

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Természetföldrajzi Tanszék



FEHÉR ESZTER

Földrajz szakos hallgató

A földhő hasznosítás és a termálvíz-visszasajtolás
magyarországi helyzete és időszerű kérdései

Tudományos Diákköri Dolgozat

Témavezető:

DR. KARÁTSON DÁVID

tszv. egyetemi docens

Konzulensek:

DR. LENKEY LÁSZLÓ

PULAY ESZTER

Budapest

2012

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS.....	3
2. A KUTATÁS RÉSZEI, KUTATÁSI CÉL.....	5
3. A FÖLDHŐ FELHASZNÁLÁSÁNAK KÜLÖNBÖZŐ MÓDJAI ÉS LEHETŐSÉGEI HAZÁNKBAN	6
3.1. A FÖLD GEOTERMIKUS ENERGIAJÁNAK KIAKNÁZÁSA	6
3.1.1. A földhő hasznosítása közvetett módon	8
3.1.2. Közvetlen földhő-hasznosítás	10
3.1.3. Földhőszivattyúk.....	18
3.1.4. Technológiai újítás – HDR- rendszerek	21
4. GEOLÓGIAI HELYZET ÉS ADOTTSÁGOK	24
4.1. A GEOTERMIKUS ENERGIA „TÁROLÓI”	26
5. KÖRNYEZETI TERHELÉSEK - A FENNTARTHATÓ TERMÁLVÍZ-KITERMELÉS.....	31
6. A TERMÁLVÍZ-VISSZASAJTOLÁS	33
6.1. A TERMÁLVÍZ-VISSZASAJTOLÁSRÓL TÖRVÉNYI SZABÁLYOZÁSA MAGYARORSZÁGON	35
6.2. A VISSZASAJTOLÁS FONTOSSÁGA ÉS A LEHETSÉGES KÁROS HATÁSOK	37
6.2.1. A felszín alatti vízkészletek mennyiségi egyensúlyának fenntartása	37
6.2.2. A rétegek fizikai fenntarthatósága, a készlet és rétegnyomás csökkenés	38
6.2.3. A felszíni vizek szennyeződése	38
6.3. A VISSZASAJTOLÁSRA ALKALMAS KÖZETTESEK	39
6.4. HAZÁNK VISSZASAJTOLÓ RENDSZEREI – KUTATÁSI EREDMÉNYEK	40
6.4.1. Sekély geotermikus rendszerek	40
6.4.2. Mély geotermikus rendszerek	41
6.5. A KUTATÁSI EREDMÉNYEKBŐL FELÁLLÍTOTT JAVASLATOK	47
7. ÖSSZEGZÉS	49
ÁBRAJEGYZÉK	51
IRODALOMJEGYZÉK	52

1. BEVEZETÉS

A megújuló energiaforrásokhoz kapcsolódó kutatások napjainkban jelentősen átformálják az energiagazdaságot. A folyamatos fejlesztések és új hasznosítási rendszerek használata további előremozdulást ígér, de vajon elegendő-e ha a jelenlegi ütemben halad a megújuló energiaforrások felhasználása/bevonása?

A világ energiaszükségletének 80 %-át jelenleg is a fosszilis energiahordozókból (kőszén, kőolaj, földgáz) fedezzük, melyek hosszú évmilliók alatt képződtek, és a mostani felhasználásunk ütemében akár pár évtized alatt elfogyhatnak. Igény van tehát a „kimeríthetetlen” energiaforrásokra. Azonban a fosszilis energiahordozóknak nem csak (emberi léptékben) nem megújuló mivolta miatt érdemes és fontos alternatívák után kutatni. A fosszilis energiahordozók felhasználása során nagymennyiségű szennyező anyag kerül a légkörbe, illetve ezzel együtt a bioszférába, mely rövidtávon a bioszféra átalakulásához, fajok kihalásához, hosszútávon pedig a CO₂-kibocsátás és az üvegházhatás miatt akár egész Földünk klímájának radikális megváltozásához vezethetnek. Ezt az előrehaladott folyamatot nagyon nehéz, ha nem lehetetlen megállítani – a világ naponta szembesül pl. a kiotói jegyzőkönyvben foglaltak be nem tartásával –, de az egyre nagyobb mértékű környezetszennyezés ellen még tehetünk. Az EU-ban Magyarország számára 2020-ra a megújuló energiaforrások részarányának 14,6 %-ra növelését, 10 %-os teljes energia megtakarítást, valamint az üvegházhatású gázok kibocsátásának (2005-ös szinthez képest) legfeljebb 10 %-os növekedését tűzte ki célul (Magyarország Nemzeti Reform Programja 2011).

A megújuló energiaforrások alkalmazása a fejlett gazdasággal rendelkező országok egy részében már előrehaladott, hazánk viszont a rendkívül kedvező földtani adottságai ellenére is le van maradva a nyugat-európai országok átlagához képest. Az okok főként a magas beruházási költségekre és a kellően hatékony állami támogatás hiányára vezethetők vissza, hiszen a megújulók hasznosításának tőkeigénye jóval nagyobb, mint a hagyományos energiahordozóké. A nem egyértelmű szabályok és rendelkezések, valamint a kiskapuk megnehezítik a tervezők és kivitelezők dolgát. Azonban megfelelő támogatási rendszerrel, szabályozással, a környezeti előírások betartásával és a kormányrendeletek iránymutatásával jól fejlődő ágazat alakulhat ki.

A földhő-hasznosítása során, hazánk esetében a rengeteg jól működő termelőkút és sikeres beruházás ellenére gyakran felmerülnek problémák. A geotermikus

energiahasznosítás Magyarországon évszázados múltra tekint vissza, akár a római kori, vagy a török fürdőkre gondolunk, Budapest a történelem során az egyik legfejlettebb európai „fürdőváros” előkelő pozíciójában volt. A technológiai fejlesztések egyre nagyobb mértékű hasznosítást eredményezhettek az energiahasznosítás, az üvegházak vagy akár termál- és gyógyfürdők esetén is. A komplex hasznosítás egyre inkább ismert és előszeretettel használt fogalom, azonban a gyakorlatban nem mindig van lehetőség a teljes kihasználásra. Megfelelő vizsgálati háttérrel és a legújabb technológiákkal karöltve azonban hazánk „nagyhatalom” lehetne a geotermikus energiatermelésben.

Az elmúlt évek során a földhő áldásos előnyei - úgymint a folyamatos energiaellátás, a szinte bárhol lefúrható kutak - mellett megjelent a visszasajtolás problémája is. Környezetvédelmi és vízkészletvédelmi okokból napirendi kérdéssé vált a visszasajtolás, amit azonban napjainkban még nem sikerült tökéletesen megoldani. Az egyre növekvő kitermelés mellett ügyelnünk kell a fenntarthatóságra is.

A földhő hasznosításának előnyeiről és hátrányairól nem mindig egyező nézetek léteznek a szakirodalomban. Az viszont kétségtelen, hogy Magyarországon égetően fontos a vitatott problémák mielőbbi megoldása, hiszen ez az energiaforrás alapvető lehetőséget kínál hazánk energiafüggésének csökkentésére, és a fenntartható energiatermelés legteljesebb kialakítására.

2. A KUTATÁS RÉSZEI, KUTATÁSI CÉL

A hazai geotermikus visszasajtoló rendszerek vizsgálata számos geológiai, gazdasági és technológiai kérdést vet fel. A téma megfelelő megértéséhez a szakirodalom és a földtani, hasznosítással kapcsolatos háttér alapvetően pontos ismerete szükséges.

Tudományos Diákköri kutatómunkám célja, hogy a hazai földhőt hasznosító rendszerek visszasajtoló kútjait felmérjem, összegyűjtsem és megvizsgáljam, és létrehozak egy naprakész adatbázist, mely a jövőbeli kutatások fontos alapja lehet.

A kutatásom során a megfelelő könyvek és aktuális tudományos újításokat tartalmazó cikkek áttekintése után a VITUKI Adattárban lévő visszasajtoló kút vízföldrajzi naplóinak áttanulmányozása következett. Az adatok hiányossága és nem megfelelő adatgyűjtés miatt a pontos következtetések és fejlődési lehetőségek irányvonalának felállításához saját adatgyűjtésre, megfigyelésekre és helyszíni szemlékre volt szükség.

Dolgozatom első részében a földhő-hasznosítás komplex rendszerének bemutatásával leírást adok a hazai hasznosító rendszerekről. Ezt követően második nagyobb egységként átfogó képet adok a földhőt hasznosító rendszerek legfontosabb földtani tulajdonságairól, Magyarország geotermikus adottságairól. Végül pedig saját kutatómunkám és az általam épített adatbázis elemzésének tükrében a termálvíz visszasajtolás legfontosabb kérdéseivel, problémáival, a jogi szabályozás állandóan változó rendeletivel szeretnék foglalkozni. Ehhez kapcsolódóan célom, hogy az adatbázis áttekintése után a visszasajtolás jelenlegi hazai helyzetének megismerését és vizsgálatát követően javaslatokat, hosszútávon alkalmazható megoldási lehetőségeket állítsak fel.

