjad & Zuhl 2008) și amestecuri corespunzătoare ale acestora.



Ilustrația 24: schema unei adăugări de inhibitori (www.hydroisotop.de, modificată). Presiunea de eliberare a gazului este cuprinsă între 9 și 20 de atmosfere (bar), iar zona de precipitații a carbonatului este de 50-70 metri adâncime.

Conform informației Hydroisotop GmbH s-ar putea introduce în locul inhibitorului-polifosfat, inhibitorul complet biodegradabil hydrIn 45-30 pe bază de polielectroliți organici în concentrație de 10 mg/l. Acest inhibitor a fost utilizat cu succes de câțiva ani în Bazinul Panonic. El a fost dezvoltat exclusiv pentru utilizarea ecologică și poate fi obținut de la Hydroisotop GmbH.

La debitul anual de apă existent ar fi necesară o cantitate de aproximativ 2.500 kg pe an.

Perioada de valabilitate a inhibitorului este de aproximativ un an. Prin urmare se recomandă pe de o parte, comanda mare rentabilă de 2.000 kg (2 containere de dimensiuni medii a câte 1.000 kg pentru un total de 6.800 euro plus TVA, informație Hydroisotop GmbH), iar pe de altă parte, depozitarea lor uscată și fără îngheț în clădirea pompei existente lângă puțul de producție. Deoarece efectul inhibitorului depinde de mai mulți factori, doza exactă trebuie testată în cele din urmă la experimentul pe teren la fața locului. Condițiile tehnice corespunzătoare sunt deja disponibile pentru aceasta (cf. ilustrația 25). Pentru ca distribuția omogenă a inhibitorului în fluxul de apă termală să fie prezentă înainte ca bulele de gaz să se formeze și să precipite, se recomandă adăugarea inhibitorului la 200-300 m sub adâncimea de eliberare a gazului.

Tabelul 6: compoziția chimică a apei termale și a depunerilor puțurilor 4632 și 4636 (Sebeșan et al. 2005)

4632	Deep water	Wellhead water	After degasing	4636	Deep water	Wellhead water	After degasing	Component	Well 4632	Well 4636
pH	7,5	8,1	8	pH	7,9	8	8	CaO	51,95	52,18
Na	939	941	855,6	Na	850,9	946,7	98	MgO	0,63	1,98
Ca	9,5	14,95	19,5	Ca	28,4	26,6	25,6	SO ₄	0,43	0,38
Mg	4,2	5,1	5,9	Mg	2,9	5,7	9,5	SiO ₂	0,08	0,018
Cl	636	637	505	Cl	1055	1069	600,9	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	4,3	1,81
SO ₄	7,01	14,2	26,9	SO ₄	15,15	8,2	16,5	CaCO ₃	92,76	93,1
HCO ₃	1429	1420	1440	HCO ₃	1169	1160	1248	MgCO ₃	1,32	4,16
H ₂ S	1,94	1,04	1,54	H ₂ S	2,02	1,84	1,92	CaSO ₄	0,47	0,41
Al ₂ O ₃	13	1,8	4,8	Al ₂ O ₃	8,71	8,9	16,3	Scales (μ (Depuneri)		
Fe ₂ O ₃	0	5	0	Fe ₂ O ₃	1,54	0	0			
SiO ₂	61,9	58,5	41,2	SiO ₂	30,2	34	50,2			
TDS	2985	2963	2670	TDS	4116	3120	2755			
CO ₂ (aggressive)	0	0	0	CO ₂ (aggressive)	0,15	0	0			
CO ₂ (free)	18,2	0	0							



Ilustrația 25 : dispozitiv instalat deja pentru injectarea inhibitorului în puțul de producție 4167 în Lovrin.

5.2 Instalarea unei stații de epurare a apei

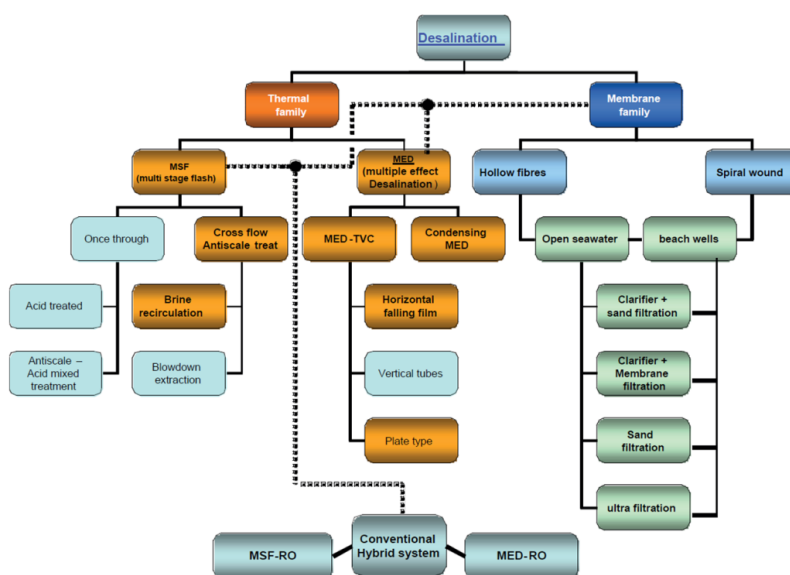
Cu toate acestea, dacă, după examinarea minuțioasă și/sau instalarea sistemului de filtrare descris mai sus, precum și acidifierea sub presiune a viitorului puț injectat (pentru a elimina particulele care blochează deja zona rezervorului), nu va fi posibilă implementarea unei reinjecții cu presiuni moderate de injectare, ca și o a 2-a variantă va intra în discuție o tratare a apei termale.