3. A FÖLDHŐ FELHASZNÁLÁSÁNAK KÜLÖNBÖZŐ MÓDjai ÉS LEHETŐSÉGEI HAZÁNKBAN

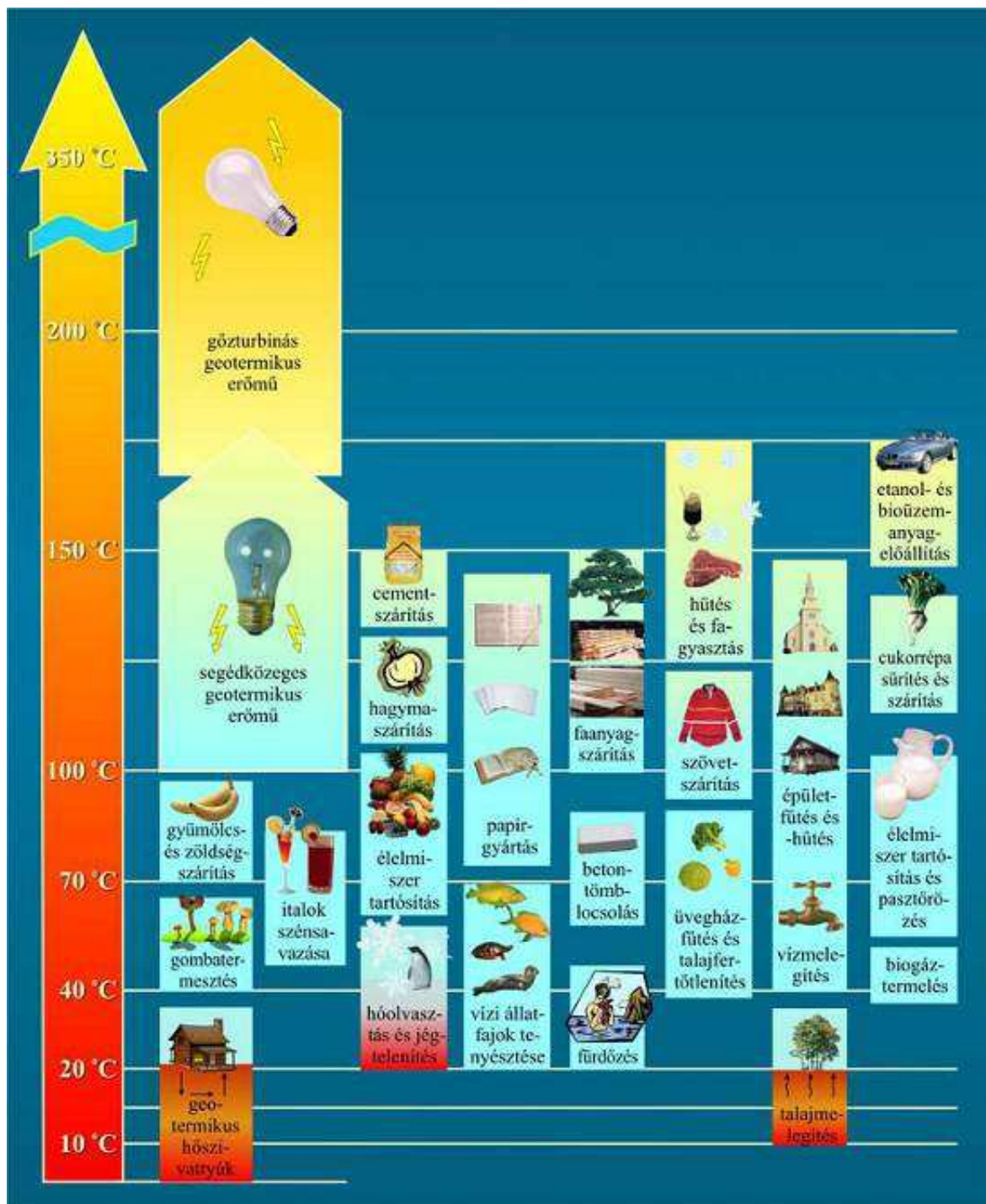
3.1. *A Föld geotermikus energiájának kiaknázása*

A földhőből nyert energia hasznosítása a célterületektől függően nagyon sokrétű lehet. Elsődlegesen villamosenergia-termelésre optimalizált, de számos egyéb terület is van, ahol a felszín alatti vizek hőenergiája és pozitív hatása kiaknázható.

Első lépésként a termálvizek energetikai célokra történő alkalmazásának módozatait vizsgáljuk. A legfontosabb a *villamosenergia-termelés*, amikor a mélyből kitermelt fluidum (termálvíz, gőz vagy gázok) hőjét villamos energiává alakítják át. A másik lehetőség a *közvetlen hőhasznosítás*, ebben az esetben a termálvíz hője közvetlenül kerül hasznosításra, pl.: közüzemi, ipari és mezőgazdasági célra, termálfürdők, gyógyfürdők, esetleg kórházak ellátására stb.

A geotermikus energiaforrások felhasználásának módjait legjobban a *Lindal-diagram* segítségével tudjuk értelmezni. A 3.1 ábrán látszik, hogy a legmodernebb technológiákkal akár 0 °C körüli földhőt is tudunk hasznosítani, azonban a készletek hőmérséklete és a tárolt vízmennyiség, illetve annak utánpótlódása jelentősen befolyásolhatja a kitermelés gazdaságosságát. A hasznosító rendszereket alapvetően a hasznosítandó hőmérséklet, illetve a rendszernek a környezetével való kapcsolata alapján vizsgáljuk. Az előbbi szerint megkülönböztetünk kis-, közepes-, és nagy entalpiájú vizeket. Az entalpia jól jellemzi a geotermikus rendszerek teljes energiataralmát, a fluidum hőmérsékletét, illetve a nyomásból származó energiahányadot is (Mádlné 2006).

A szakirodalomban a könnyebb értelmezés érdekében az entalpiát a folyadékok hőmérsékletével írják le. A kategóriahatárok azonban országonként és szerzőnként eltérőek lehetnek. Hazánkban például a 30° C feletti vizeket nevezzük termálvizeknek. Alacsony entalpiájú rendszereknél a réteghőmérséklet kisebb, mint 30 °C. Magas entalpia esetében a réteghőmérséklet nagyobb, mint 120 °C. A kettő közötti hőmérséklettartományt közepes entalpiájú rendszernek nevezzük (Szanyi - Bíró 2009).



3.1. ábra: A földhő-hasznosítás lehetőségei - Lindal-diagram (www.energia.ma)

3.1.1. A földhő hasznosítása közvetett módon

A villamos áram termelésének céljával történhet földhő-hasznosítás:

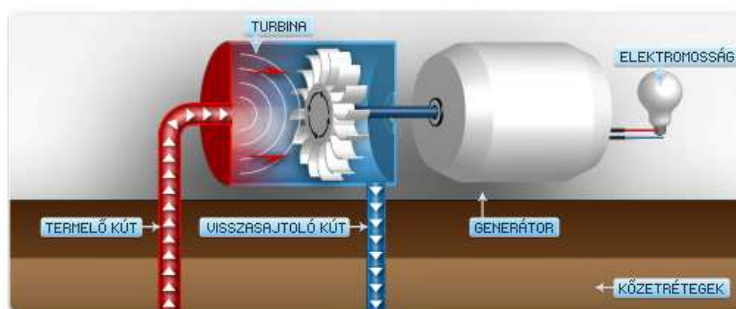
- elgőzöltetési áramfejlesztéssel és
- segédközege (binér) rendszerrel.

Elgőzöltetési áramfejlesztő rendszerek

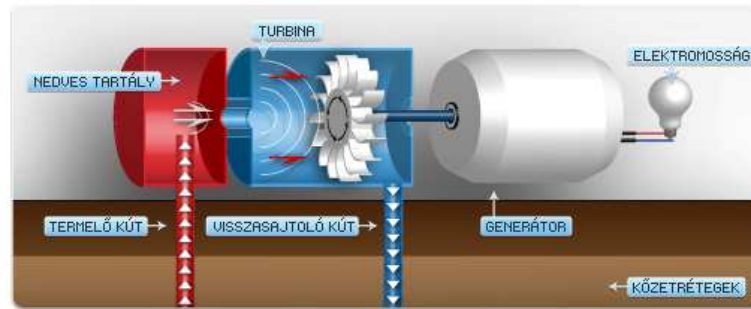
A hagyományos elgőzöltetési rendszer működtetéséhez jellemzően igen magas, legalább 150 °C-os hőmérsékletű fluidum szükséges. Ha a kinyert közeg magas nyomású gőz, akkor azt közvetlenül rávezetik a turbinákra, amely meghajtja a generátort (dry steam plants) (3.2 ábra). Forró víz kinyerése esetén azt nyomáscsökkentéssel vezetik rá a turbinára. Ebben az esetben a forró víz az óriási nyomás miatt folyékony állapotban van, majd a turbina előtt nyomáscsökkentés következtében az addig folyékony nagynyomású víz hirtelen gőzzé alakul, a térfogata óriásira növekszik, ami meghajtja a turbinalapátokat (flash steam plants) (2.3 ábra) (DiPippo 1999).