Varianta 2a : instalație de tratare la puț (înaintea degazeificatorului)

Scopul instalației de tratare ar fi dedurizarea apei pentru a preveni precipitațiile, precum și desalinizarea și reducerea ingredientelor/condițiilor dăunătoare, deoarece au fost identificați cinci parametri, care sunt peste pragul de evacuare în mediu (NTPA 001, cf. și tabelul 3). Acestea sunt temperatura, conținutul total de solide dizolvate (TDS), clorură (Cl^-), amoniu (NH_4^+) și fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$; compuși organici volatili, care intră cu vaporii de apă în respirația aerului).

În plus, concentrația de bor (B) este peste limita admisă de apă potabilă a OMS (cf. tabelul 3). Absorbția excesivă de bor este toxică și se manifestă cu dureri de cap, vărsături sau leziuni renale. În experimentele pe animale la șoareci, șobolani și câini, s-a demonstrat, de asemenea, că prea mult bor dăunează testiculelor (OMS 2017). Majoritatea speciilor de plante (utile) au un efect toxic asupra concentrațiilor crescute de bor (Ozturk et al. 2010).

O cercetare în profunzime a arătat însă că, o dedurizare clasică (care este necesară și pentru a nu dăuna instalației de desalinizare prin depuneri de calcar) nu este posibilă la temperaturi ridicate ale apei termale și o desalinizare pentru a reduce sarcina soluției necesită un consum de energie și material prea mare, aceasta înseamnă foarte scump (printre altele Sommariva 2010, 2017). Metode alternative mai ieftine nu sunt disponibile pentru debitul comparativ ridicat și/sau temperatura și/sau conținutul de sare (Bundschuh și Tomaszewska 2018).



Ilustrația 6: proces pentru desalinizarea celor două categorii principale (termică și prin membrană), utilizate în desalinizarea apei de mare (Sommariva 2010, 2017). Procesele imprimate cu bold sunt cele mai avansate din punct de vedere tehnologic.

În principiu, procesul de desalinizare (nu este inclus în ilustrația 26), care se bazează pe rășini schimbătoare de ioni, nu poate fi utilizat la temperatura ridicată a apei termale din Lovrin. Când se adaugă schimbul de ioni, substanțele nedorite sunt înlocuite doar cu cele mai puțin dăunătoare.

În majoritatea cazurilor, schimbătorii de ioni sunt încărcăți cu clorură, ceea ce ar putea crește în cazul de față oricum concentrația de clorură deja prea crescută în apa termală.

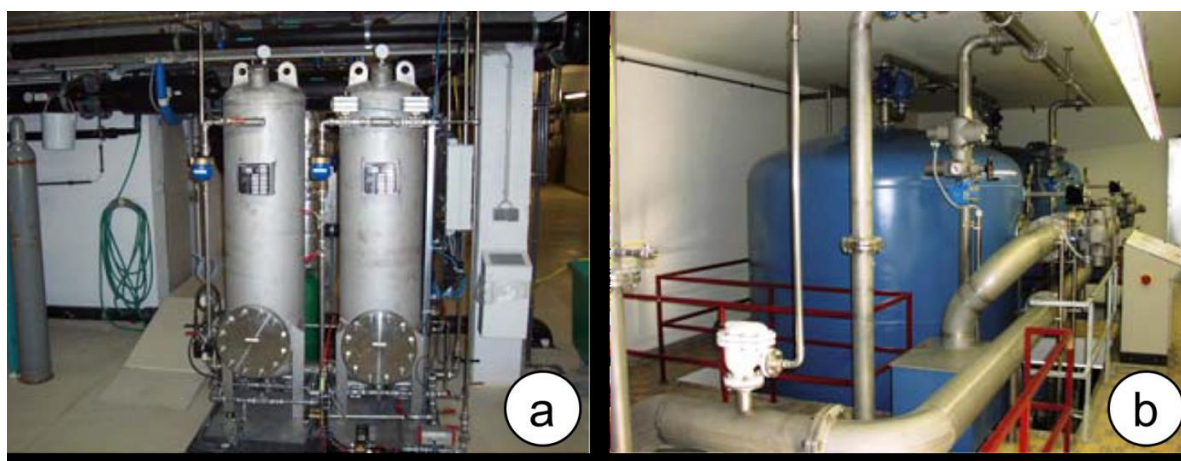
Motivul principal, care vorbește împotriva desalinizării constă totuși în relocarea problemei de înlăturare și eliminare a deșeurilor întrucât cu soluția de regenerare puternic îmbogățită cu substanțe toxice (la schimbătorul de ioni) resp. concentratul rezultat poate fi adus doar într-un depozit de deșuri periculoase pentru depozitarea definitivă în condiții de siguranță. Dacă se folosește energia termică a apei termale pentru a evapora complet concentratul (reducerea cantității de deșuri periculoase), această energie nu mai este disponibilă pentru încălzirea clădirilor.

În rezumat, se poate spune că această variantă ar avea cele mai mici șanse de succes durabil în implementare și, prin urmare, nu poate fi recomandată.

Variantă 2b: instalație de tratare pentru bor înainte de baia termală + schimbător de căldură

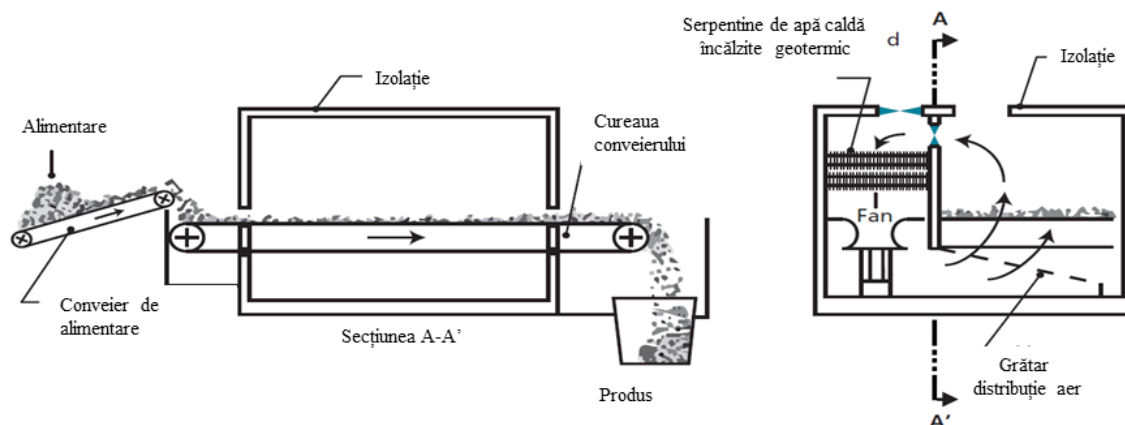
Singura instalație oarecum rezonabilă a unei stații de tratare poate servi la reducerea conținutului de bor în apa termală. În plus locația ideală ar fi în fața băii termale, astfel că, atât musafirii la baie, cât și la evacuarea ulterioară a florei și faunei, au rămas neafecțați. Această locație ar avea, de asemenea, avantajul că temperatura apei termale ar putea fi scăzută prin intermediul unui schimbător de căldură pentru a putea folosi și schimbător de ioni.

Un studiu cuprinzător cu privire la îndepărtarea borului din apa termală cu discuții despre diferitele procese este prezentat în Kabay et al. (2018). Schimbătorul de ioni selectiv de bor s-a dovedit a fi cel mai bun proces de separare. În principiu, instalația ar sta în dimensionarea între variantele a și b din ilustrația 27. Rășina sintetică se găsește în două recipiente izolate din oțel inoxidabil, astfel încât temperatura în timpul debitului să rămână practic constantă și astfel să trebuiască a fi folosit un schimbător de căldură. Creșterea conținutului deja excesiv de clorură și eliminarea profesională necesară a soluției de regenerare au fost deja menționate mai sus. Răspunsul la cererea pentru proiectarea și prețul unei instalații corespunzătoare de la Hydroisotop GmbH a arătat, totuși, că, datorită conținutului ridicat de clorură din apa termală, schimbul de ioni fără osmoză inversă suplimentară nu este posibil astfel că, trebuie eliminată și această sub-variantă.



Ilustrația 27: sistem de filtrare proiectate pe diferite debite (a) 1l/s (b) 50l/s (www.hydroisotop.de). La un debit în Lovrin de 10 l/s dimensionarea ar sta undeva în mijlocul sistemului de filtrare.

Temperatura apei termale ar trebui să fie scăzută vara după utilizarea băii termale prin intermediul unui schimbător de apă mic, care poate disipa 0,7 MW energie termică pentru a atinge temperatura necesară de 35 °C pentru evacuarea în apele naturale (NTPA 001). Căldura ar putea fi de ex. utilizată pentru procesele de uscare a produselor agricole cu sezonul de recoltare vara (ilustrația 28) sau în baia termală locală pentru utilizări suplimentare (de exemplu, bio-saună).



Ilustrația 28: uscare geotermică a produselor agricole (Van Nguyen et al. 2015).

5.3 Consturirea unei canalizări + schimbător de căldură pentru reducerea temperaturii

Dacă reinjectarea apei termale (cf. capitolul 5.1) nu este posibilă, construirea unui sistem de canalizare în comuna Lovrin ar fi o altă posibilitate de a îmbunătăți echilibrul ecologic al sistemului. În plus față de avantajele generale în ceea ce privește eliminarea apelor reziduale, construcția unui sistem de canalizare ar avea avantajul că, se anulează cheltuielile cu eliminarea poluanților din apa termală, deoarece în acest caz sunt respectate doar cerințele NTPA 002. În plus, depozitarea soluției de regenerare pe un depozit de deșeuri periculoase este eliminată în comparație cu varianta 2 (capitolul 5.2).