A bővítéseket nehezíti, hogy a hagyományos turbinák „tisztá gőz” hasznosítására készülnek, ezzel szemben a kutakból nyert fluidumban megtalálhatók nem kondenzálódó gázok (pl.: H_2S , SO_2 , CO_2 , CH_4) is. Ezek a hatások csökkentése mellett környezetszennyezők is, és a működés során korróziót vagy eltömődéseket okozhatnak a zárt rendszerekben, és magas követelményeket támasztanak a berendezések kémiai ellenállóképességével szemben, ezért a rendszer fenntartásának érdekében gyakran kell karbantartásokat, tisztítást végezni (Vidéki 2008).

Az ehhez a hőmérséklethez tartozó mélységtartományban azonban a világ nagy részén általában már nincs elegendő kitermelhető termálvíz. Ezekben az esetekben a nagy mélységben repesztéssel összenyitott kutakból a felszínről keringetett folyadékkal hozhatjuk fel a hőt (HDR-technológia).



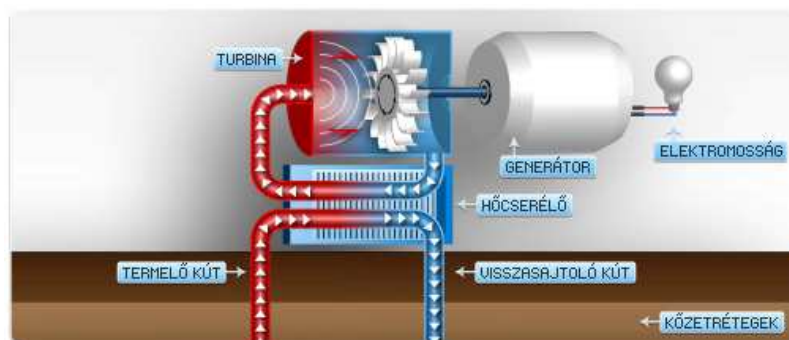
3.2. ábra: Szárazgőzös áramfejlesztő rendszer működési elve (www.panergy.hu)



3.3. ábra: A kigőzöltetési áramfejlesztő rendszer működési elve (www.panergy.hu)

Segédközeges avagy binér hasznosítási rendszerek

Amennyiben nem áll rendelkezésünkre ilyen magas hőmérsékletű fluidum, a segédközeges (binér) technológia (binary cycle power plants) (3.4 ábra) segítségével alacsonyabb hőmérsékletű termálvíz is elegendő lehet az elektromos áramtermeléshez. Ehhez egy másodlagos folyadékra (pl.: izo-bután, izo-pentán, n-pentán) van szükségünk, amely a víznél alacsony forráspontú és elegendő gőznyomású, a rendelkezésre álló alacsonyabb hőmérsékleten is. A kinyert víz a segédközeges erőművekben alkalmazott *Rankine-ciklusban* (Organic Rankin Cycle – ORC) egy hőcserélőn keresztül adja át hőjét a szekunder körben keringő kisebb forráspontú folyadéknak, mely felmelegedve gőzzé alakul és így hajtja meg a turbinákat. Alaszkában Chena mellett 74 °C-os termálvizet hasznosítanak ezzel az eljárással, ez a jelenleg ismert legalacsonyabb hőmérsékletű ilyen hasznosítás (www.energyalaska.wikidot.com). A technológiában áttörést jelentett a *Kalina-ciklus* kidolgozása, mely a jelenlegi segédközeges rendszereknél 40-70 %-al hatékonyabban hasznosítja a földhőt. Ebben az esetben a másodlagos folyadék víz és ammónia keveréke, mely nagyon alacsony forrásponttal működik. Előnyei, hogy olcsóbb működési költséggel és alacsonyabb vázhőmérséklettel dolgozik (akár 110 °C), hátránya, hogy az erőmű bonyolult és drága.



3.4. ábra: A segédközeges erőmű működési elve (www.panergy.hu)

A két említett eljárás – az elgőzöltetési és a binér – között teljesítményi differencia nem jellemző, viszont viszonylag alacsony hatásfokkal (15 %) működnek, valamint egy-egy turbina működtetéséhez akár 15-20 kitermelőkút is szükséges lehet. Ezen erőművek nagy előnye, hogy nincs károsanyag-kibocsátásuk és kisebb hőmérsékletű vizek esetében is alkalmazhatók, így felhasználhatóságuk szélesebb körű. A kitermelt vízben vagy gőzben ugyanis oldott kén-hidrogén és szén-dioxid található, mely a kettős rendszerekben a zárt primer kör miatt nincs hatással a környezetre (DiPippo 1999). A geotermikus erőműveket az energiaforrásra telepítik, így nem kell a tüzelőanyag szállításához szükséges infrastruktúrát kialakítani, nincs szállításból adódó környezetterhelés. A technikailag jól megtervezett és helyesen üzemeltetett geotermikus erőművek a felhasznált víz visszasajtolásával gyakorlatilag folyamatos energiaforrásként üzemelhetnek.

A különböző műszaki megoldások tovább tágíthatják a határokat, de megállapítható, hogy gazdaságosság szempontjából a legkisebb hőmérséklet kb. 130 °C. Az erőművek létesítési költségei ezen felül nagyon magasak, így csak a hosszútávon biztonságos ellátást nyújtó, magas hőfokú mélységi készletekre célszerű erőművet telepíteni.

A földhőből származó energiát először 1904-ben az olaszországi Larderellóban hasznosították villamos áram termelésére, azóta több államban is létesítettek kis- vagy közepes teljesítményű erőműveket. A legnagyobbak a kaliforniai The Geysers térségében találhatók, ahol kb. 900 MW, míg Mexikóban illetve a Fülöp-szigetek területén 700 MW összteljesítményű erőművek működnek (Vidéki 2008). Jelenleg több mint 20 országban, összesen 11 000 MW beépített teljesítményű erőmű üzemel, melyek évente több mint 50 milliárd kWh villamos energiát állítanak elő. Ez kb. hazánk áramtermelésének a másfélszerese, így világszinten nem számottevő, ugyanakkor a napenergiából nyert globális elektromosenergia-termelés kétszerese (Geothermal: International Market Overview Report 2012).

3.1.2. Közvetlen földhő-hasznosítás

A *közvetlen (direkt) hőhasznosítás* során többnyire a 100-140 °C hőmérséklet alatti termálvizekkel foglalkozunk. A kitermelt víz hőmérséklete alapján több szintű alkalmazási területeket határolhatunk el. A különböző direkt felhasználású rendszereknél főként a kis- és közepes entalpiájú termálvizeket hasznosítják.

A földhő akkor hasznosul a legjobban, ha többlépcsős, komplex rendszerben vonjuk ki a benne rejlő hőmennyiséget. A legmegfelelőbb felhasználási módszer az ún. *kaszkád-*

vagy *integrált rendszerű* hasznosítás. A fokozatosan csökkenő hőmérsékleti igényű felhasználók egymás után, láncszerűen helyezkednek el, így a leghatékonyabb a hasznosítás. Hátránya, hogy csak helyben alkalmazható, hiszen nem mindenhol van lehetőség a többlépcsős kialakításra, és az építését megelőzően több 10-20 éves távlatban előre kell megtervezni a környék energiaszolgáltatását. Magyarországon többek között Mórahalmon valósítottak meg egy jól működő, többlépcsős kaszkárendszer.

A földhő közvetlen hasznosításának módjai:

- belső terek (lakások és közintézmények) fűtése és hűtése
- mezőgazdaságban történő hasznosítás
- növényházak, fóliasátrak fűtése, terményszárítás
- baromfinevelés, temperált vizű haltenyésztés
- balneológiai hasznosítás (termálvizek, gyógyvizek, ivókúrák)
- egyéb ipari gyártási folyamatokban történő felhasználás (Gööz 2010).

Belső terek fűtése és hűtése

A legmagasabb entalpiájú termálvizeket, kb. 40-140 °C közötti hőmérsékleten különböző belső terek fűtésére hasznosítják. A fűtőtestekbe érkező víz 65-80 °C-os, a használat után 25-40 °C-ra hűl le. Jellemzően a 65 °C-nál alacsonyabb hőmérsékletű vizek ilyen jellegű hasznosítása csak hőszivattyúk, különleges padlófűtési rendszerek vagy víz-levegő hőcserélők alkalmazásával lehetséges (Mádlné 2006). A belső terek fűtése a földhő egyik rendkívül költséghatékony felhasználása, hiszen a költségek legnagyobb része a beruházás kezdetekor, a műszaki, technikai háttér kialakításakor merül fel. A működési költségek jóval alacsonyabbak, mint más, hagyományos energiahordozóra épített rendszerek esetében (Kulcsár 2012).