Doar temperatura apei termale ar trebui să fie scăzută în mod analog variantei 2b vara prin intermediul unui mic schimbător de căldură, care poate disipa 0,6 MW energie termică pentru a atinge temperatura necesară de 40 °C pentru evacuarea în canalizare (NTPA 002). Căldura ar putea fi de ex. utilizată pentru procesele de uscare a produselor agricole cu sezonul de recoltare vara (ilustrația 28) sau în baia termală locală pentru utilizări suplimentare (de exemplu, bio-saună).

Costul construcției sistemului de canalizare din Lovrin ajung la aproximativ 2.500.000 de euro (J. Gerbl /Weber România S.R.L.). Costul unui mic schimbător de căldură este de aproximativ 10.000 de euro (gec-co GmbH).

5.4 Diluare

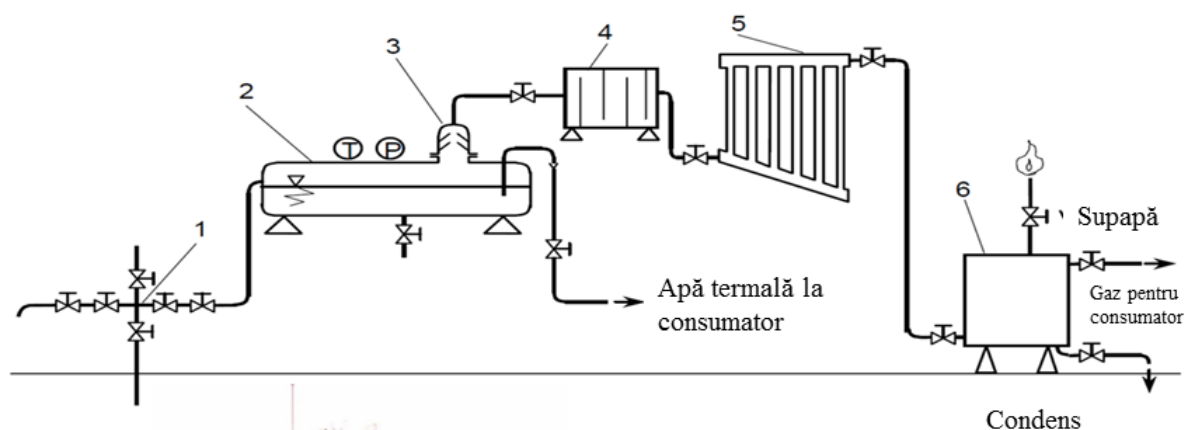
Pentru a trece de la temperatura apei termale 62 °C (măsurată în 22.05.2019 la punctul de evacuare în șanțul de drenaj, cf. capitolul 3.3) la o temperatură de evacuare de 35 °C în conformitate cu cerințele NTPA 001/2002, este necesar la o temperatură medie a apei freatice de 12 °C (Sarbu & Sebarchievici 2016) și un debit maxim al apei termale vara de 6l/s la un supliment de 7l/s. În timpul iernii, temperatura de evacuare din cauza utilizării căldurii pentru încălzire este cu mult peste 30 °C sub valoarea limită.

Pentru a pune la dispoziție cele 7 l/s de apă freatică, ar fi necesare două fântâni adânci de aproximativ 20 m, dacă s-ar aduna productivitatea modelată Lazăr et al. (2014) a acviferului aproape de suprafață. În vederea siguranței (redundanță) se recomandă trei fântâni aproape de baia termală. Costurile pentru aceste măsuri sunt în jur de 150.000 euro (J. Gerbl/Weber România S.R.L). Testele de pompare trebuie să clarifice productivitatea puțurilor individuale și o modelare hidraulică a managementului integrat regional al resurselor de apă (IWRM).

Prin diluare clorura de poluanți și salinitatea asociată cu aceasta vara ar fi sub valorile limită. Numai amoniul nu a putut fi scăzut realmente cu această măsură, deoarece apa freatică aproape de suprafață indică deja valori excesive (Radu et al. 2010). Din acest motiv, construcția unui sistem de canalizare (capitolul 5.3) este cea mai eficientă cale de a trece sub toate valorile limită, cu excepția cazului în care este posibilă reinjectarea apei termale.

5.5 Suplimentar: Separarea gazului metan și a combustiei într-un BHKW

Ca o completare rezonabilă la toate variantele, trebuie să se ia în considerare o separare a apei termale cu gaz metan, care este eliberată în atmosferă în degazeificator. Gazul metan ar putea fi ars (analog gazelor de depozit) cu un motor special pentru furnizarea de energie (cf. ilustrația 29). Pentru arderea metanului separat, de exemplu, ar putea fi utilizată o centrală termică mică și combinată (CHP) de la TEDOM a.s. (Třebíč, Republica Cehă, <https://www.tedom.com/de/>), care au deja referințe în România (depozitele Ploiești și Arad: Cento 2x T160 SP CON instalate în 2013 și 2011).



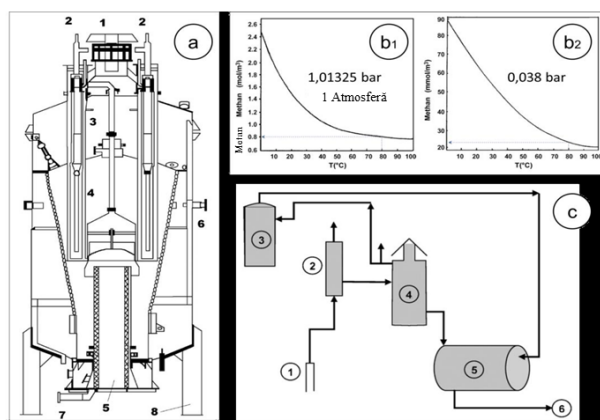
Ilustrația 29: reprezentare schematică a separării gazului metan. 1 = cap puț ; 2 = degazeificator ; 3 = cuplaj cu corpuri pentru obstacole; 4 = separator picături; 5 = radiator; 6 = rezervor presiune gaz (Antics & Rosca 2005, modificat)

O instalație de separare a gazului a fost deja instalată în Cozia (în Valea Oltului în Carpații Meridionali) (vezi ilustrația 30). Bazele pentru aceasta au fost dezvoltate în cadrul proiectului „Energie din apă termală și gaze inflamabile separate” în cadrul „INCO-COPERNICUS - UE promovează cooperarea – FTE cu Europa Centrală și de Est” (Roșca 2007).

Dacă compoziția gazelor este similară cu cea din Călimănești-Caciulata (80% CH₄, 15% N₂, 1% CO₂, Antics & Rosca 2005), se poate presupune o valoare minimă de încălzire de 28,8 kJ / Nm³. De asemenea, în Cozia, conținutul de metan este în jur de 80% (79,5% CH₄, 14,7% N₂, 1,0% CO₂) și astfel valoarea minimă de încălzire 28,8 kJ / Nm³ (Rosca 2007). Cu toate acestea, se poate presupune că conținuturile de metan din Lovrin sunt mai mari de 90% (Mrazovac & Basic 2009) și că metanul dizolvat în apă poate fi folosit și de un aparat Geomix (ilustrația 30). Această măsură servește, de asemenea, la reducerea riscului de explozie în utilizarea ulterioară a apei termale (Mrazovac & Basic 2009).



Ilustrația 30: instalație montată pe degazeificator pentru separarea metanului în Cozia (Rosca 2007)



Ilustrația 31: aparatură Geomix pentru degazeificarea apei termale (Mrazovac & Basic 2009). (a) schema Geomix: 1 = supapă, 2 = duze de injecție a gazului, 3 = camera de gaz, 4 = camera de apă, 5 = arzător cu gaz, 6 = scurgerea apei, 7 = alimentarea cu apă, 8 = batiu; (b) principiul de funcționare prin intermediul presiunii reduse; (c) Componente: 1 = capul puțului, 2 = separator primar (faza de gaz liber este separată la 1 atmosferă și apa, în cazul nostru aproximativ 800 mmol / m³ de metan dizolvat, condus în Geomix, 3 = cameră pentru gazul separat prin degazeificator suplimentar, 4 = Geomix, care de ex. este acționat la o presiune inferioară de 0,038 bar pentru separarea ulterioară a metanului, 5 = Rezervor pentru apa tratată în Geomix numai în concentrație inofensivă sub 30 mmol / m³ metan (poate fi încăins prin arderea metanului), 6 = conducta de gaz la consumator pentru metanul separat.

Nu s-a putut determina niciun preț pentru instalația Geomix din acest studiu, deoarece cererea către autorul corespunzător a rămas fără răspuns până acum.

La separarea convențională a metanului, se poate calcula la arderea directă a gazului o putere termică maximă de 350 kW și la un grad de eficiență de 25 până la 40% pornind de la o utilizare a unui CHP mic, de la 88 la 140 kW_{el} (informație gec-co). În orice caz, această sursă suplimentară de energie pentru producerea apei termale trebuie utilizată independent de alegerea variantei geotermiei (capitolul 5.1-5.4). Pentru aceasta se potrivește de ex. un FLEXI 130 de la TEDOM SCHNELL GmbH cu o energie electrică de 104 kW.

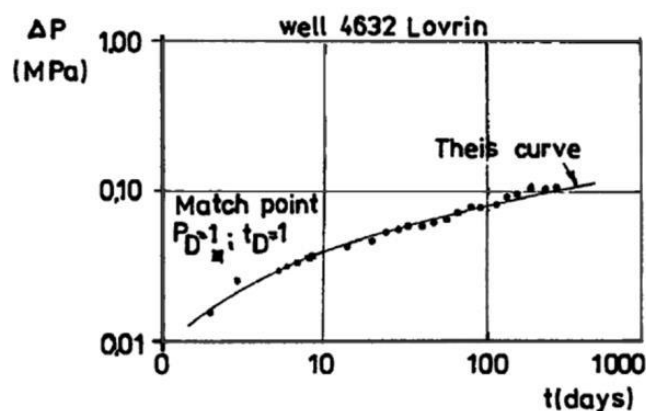
6. Recomandări de manipulare a conceptelor de utilizare viitoare

În rezumat, se poate spune că varianta 1 (= reinjectarea cu separarea apei termale și a circuitului de încălzire, cf. capitolul 5.1), combinată cel mai bine cu un inhibitor, este relativ costisitoare, dar este și cea mai bună pentru o funcționare durabilă.