A fűtési rendszerek kialakításakor (akár társas-, akár családi házban) a távfűtési rendszerek hőtermelő egységeiben (pl. hőközpontban) a fűtési visszatérő víz felmelegítését a termálvíz végzi egy központi hőcserélőn keresztül. Olyan megoldás is létezik, amikor a hőcserélőket nem a termelőegységben helyezik el, hanem közvetlenül a fogyasztókhoz vezetik a termálvizet. Ebben az esetben a fogyasztók hőközpontjaiba telepítik a hőcserélőket, és ezekkel az egyes fűtési rendszereknek adják át közvetlenül a termálenergiát. Izlandon elterjedt az az alkalmazási forma, hogy hőcserélők beiktatása nélkül, közvetlenül az épületek hőleadóiba vezetik a termálvizet. Jobb hatásfokú hő-

hasznosítás érhető el ezzel a módszerrel, de működéséhez egységesített fűtési rendszer, valamint megfelelő vízminőség szükséges.

Sajnos az esetek többségében, a nem 100 %-os hatásfok miatt a földhő a fűtési hőteljesítmény-igényeknek csak egy részét tudja biztosítani, ezért a zavartalan működtetés fenntartásához elengedhetetlen egyéb energiahordozó alkalmazása (Bánóczy 2012).

A földhő fordított üzemmódban történő felhasználása esetén lehetséges belső terek hűtése is, ilyenkor abszorpciós hűtő-berendezések működtethetők a föld hőjével. A rendszerben kétféle folyadék keringetése – abszorbens és a hűtőfolyadék –, valamint egy külső energiaforrás szükséges. A felhasználásnak ez a módja a 105 °C fölötti hőmérsékletű termálvizek esetén hatékony. Ha a hűtés igénye 0 °C fölötti, akkor abszorbensként lítium-bromidot, hűtő-folyadékként pedig vizet használnak. A generátor felmelegíti a keveréket, a víz a kialakított alacsonyabb nyomás miatt az alacsonyabb hőmérsékleten felforr, nagy része eltávozik, eközben pedig hőt von el a környezetéből. Ezért ismét kondenzálódik a nagy abszorpciós kapacitású, lecsökkent víztartalmú abszorbens oldatban. 0 °C alatti hűtési igények esetén a vizet használják abszorbensként, hűtőfolyadékként pedig ammónia szolgál (Mádlné 2006).

Látható, hogy a fűtési és hűtési célú felhasználásban alapvető különbség csak a körfolyamat hőmérsékleti értékeiben van, valamint a hűtési technológia esetén a hűtő közeg is eltérő. A hatékonyság növelésének érdekében a hűtésnél az alsó hőmérsékleti szint alacsonyabb szintre csökkentése, a fűtésnél pedig a felső hőfokszint emelése a cél (Komlós 2005). Az épületek fűtése, valamint hűtése hőszivattyúk használatával is megoldható. Ezekről később részletesen lesz szó.

A földhő felhasználása a mezőgazdaságban

Növényházak, fóliasátrak fűtése, terményszárítás

A geotermikus energiát a mezőgazdaságban elsősorban nyílt területeken, termőföldeken öntözésre, valamint talajfűtésre illetve üvegházak, fóliasátrak, állattartó telepek fűtésére használják. A fűtési teljesítmény iránti igény a növényház méreteitől, hőgazdálkodási viszonyaitól, betelepítettségétől és a növénykultúrától függ. Jellemző a kombinált hasznosítás, de figyelembe kell venni a termálvíz kémiai összetételét, mert a túl magas sótartalom károsíthatja a növényeket. Előnye, hogy megelőzi a váratlan, hirtelen lehűlésből származó károkat, illetve meghosszabbítja a termesztési időt és sterilizálja a talajt (Mádlné 2006).

Termálvizeinket a 60-as évek óta használják mezőgazdasági célokra, a termálkutak 64 %-át az agrárium használja. Magyarországon 1980-ban 748 000 m² növényházfelületet és 1,064 millió m² fóliaház felületet fűtöttek termálvízzel (BFH Európa 2008). Üvegházak fűtése terén a hazánkban megvalósított 130 hektár területű földhővel fűtött üvegházakat csak az USA előzi meg 183 hektárral. A termálvízzel fűtött növényházak beruházási költsége 15-20 %-kal nagyobb, mint az olaj- vagy a gázfűtésűeké, de a kisebb üzemköltségek miatt a többletkiadás 2,5-3 éven belül megtérül (Listár 2012).

A gabonafélék, kukorica, napraforgó nedvességtartalmának csökkentése, valamint az alacsonyabb hőmérsékletet igénylő mezőgazdasági folyamatok energiaigényének biztosítása (mint pl. a terményszárítás: szemes és szálas termények, kukorica, paprika, gyógynövények szárításának geotermikus energiával való megoldása) is sokhelyütt alkalmazott gyakorlat (Mádlné 2006). A terményszárítási feladatok főként a fűtésmentes nyári - kora őszi időszakokra esnek, ami a termálvizek gazdaságos, minél hosszabb idejű kihasználása szempontjából kedvező. A termálvizes szárítás a korábbi szénhidrogén-tüzelésű berendezésekhez képest alacsonyabb hőmérséklettel (40-60 °C) dolgozik, ezért a szárítási idő meghosszabbodhat, viszont az energia-megtakarítás ezt túlkompenzálja (Listár 2012).

A mezőgazdaság esetében is lehetőség van a többlépcsős alkalmazásra. A szakirodalomban azonban több helyen eltérő példákat láthatunk a mezőgazdasági hasznosításban jellemző termálvizek hőmérsékleti osztályozására. Ha a kitermelt vizünk például 80-90 °C-os, ami ideális a szárító üzemeltetéséhez, a kilépőviznek a hőveszteség után még elég energiája marad (50 °C) egy üvegház légtér- vagy talajfűtéséhez. A vizet az üvegházból nem nagy hőigényű fóliasátorba vezetik, onnan pedig keltetőkbe, istállókba és szociális helyiségekbe jut. 40 °C-on jellemző az aszalás, 30-35 °C-on a talajfűtés. A kifolyó csurgalékvizet halastó létesítésére szokták felhasználni, ahol a szokásos 26-27 °C-os, illetve alacsonyabb hőmérsékletű víz a legmegfelelőbb (econoconsult.hu).

A fűtést a fóliaházakban jellemzően állandó vagy mobilis csöves rendszerekkel, vagy konvektorokkal oldják meg, de előfordul a vízfüggönyös módszer is, amikor kettős fóliaréteg között áramoltatnak hőtartalmától már jórészt megszabadult, előzetesen hasznosított, 20-30 °C hőmérsékletű termálvizet. Az áramló langyos termálvíz nemcsak fűt, hanem hőszigetelő hatást is kifejt, azonban ennek az eljárásnak nagy a vízigénye és teljesen záró, ép fóliát igényel (Listár 2012).

Baromfinevelés, temperált vizű haltenyésztés

A különböző baromfineveldék, állatfarmok – többnyire őszi, téli – fűtési is megoldható földhő felhasználásával. Ezen kívül bizonyos víziállat-fajok tenyésztése esetén fontos tényező az állandó, a környezetinél magasabb hőmérséklet, illetve a medencék egyenletes, állandó hőmérsékleten való tartása, melyet az alacsonyabb hőmérsékletű termálvizekkel tudunk a legjobban biztosítani. A földhővel fűtött medencékben leggyakrabban ponty, harcsa, sügér, osztriga, homár, különböző rákok és kagylók, stb. tenyésztése folyik. Nagy előnye a földhő alkalmazásának a többi megújuló energiafajtaéhoz képest, hogy pontos hőmérsékletszabályozást lehet elérni, valamint fontos, hogy a vizet a halak számára esetlegesen káros anyagok, illetve a nagy oldottanyag-koncentráció miatt hőcserélőkön keresztül hasznosítsák (Mádlné 2006).

A termálvizek balneológiai hasznosítása – ivókúrák és gyógyfürdők

Napjainkban a modern gyógyító eljárások mellett méltánytalanul háttérbe szorultak olyan természetes gyógymódok, amelyek sok évszázados múltra tekintenek vissza. A termál-, és gyógyvizek egészségjavító, valamint rekreációs alkalmazása során az ivókúrák, vagyis az ásványi anyagban kiemelkedően gazdag források terápiai fogyasztása, és a fürdőkúrák, az elismert gyógy- és termálvízben fürdőzés nagy hagyományra tekintenek vissza.

Termálvíznek (hévíznek) azt a természetes vizet nevezzük, amelynek évi középhőmérséklete forrásvíznél 25°C-nál, fúrt kút esetén 30 °C-nál magasabb (Zákonyi 1977). Magyarországon a 30 °C-nál melegebb vizű kutakat, forrásokat tekintjük hévízkutaknak. Ilyen hőmérsékletű víz az ország területének 70 %-án feltárható. A hévizeknek azonban jelentős része még nem nyilvánítható elismert gyógyvíznek a kimutatható elemek alacsony értéke miatt (Liebe 2002a).