La reinjectarea cu succes, pe de o parte, se pot economisi costurile și efortul pentru un tratament de apă (variante 2-4) și, pe de altă parte, rezervorul poate fi gestionat durabil pe termen mai lung - chiar și cu creșterea producției de apă termală. Acest lucru este deosebit de important pentru concepte de utilizare viitoare, cum ar fi o uzină de termoficare comună în regiune a comunelor Lovrin și Gottlob și / sau o furnizare de căldură de sere din geotermie de o importanță deosebită, deoarece în acest caz, în continuare (în prezent nu sunt în funcțiune), ar trebui să fie folosite din nou puțuri. Doar printr-o reinjectare, echilibrul de apă din subteran poate fi compensat și poate fi prevenită o scădere a ratelor de producție. Recomandările de manipulare pentru examinările pregătirii reinjectării apei termale sunt prezentate în capitolul 5.1.

La o decizie împotriva reinjectării, diluarea cu apa freatică sau construcția unui sistem de canalizare garantează că cel puțin impactul asupra mediului la evacuarea în șanțul de drenaj este redus sau nu mai este prezent și că reglementările existente (NTPA 001/002) sunt respectate.

Expertiza hidrologică ar fi discutată ca și indispensabilă pentru proiectarea circuitului apei termale și funcționarea sa durabilă, care discută rezultatele anterioare (vezi de ex. ilustrația 32, tabelul 7) și include noi lucrări de testare pentru a determina starea actuală (important în acest caz ar fi debitul, interferența și testul –trasor, pentru a caracteriza rezervorul).



Ilustrația 32: rezultatele testului hidrolic al puțului 4632, care ar putea fi utilizat ca și puț de reinjectare (Plavittă & Cohut 1990).

Tabelul 7: rezultatele testelor de interferență, inclusiv puțul de producție 4607 (Plavită & Cohut 1990).
La utilizarea puțului 4632 pentru reinjectare se poate presupune o transmisibilitate de 72,5 metri-Darcy.

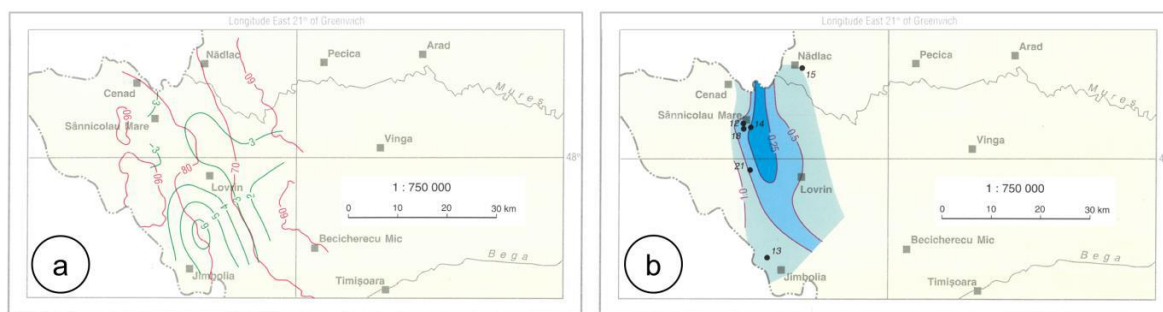
area	obs. well	production well	flow rate	dist.	Δp	time	Match point	Match point	kh	sch
			L/s	km	MPa	days	$P_{\eta=1}$	$t_{\eta=1}$	m	m/Pa
LOVRIN	med. 1544	4607	+ 9.0	0.750	0.018	14	0.023	1.8	23.0	1.79 x 10 ⁻⁸
		4636	+ 9.0	0.675	0.041	17	0.024	1.4	22.1	1.65 x 10 ⁻⁸
		4632	+14.0	0.400	0.092	8	0.052	0.6	15.8	1.44 x 10 ⁻⁸
		4632+4636	+20.0	0.525	0.153	127	0.062	2.3	18.4	3.72 x 10 ⁻⁸
	1543	4607	-10.0	1.875	0.017	15	0.024	7.0	24.5	1.18 x 10 ⁻⁸
		1544+4636	+20.0	1.450	0.084	150	0.050	15.0	23.6	4.08 x 10 ⁻⁸
		4636+4632	+20.0	1.425	0.055	123	0.045	2.7	26.2	8.45 x 10 ⁻⁷
	1538	1544+4636	-20.0	1.500	0.030	175	0.044	115.0	26.8	3.32 x 10 ⁻⁷
		4636+4632	+20.0	1.375	0.036	183	0.046	100.0	25.6	3.30 x 10 ⁻⁸
	4632	4607	- 8.0	0.750	0.009	14	0.065	1.0	72.5	5.04 x 10 ⁻⁷
		1544+4636	+20.0	0.450	0.101	185	0.040	3.0	29.4	1.05 x 10 ⁻⁸
	4636	4607	-10.0	0.375	0.056	12	0.046	1.6	12.8	3.54 x 10 ⁻⁸
		4632	+14.0	0.475	0.012	12	0.012	0.5	71.7	3.85 x 10 ⁻⁸
	1535	4607	-10.0	1.500	0.028	16	0.030	5.5	19.6	1.16 x 10 ⁻⁸
		1544+4636	+20.0	1.250	0.024	150	0.060	7.5	19.6	2.20 x 10 ⁻⁸

Ca o completare rezonabilă (sau ca o singură măsură implementată în avans) intră în discuție separarea gazelor inflamabile. Combustia metanului poate genera energie, care nu a fost exploatată până acum. De arderea hidrocarburilor beneficiază de asemenea vizitatorii băii termale (doar o cantitate mică de fenol).

7. Generalizarea rezultatelor

Cunoașterile și conceptele de rezolvare rezultate ale prezentului studiu pot fi transferate tuturor comunităților din zonă.

În transferul conceptului, trebuie luate în considerare doar condițiile cadru puțin, în special (i) adâncimea bazei acviferului, (ii) grosimea acestuia resp. (iii) permeabilitatea, (iv) nivelul apei sub presiune, (v) scurgerea arteziană maximă, (vi) temperatura, precum și (vii) conținutul de sare (vezi și ilustrația 33).



Ilustrația 33: caracteristicile acviferului panonic împrejurul Lovrin-ului (Panu et al. 2002). (a) Temperatură în °C (roșu) și conținut de sare în g / l (verde) (b) Nivelul apei sub presiune în bar (violet) și debitul artezian maxim al puțului în l / s (negru).

De asemenea, este important să se țină seama de perspectivele obținute în alte proiecte și de optimizarea sistemului implementat. Acestea sunt, în special, cele două proiecte Foradex (i) finanțate de GEF în Lovrin pentru optimizarea sistemului de termoficare resp. sistemului de încălzire local și (ii) în Sănnicolau Mare pentru instalarea unei pompe de legătură pentru a crește producția de apă, pentru

reabilitarea și extinderea sistemului de termoficare resp. încălzire locală pe bază geotermică (cu un cazan cu vârf acționat cu gaz) precum și curățarea găurii puțului și repornirea producției geotermice pentru Zoppas Industries (Antal & Roșca 2008).

În Sânnicolau Mare există condiții exact comparabile ca și în Lovrin pentru a duplica acolo conceptul dezvoltat. În timpul transferului, trebuie remarcat faptul că din direcția Lovrin Timișoara (= sens opus către Sânnicolau Mare), puțurile nu mai elimină libere și astfel este necesară, în orice caz, o pompă de apă termală în puț. Acesta din urmă reprezintă și cazul normal, deoarece condițiile arteziene sau semi-arteziene comparativ sunt relativ rar întâlnite. Tot din acest motiv, conceptul prezentat mai sus ține cont și de varianta mai comună, care are și avantaj în fluxul liber.

Cu toate acestea, conceptul este direct transferabil nu numai pentru proiectele din vârful cel mai estic al României, care este prezentat în ilustrația 33, dar și spre continuarea nord-vestică către Ungaria (Makó-Trog) și de asemenea în direcția sud-est spre Serbia (Srpska-Crnja-jgheab), deoarece geologic este aceeași structură de adânc (ilustrația 2).

În plus față de aceasta conceptul poate fi pus în aplicare cu adaptări locale în întregul Bazin Panonic, pentru a face posibilă furnizarea durabilă a energiei geotermice.

Literatură

- Amjad Z. & Zuhl R.W. (2008): Heat Treatment of Synthetic Polymers as CaCO₃ Inhibitors – Part I. Materials Performance, February 2008, 46-48.
- Antal C. & Rosca M. (2008): Current Status of Geothermal Development in Romania. United Nations University Geothermal Training Programme, 30th Anniversary Workshop, August 26-27, 2008, 8 p.
- Antics M. & Rosca M. (2005): The Calimanesti-Caciulata Spa, Romania. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005, 7 pages.
- Antics M. (2003): Simulation of Geothermal Reinjection Processes. Paper presented at EGC 2003, Szeged, Hungary, 26-29 May 2003, 8 pages.
- Balázs A., Matenco L., Magyar I., Horváth F. & Cloetingh S. (2016): The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: New genetic constraints from the analysis of the Pannonian Basin. Tectonics 35(6): 1526-1559.
- Bendea C. & Rosca M. (1999): Industrial uses of geothermal energy in Romania. Geothermal Resources Council Transactions, October 17-20, 1999 (Reno, NE, U.S.A.), Vol. 23: 107-109.
- Bendea C., Antal C. & Rosca M. (2015): Geothermal Energy in Romania: Country Update 2010-2014. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, 9 pages.
- Bogdan H.-V., Covaciu-Marcov S.-D., Antal C., Cicort-Lucaciu A.-Ș. & Sas I. (2011): New Cases of Winter-Active Amphibians in the Thermal Waters of Banat, Romania. Arch. Biol. Sci., Belgrade, 63(4): 1219-1224.
- Bundschuh J. & Tomaszewska B. (2018 Eds.): Geothermal Water Management. 402 pages, CRC Press/Balkema.
- Dejan R. & Ljupko R. (2016): Synrift and Postrift Miocene Sediments of Northern Banat, Serbia. Underground Mining Engineering 28: 39-60.