A gyógyvíz olyan ásványvíz, illetve termálvíz, amely vegyi összetétele és fizikai tulajdonságai következtében gyógyító hatású. A gyógyvizeken belül megkülönböztethetünk ásványvizeket és termálvizeket (hévizeket). Ásványvíznek tekinthető (az oldott ásványianyag-tartalom minősége és mennyisége alapján) a hőmérséklettől függetlenül minden olyan víz, mely literenként legalább 1000 mg oldott szilárd alkotórészt, vagy egyes, ritkán előforduló, de biológiailag aktív elemekből (lítium, bróm, jód, fluor, arzén, rádium) kimutatható mennyiséget tartalmaz. Ugyancsak ásványvíznek minősíthető az a víz, melyben az oldott anyagok mennyisége nem éri el a

fent említett határt, de oldott gáztartalma jelentékeny mennyiséget tesz ki; pl. olyan víz, amelynek szabad szénsavtartalma legalább 500 mg/l (Nádasi – Udud 2007).

Az ásvány- és gyógyvizek a felszín alatt tárolódnak, és onnan kerülnek természetes módon a forrásokba, ill. mesterségesen a kutakba. A felszín alatti áramlás során a kőzetvázból különböző ásványi anyagokat oldanak ki. A kioldás következtében folyamatosan dúsulnak „ásványi sókban”. A természetes ásvány- és forrásvizekben található jelentősebb összetevők különböző módon hatnak az emberi szervezetre.

Az ásvány- és termálvizek elismert gyógyvízként történő megnevezését hazánkban a jelenleg érvényes 2004/65 FVM-ESzCsM-GKM együttes rendelet és 2006/59 értelmében az egészségügyi miniszter abban az esetben engedélyezheti, ha a víz kémiai összetételénél vagy a fizikai tulajdonságainál fogva az emberi szervezet gyógyítására igazoltan alkalmas. Az elismert gyógyvíz elnevezést a feltárt víz hőfoka és vegyi összetétele alapján állapítják meg, szigorú és folyamatos orvosi ellenőrzés mellett (Nádasi – Udud 2007). A gyógyvízzé minősítés így éveket vehet igénybe (Zákonyi 1977).

A Kárpát-medencében a gyógyító ivókúráknak rendkívül nagy hagyománya volt és van jelenleg is. A leghíresebb ivókutak Balatonfüred és a budapesti fürdők forrásai. A 3.5 ábrán egy nyíregyházi ivókutat láthatunk. A XX. században az ivókúrák jelentősége újra felértékelődött, hiszen napjainkban a természetgyógyászat reneszánszát éljük, egyre inkább fordulunk természetes gyógymódok felé, ami tovább növeli az érdeklődést a gyógyító vizek iránt. A gyógyítás céljából palackozott vagy ivókúrára alkalmazott természetes vizek előtérbe kerülnek a gyógyszerekkel szemben. A cél minél jobb, minél tartósabb eredmény elérése minél kevesebb gyógyszer és minél több természetes gyógymód alkalmazásával (Nádasi – Udud 2007).



3.5. ábra: Ivókúra Nyíregyházán (www.gyogyfurdo.abbcenter.com)

Hazánk egykori területén az ókori rómaiak építették az első fürdőket (3.6 ábra). Budapesten eddig 19 római korból származó fürdőt tártak fel. A középkorban mind hazánkban, mind Európában a fürdőélet hanyatlásnak indult. A vallási kultúra sokáig tiltotta a nyilvános fürdést, a fedetlen test látványát. A török időkben a fürdők használata ismét előtérbe került, meghonosodott a keleti fürdőkultúra (Hurton 2005).



3.6. ábra: Római kori fürdőkultúra (www.szeusz.eu)

A 18-19. században a gyógyvizek alkalmazása elterjedtebbé vált, és kezdetét vette a nemzetközileg is egyre nagyobb elismertségre szert tevő fürdőhelyek létesítése (pl.: Balatonfüred, Harkány, Balf stb.). 1937-ben magyar kezdeményezésre Budapesten megalakult a nemzetközi fürdőszövetség (a mai Nemzetközi Termál- és Gyógyfürdők Szövetsége = FITEC jogelődje), és országszerte megindult a fürdőfejlesztés. Az ENSZ is elismerte Magyarország kivételes lehetőségeit, amikor a '70-es évek elején „Thermal Projekt” intézetet hozott létre Budapesten, melynek feladata olyan fürdőfejlesztéssel kapcsolatos programok kidolgozása, melyeket más országok is tudnak hasznosítani (Nádasi – Udud 2007). Hazánkban 2010-ben az országos nyilvántartásban 1488 hévízkút (azaz 30 °C-nál melegebb vizet adó kútból) szerepelt, ezek közül 1130 az aktív és 21 a visszasajtoló kút, a kitermelő kutakból naponta 350000 m³ hévizet hoznak felszínre (Székely 2010). A hévízkutak körülbelül egyharmadát fürdők – pl.: Hévíz, Zalakaros, Bük, Lenti – veszik igénybe, ezek közül eddig mintegy 80 kút kapott elismert gyógyvízminősítést; a többit főleg fűtésre vagy különféle mezőgazdasági, ipari célokra hasznosítják (Hurton 2005).

A termálvizek egyéb ipari gyártási folyamatokban történő felhasználása

A fejezetben bemutatam a földhő számos alkalmazási lehetőségét. Ezeken kívül azonban még számtalan egyéb terület van, ahol hasznosíthatjuk a Földünk mélyéből származó hőt. A fosszilis energiahordozókkal szembeni előnyei egyértelműek, azonban alkalmazása csak akkor tekinthető gazdaságosnak, ha az egyéb energiaforrásoknál olcsóbb és legalább ugyanolyan minőségű energiát képes szolgáltatni, az iparág vagy üzem teljes tervezett élettartama során. Alkalmazási területeit az ipari folyamatokban többnyire a kitermelhető termálvíz hőmérséklete alapján különíthetjük el. Hőszivattyúk alkalmazásával a rendszer hőmérséklete, így a hatásfok akár emelhető is (Mádlné 2006).

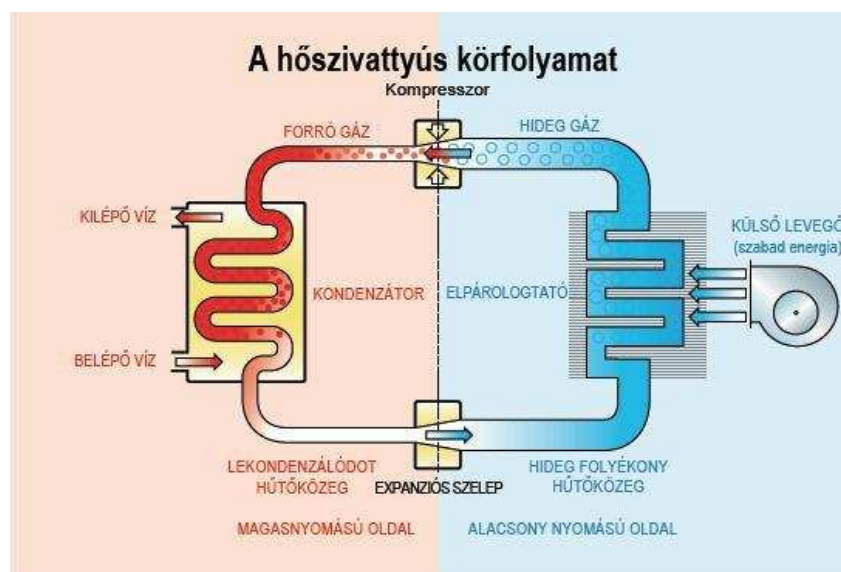
Néhány példa a geotermikus energia iparban történő alkalmazására:

- etanol- és bioüzemanyag-előállítás (kb. 150-175 °C),
- cementszáritás (kb. 125-150 °C),
- faanyagszáritás (100-150 °C)
- nemesfémbányászat,
- sókitermelés tengervízbeárlással,
- textilfestés és alapanyagok hőkezelése,
- szénhidrogének és egyéb vegyipari termékek desztillációja, stb. (Bánóczy 2012)

3.1.3. Földhőszivattyúk

A földhő megfelelő kihasználásához még közvetlen módon is legtöbbször 'közvetítőre' van szükség, ugyanis a földben tárolódó hőenergia némely esetekben csak hőszivattyúk segítségével aknázható ki. A jelenlegi technológia és a folyamatos fejlesztések segítségével napjainkban már számos lehetőség nyílik a hatékony felhasználásra.

A hőszivattyús technika és technológia fő célja, hogy a kisebb hőmérsékletű (14-15 °C), közvetlenül nem hasznosítható hőmérsékletű hőenergiát nagyobb hőmérsékletű (55-60 °C), hasznosítható hővé alakítsa. A hőszivattyú olyan gépi berendezés, ill. készülék, amely az alacsony hőmérsékletű környezetből (*levegőből, vízből vagy földből*) felhasznált energiát nem közvetlenül hővé alakítja, hanem a külső energia segítségével a hőt alacsonyabb hőfokszintről egy magasabb hőfokszintre emeli. Úgy működik, mint egy fordított hűtőegység, mely két hőcserélőből – egy elpárolgatóból és egy kondenzátorból – valamint egy kompresszorból és expanziós szelepből épül fel. A 3.7 ábrán látható hőszivattyú körfolyamata is megegyezik a hűtőberendezésekével, de itt a kondenzátorban leadott hőmennyiséget hasznosítják. A geotermikus hőforrás a rendszerben keringetett fluidumot az elpárolgató segítségével gőzzé alakítja, majd a kompresszor ezt az elpárolgatót folyadékot sűríti nagyobb nyomásra, ezáltal emelkedik a kondenzációs hőmérséklet (Komlós 2008). Energetikailag kedvező, hogy a hőszivattyúk több területen is alkalmazhatók: épületek fűtésére, hűtésére, medencék fűtésére, használati melegvíz előállítására, vagy akár szellőztetésre is.

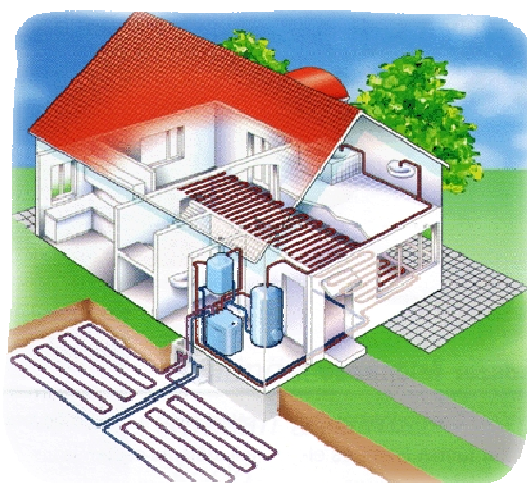


3.7. ábra: A hőszivattyús rendszer elvi alapja (www.szeusz.eu)

Talajkollektorok és talajhőszondák

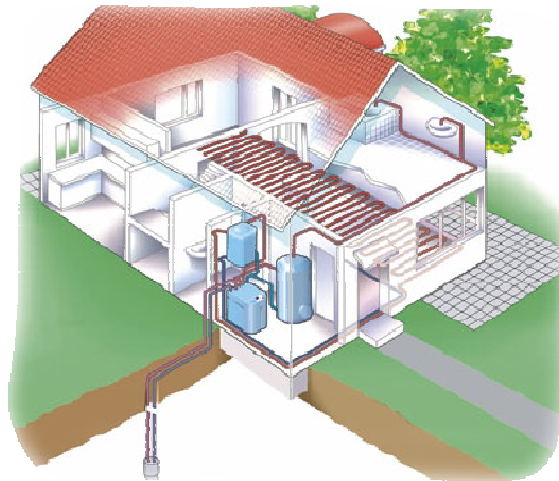
A geotermikus rendszerű hőszivattyúk esetében megkülönböztetünk *vízszintes talajkollektoros*, illetve *függőleges talajszondás rendszereket*. A két rendszer alapvetően a csövek helyzetében különbözik. A geotermikus földhőszivattyúk lehetnek zárt, illetve a vízbejutástól függően nyitott rendszerűek. Egy másik osztályozás alapján talajalapú, talajvízalapú és felszíni vízalapú hőszivattyúkat különböztetünk meg.

A *vízszintes talajkollektoros rendszerben* (3.8 ábra) (ezek többnyire talajalapú, zárt rendszerek) több száz méter hosszú, speciálisan erre a célra kialakított PVC bevonatos rézcsöveket, vagy polietilén csöveket fektetnek le a földfelszín alá 1-2 méter mélységben. Itt nem teljesen a geotermikus hő kerül felhasználásra, hanem napsugárzásból adódó felszínhez közeli hőenergiát alkalmazzuk. A vízszintes szonda nagy előnye, hogy nem kell a drága kutat lefúrni, mert a vízszintes szondát, mint egy hálót, a ház mellett, a kertben helyezik el. Hátránya viszont, hogy nagy felületen (a fűtött alapterület 1,5-3-szorosán) kell felásni és megbontani a talajt, így leginkább újépítésű házak esetében alkalmazzák. A rendszer 20-30 W/m² energiát biztosít, mely függ a talaj hővezetésétől, nedvességtartalmától és az esetleges talajvíztől is. Ha például a talaj kiszárad, akkor jelentősen romlik a rendszer hatásfoka. Ezeknél a létesítményeknél nincs külön engedélyezési kötelezettség, ha a telepítendő hőszivattyú rendelkezik alkalmazási engedéllyel.



3.8. ábra: Talajkollektoros hőszivattyú (www.innodom.hu)

A *függőleges talajszondák* esetében egy kb. 15 cm átmérőjű, 50-200 méter mély lyukat fúrnak a földbe (3.9 ábra). Ebbe Magyarországon leggyakrabban egy U alakú szondát helyeznek, és ebben egy szivattyú zárt rendszerben cirkuláltatja a fűtő-hűtő közeget. A fúrást engedélyeztetni kell a területileg illetékes Bányakapitányságnál, ami hosszadalmas és költséges eljárás, ahogy maga a fúrás is.



3.9. ábra: Földhőszondás hőszivattyú (www.innodom.hu)

Egyéb alkalmazások során talajvíz-kútból nyert víz, vagy egy tó, folyó vize is szolgálhat hőforrásként (nyitott rendszerek), ilyenkor a hőelvonás után a vizet egy visszasajtoló kútba vagy a felszíni vizekbe vezetik vissza (Lukács 2010).

Napjainkban több híres épület, többek között a berlini Reichstag épületének hőszivattyús rendszerű fűtése (300 m mély kútpár) és hűtése (60 m mély kútpár) is ilyen technológiával működik. A Reichstag felújításakor ügyeltek arra, hogy az épület némileg „önfenntartó” legyen, a beépített hőszivattyús berendezést úgy alakították ki, hogy megfelelő átkapcsolással télen fűtő-, nyáron pedig hűtőberendezésként üzemelhessen.

A hőszivattyúk megújuló energiahordozókat hasznosíthatnak, segítve a klímavédelmet, mivel a környezetből „beemelt” résznek nincs helyi (lokális) széndioxid- (CO_2) és károsanyag-kibocsátása. Hatékony műszaki eszköze annak, hogy ásványi (fosszilis) eredetű energiát takarítsunk meg, és széndioxid-kibocsátást csökkentsünk, valamint csökkentsük az építmények energiaellátásának üzemeltetési költségeit is (Komlós 2005).

Európa gazdaságilag fejlett országaiban a hőszivattyús rendszerek nemcsak a növekvő energiaárak miatt, hanem a környezetvédelmi megfontolásokból is rendkívüli mértékben terjednek. Pl. az Európában hőszivattyú-telepítés terén vezető Svédországban az

eladott hőszivattyúk darabszáma 2000-ben 24 000 db, 2007-ben 94 000 db, Norvégiában pedig 2001-ben 6500, 2007-ben 70 000 db volt, ami óriási fejlődés. A további európai tervek között szerepel, hogy 2020-ra több mint 70 millió hőszivattyú kerüljön beépítésre az újépítésű házakba és lakásokba (Lukács 2010).

Ezzel szemben hazánk – lehetőségeihez képest – súlyos lemaradásban van, csak az elmúlt 5-6 évben volt jellemző erőteljesebb növekedés a hőszivattyúk terjedésében. A 2006-os felmérések alapján kb. 350-400 db hőszivattyút forgalmaztak Magyarországon, a 2008-as, 2009-es adatok alapján is csak összesen 3000 berendezést építettek be, így a jelenlegi működésben lévő rendszerek száma kb. 4200-ra tehető. Az adatgyűjtést és a pontos számok közlését nehezíti, hogy a hivatalos szervektől csak az engedélyköteles berendezésekről lehet adatot kérni, jelenleg azonban nincs átfogó, megbízható, erre vonatkozó információgyűjtési kezdeményezés (Lukács 2010).

Az előrelépést a II. Heller László terv részeként egy kormány szinten indított kiemelt hőszivattyús program hozhatja el, mely szerint Magyarország lehetne a „hőszivattyús rendszerek gazdája”. A Heller László terv a Hőszivattyús Rendszerek Nemzeti Célprogram keretében komplex módon „gyártástól a szervizig” kíséri hőszivattyús berendezéseket. A hazai beszállítókkal, a gyártókkal, valamint a létesítő és szervizelő cégekkel együtt összefogva sikerülhet egy versenyképes piaci szolgáltatás kiépítése, mely munkahelyteremtő és emellett az EU-támogatásokat aktívan felhasználó ágazat lehet (Komlós 2006).