- gec-co Global Engineering & Consulting-Company GmbH (2017): Entwicklung eines untertägigen Druckhalteventils für den Thermalwasserkreislauf zur Vermeidung oder Verminderung von Ausgasungen und Ablagerungen. Schlussbericht F&E-Projekt „Druckhalteventil“, Förderkennzeichen 0325198A, 39 Seiten.
- Gilau L., Stanasel O., Gilau D., Antonescu A., Bogdan N., Codreanu I., Dobjanschi L. & Farcas M. (2003): Chemical Characterization of Geothermal Waters From West Field of Romania. VI. Geothermal Waters From South Zone of Field. Proceedings, 28th Stanford Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 27-29, 2003, 5 pages.
- Huenges E. & Erbas K. (1999): Energetische Nutzung von hydrothermalen Ressourcen. In: Thorweihe U. (Hrsg.): Forschungspolitische Dialoge in Berlin - Geowissenschaft und Geotechnik, GEOSYS, Technische Universität Berlin, 64-75.
- Kabay N., Sözal P.Y., Yavuz E. Yüksel M. & Yüksel Ü. (2018): Treatment of geothermal waters for industrial and agricultural purposes. In: J. Bundschuh & B. Tomaszewska (Eds.): Geothermal Water Management. Chapter 6: 113-133.
- Lazăr G., Ghitescu M.-A., Popescu-Busan A.-I., Constantin A.T. & Nicoară Ș.-V. (2014): Specific hydraulics related to a groundwater catchment. Buletinul Științific al Universității POLITEHNICA Timișoara, Seria HIDROTEHNICA, TRANSACTIONS on HYDROTECHNICS, Vol. 59(73) Issue 2: 19-24.
- Lenkey L., Dövényi P., Horváth F. & Cloetingh S.A.P.L. (2002): Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics. EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3: 29-40.
- Mitrofan H. & Șerbu V. (1997): Optimization of exploitation of geothermal reservoirs in the Pannonian Basin, Romania. Chapter 16 In: M. Albu, D. Banks & H. Nash (eds.): Mineral and Thermal Groundwater Resources. Pages 389-405, Chapman & Hall, London, ISBN 041261040 X.
- Mrazovac S. & Basic D. (2009): Methane-rich geothermal waters in the Pannonian Basin of Vojvodina (northern Serbia). Geothermics 38: 303-312.
- Ozturk M., Sakcali S., Gucel S. & Tombuloglu H. (2010): Boron and Plants. In: Ashraf et al. (eds.): Plant Adaptation and Phytoremediation. Chapter 13: 275-311, Springer Science+Business Media B.V.
- Pajak L. & Tomaszewska B. (2018): Reinjection of cooled water back into a reservoir. In: J. Bundschuh & B. Tomaszewska (Eds.): Geothermal Water Management. Chapter 2: 31-39.
- Panu D., Mitrofan H., Codrescu L., Militaru O., Preda M., Radu C., Stoia M. & Serban F. (2002): Romania. In: S. Hurter & R. Haenel (eds.): Atlas of Geothermal Resources in Europe. Page 50-51 and Plate 61-63.
- Plavită R. & Cohut I. (1990): Interference Tests in the Western Plain of Romania. Geothermal Resources Council TRANSACTIONS 14(II): 953-958.
- Radu E., Balaet R., Vliegthart F. & Schipper P. (2010): Derivation of Threshold Values for Groundwater in Romania, in order to Distinguish Point & Diffuse Pollution from Natural Background Levels. Environ. Eng. Res. 15(2): 085-091.
- Rosca M. (2007): Geothermal Energy Use in Romania. RENEXPO 1st International Conference, 20 April 2007, Budapest, Hungary (oral presentation).
- Rotár-Szalkai Á., Maros G., Bereczki L., Markos G., Babinszki E., Zilahi-Sebess L., Gulyás Á., Kun É., Szöcs T., Kerékgyártó T., Nádor A., Ádám L., Rman N., Rajver D., Lapanje A., Šram D., Marković T., Vranješ A., Fărnoaga R., Baltres A., Cociuba I., Olah Ș., Samardžić N., Hrvatović H., Skopljak F. & Jolović B. (2018): D.5.1.1. Identification, ranking and characterization of potential geothermal

-
- reservoirs. Interreg Danube Transnational Programme DARLINGe – Danube Region Leading Geothermal Energy, Report, 90 pages.
- Sarbu I. & Sebarchievici C. (2016): Using Ground-Source Heat Pump Systems for Heating/Cooling of Buildings. Chapter 1: 1-36, INTECH Open Science, <http://dx.doi.org/10.5772/61372>.
- Sebeșan M., Stănășel O. & Iovi A. (2005): Scale Prevention with Sodium Tripolyphosphate as Inhibitor. Chem. Bull. "POLITEHNICA" Univ. (Timișoara) Volume 50(64), Issue 1-2: 80-82.
- Sommariva C. (2010): Desalination and advanced water treatment: Economics and Financing. Hopkinton: Miriam Balaban Desalination Publications, First edition, 168 pages.
- Sommariva C. (2017): State of the Art and Future Applications of Desalination Technologies in the Middle East. In: S. Murad et al. (Eds.): Water, Energy & Food Sustainability in the Middle East. Springer International Publishing AG, 107-124.
- Tanase I.E. (2016): Geothermal Reinjection in Sedimentary Basins. UNU-GTP Report 39(2016): 847-874.
- Ungemach P. (2003): Reinjection of cooled geothermal brines into sandstone reservoirs. Geothermics 32: 743-761.
- Van Nguyen M., Arason S., Gissurarson M. & Pálsson P.G. (2015): Uses of geothermal energy in food and agriculture. Rome, FAO, 52 pages.
- WHO (2017): Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. 541 pages.