3.1.4. Technológiai újítás – HDR- rendszerek

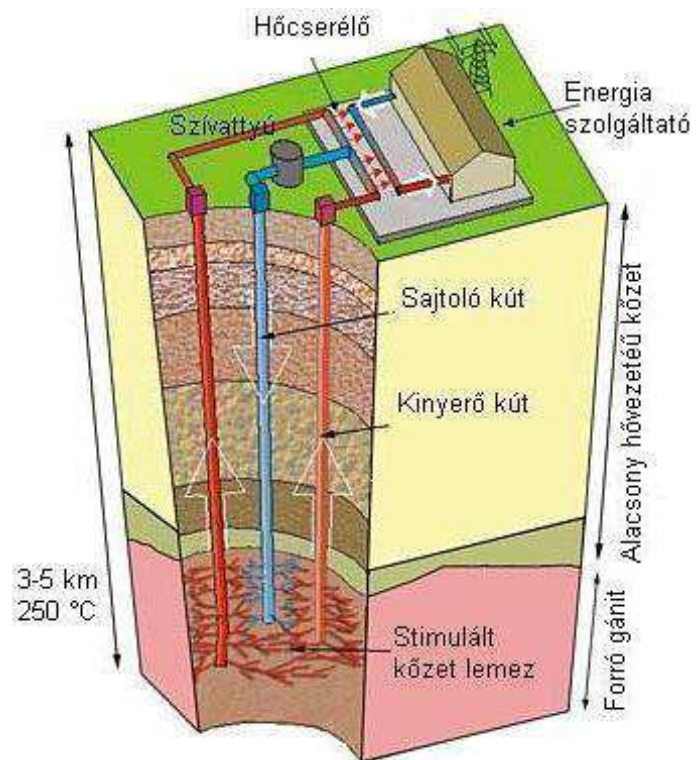
A geotermikus rendszerek telepítésekor a legfontosabb szempontok között a gazdaságosság és a fenntarthatóság szerepel. Általánosságban elmondható, hogy a geotermikus hőhasznosítás során célunk a minél magasabb hőmérsékletű termálvíz kiaknázása és hasznosítása. A földhő hasznosításának egyik fejlődő, de még túl költséges módja a mélységi száraz kőzetek hőhasznosítási lehetősége. Ha a hőmérséklet szempontjából megfelelő mélységtartományban már nincs vagy elhanyagolható mennyiségben található kitermelhető termálvíz, nagy mélységben repesztéssel összenyitott kutakból a felszínről keringetett folyadékkal hozhatjuk fel a hőt. Ez az ún. *forró száraz kőzet* vagy *HDR-technológia* (3.10 ábra).

A rendszer kitermelő és visszatápláló kutakból áll, melyeket kellően mélyre fúrva (4-6 km) gyakorlatilag bárhol elérhetjük a megfelelő, kitermelésre alkalmas hőmérsékletet. Az eljárás során szükség van egy mesterséges geotermikus tároló létrehozására olyan mélységben, ahol a közethőmérséklet $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, jó a hővezető-képesség (nagyobb, mint $4\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{C})$), jól repeszthető a száraz magmás kőzet (gránit). Ezen feltételek együttes fennállása lehetővé teszi, hogy a nagy mélységű (átl. 5000 m) rétegbe sós vizet szivattyúzzanak, majd a kinyerési oldalon a magas hőmérsékletű közeget energiatermelésbe vigyék át. Az első ilyen rendszert Amerikában, Fenton Hill-ben létesítették 1977-ben, ahol 2800 és 3500 méter mélyre fúrtak le, ahol 195 illetve $235\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os talphőmérsékletet mértek. Az hőtermelés $4\text{ MW}_{\text{hő}}$ volt és egy 30 napos periódusban elérte a $10\text{ MW}_{\text{hő}}$ -t is (Brown 2009).

A mélyben lévő forró, magmás vagy átalakult kőzetnek minimális a porozitása, ezért általában szükség van a porozitás és a kőzetek permeabilitásának növelésére. A *hidraulikus rétegrepesztés* során a mélységi kőzetbe nagynyomású vízbesajtolás történik, melynek következtében a hidraulikus nyomás hirtelen megemelkedése miatt a korábban összezárt repedések megnyílnak és egy mélységi rezervoárt hoznak létre. Később a víz ezekbe a repedésekbe hatol be, átveszi a kőzet hőenergiáját, majd a felszínen ezt a hőenergiát hasznosíthatjuk. A vizet a kitermelőkútban a felszínre szivattyúzzák, majd gőzzé alakítva elektromos áram termelésére fordítják. A réteg használata során nagyon kevés energiavesztést szenved, így a leghatékonyabb módszernek nevezhető (Mádlné 2006).

Hazánk területén a leginkább ezen technológiára alkalmas régió az ország D-i, DK-i része, ezen belül is főként a dél-alföldi területek: a Dráva, Makó, Békés, illetve Nagykovács és Derecske vidéke. Ezekben a régiókban a mélybe zökkent „alaphegység” anyaga kedvező esetben gránitos, mélysége 4000 méter közeli, a közethőmérséklet legalább $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, és a területen a földrengések sem gyakoriak (Mádlné et al. 2008)

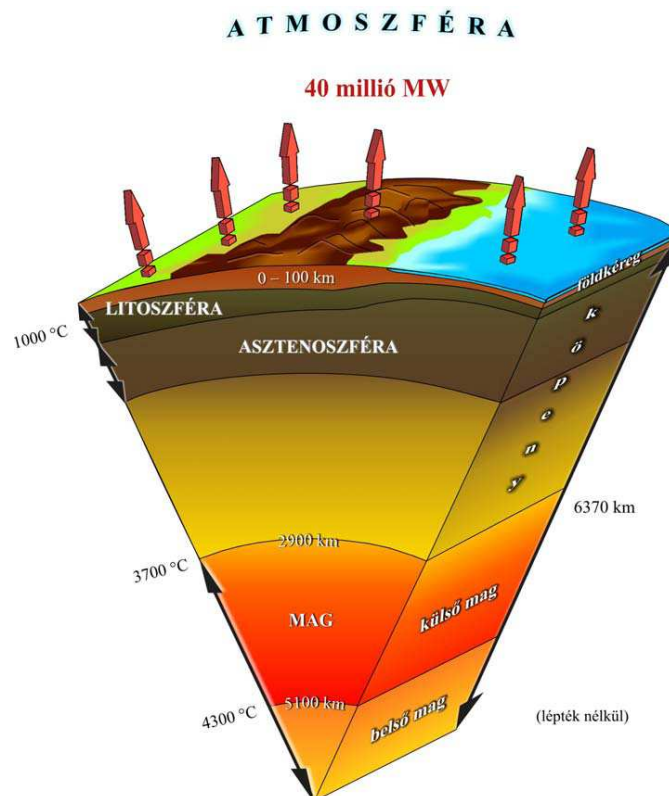
Elterjedése azonban hasznosításban elért sikerei ellenére sem kiemelkedő, mert nagyon drága technológia, jelenleg is kutatási és fejlesztési szakaszban van, különleges szaktudást igényel. A fúrásokhoz *nagy mélységkapacitású fúróberendezés* és *nagy keménységű gyémántfúrók* szükségesek (csúcstechnológia), a furadékot a felszínre szállító *fúróiszap stabilitása* kétséges lehet (a folyamatos felhasználás miatt) és a *különleges anyagok* használata a nagy nyomás és hőmérséklet miatt nehézségeket okozhat.



3.10. ábra: A Hot Dry Rock technológia működési elve (www.geothermal-resources.com.au)

4. GEOLÓGIAI HELYZET ÉS ADOTTSÁGOK

A geotermikus energia a Föld belsejének hőtartalékát jelenti, ami döntően a földkéregben koncentrálódó hosszú felezési idejű radioaktív elemek bomlási hőjéből származik (Mádlné 2006). Az energiatermelésre, fűtésre és ipari gőztermelés, illetve mezőgazdasági energiatermelés céljára használható geotermikus energia tiszta és megújuló energiaforrás, ráadásul a Föld hője hozzáférhető a nap és az év bármely szakában, szemben a szél- és a napenergiával, melyeknek kihasználhatósága adott földrajzi helyen számos tényezőtől függ. A geotermikus forrásból nyert energia tehát valamennyi megújulónál megbízhatóbb. Nagy előnye a többi megújulóval szemben, hogy *állandóan rendelkezésre áll, független az időjárástól*, így rugalmasan alkalmazható, akár alapteljesítményre, akár csúcsidőben. A Föld belsejéből állandóan áramló hő 40 millió MW teljesítményt jelent (4.1 ábra). Egy megawatt megközelítőleg ezer háztartás energiaszükségletének fedezésére elegendő (ENER handbook 2012).



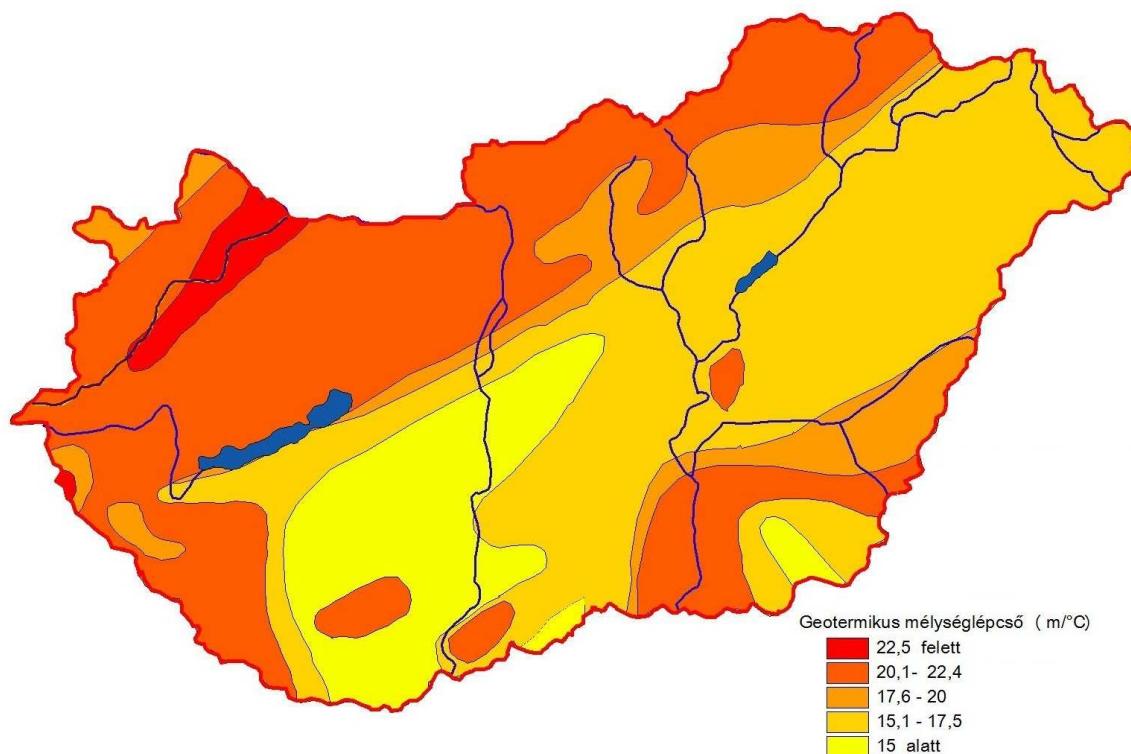
4.1. ábra: A Föld belső szerkezete és hőmérséklete (Mádlné 2006)

A geotermikus energia a felszín és a földkéreg, földköpeny mélyebb tartományai közötti hőmérsékletkülönbség miatt a Föld felszíne felé igyekszik, de felhasználás hiányában felemésztyődik, illetve elnyelődik az atmoszférában. A termikus energia

hővezetéssel, hőkonvekcióval illetve hősugárzással adódik át a közegek között. (A hővezetés során anyagáramlás nélküli hőátadás történik, ez főként a földkéregben és a litoszférában jellemző. Az asztenoszférára jellemző a hőkonvekció, ami a hő szállítódása szilárd, folyékony – felszín alatti vízáramlás ill. magmaáramlás - vagy gáznemű anyag révén. A hősugárzás során az elektromágneses energia emissziója és abszorpciója folyamán történik hőszállítódás.)

A Föld belsejéből származó hő eloszlása a Föld különböző területein nem egyenletes. Pozitív anomália figyelhető meg azokon a helyeken, ahol a köpenyből, ill. kéregből származó kőzetolvadék megközelíti a felszínt, vagy közvetlenül kijut oda. Utóbbit vulkáni területeken, így aktív szubdukciós zónákban, forró foltok térségében, illetve óceánközépi hátságok mentén figyelhetjük meg (Mádlné 2006). A hő kiáramlása tehát a geológiailag aktív térségekben, így a kőzetlemezek határain, illetve a jelentősen elvékonyodott kérgű területeken a legnagyobb. Ilyen területre esik a Kárpát-medence, így Magyarország is.

A Föld hőjét hordozó fluidumok jelenlétének legfontosabb oka esetünkben a Kárpát-medence átlagon felüli geotermikus grádiens értéke. Az ilyen fajta nagy kiterjedésű geotermikus anomália egyedülálló Európában, kiterjedését és értékét tekintve világviszonylatban is jelentős. Magyarországon a geotermikus grádiens átlagosan $5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (4.2 ábra), ami mintegy 1,5-szerese a világátlagnak (Liebe 2002a). Ennek oka, hogy a Kárpát-medencében a földkéreg mindössze 24-26 km vastag, vagyis 10 km-rel vékonyabb a szomszédos területekhez képest. A geotermikus grádiens a Dunántúlon és az Alföldön nagyobb, a Kisalföldön és a hegyvidékeken pedig kisebb. Budapest területe még inkább eltér az átlagtól. Itt 8-14 méterenként emelkedik $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot a hőmérséklet, ennek oka az országon északkelet–délnyugati irányban végighúzódó és a fővárost átszelő budai termális törésvonal. A Kárpát-medence felszín alatti vizekben, ásványvízben, hévízben, karsztvízben is gazdagnak mondható (Liebe 2002a).



4.2. ábra: Hazánk geotermikus mélységlépcső (geotermikus gradiens reciproka) viszonyai
(saját szerkesztés, módosítva tudasbazis.sulinet.hu nyomán)

A Kárpát-medence kéregszerkezete igen bonyolult. Bulla – Mendöl (1999) szerint a fiatal (harmad-negyvedidőszaki) medencefejlődés eredményeként vetővonalak hálózák be, amelyek mentén számos helyen magas ásványianyag-tartalmú, illetve melegvizű források egész sorozata bukkan a felszínre. Ezek vize részben a földkéreg mélyebb rétegeiből származó juvenilis víz, részben leszivárgott csapadékvíz. Természetesen ilyen forrásvizekben a hegységkeret, elsősorban az ÉNY-i és Keleti-Kárpátok is gazdag, de Magyarország gyógy-és hévízkészlete világviszonylatban is jelentős, európai viszonylatban pedig egyedülálló.

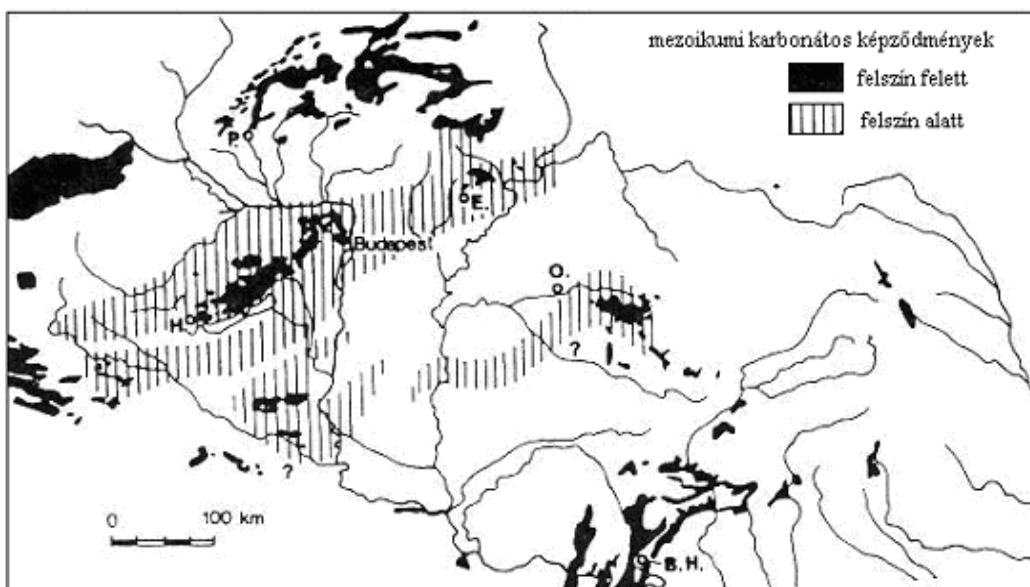
4.1. A geotermikus energia „tárolói”

A kitermelhető forró víz, illetve gőz az ún. vázidombban helyezkedik el, a karbonátos, ritkábban magmás, ill. medencekitöltő laza üledékes, porózus kőzetekben, kitöltve a hézagokat. A felszín alatti vizek fontos kialakító tényezője a kőzetek ásványos összetétele, hiszen a vizek a kőzetben való szivárgás során veszik fel az oldott anyagokat. Meghatározó a víz felszín alatti tartózkodási ideje, egy bizonyos időnek ugyanis el kell telnie, hogy a vizek vegyi egyensúlyba kerüljenek az őket bezáró kőzetekkel (Borszéki 1979).

A vázidomok csoportosítása főként a kőzetek eredete, valamint szerkezeti és kőzetfizikai tulajdonságaik alapján történik. A Kárpát-medence területén az üledékes kőzetféléseknek van a legnagyobb jelentősége, különösen a középhegységek mezozoikumi karbonátos kőzetei és a pliocén-pleisztocén törmelékes üledékes kőzetek fontosak.

A mezozoikumi karbonátos képződmények közül a fő víztárolókat a felső-triász mészkövek és dolomitok jelentik. Ezek felszíni elterjedése viszonylag szerény, de fiatalabb képződményekkel fedetten már összefüggő régiókat képeznek. Felszín felett csak foltszerűen találhatók, ám a mélyben DNy - ÉK irányban végigvonulnak nemcsak középhegységeink térségében, hanem fiatal medenceüledékekkel fedve gyakorlatilag az egész országon (Liebe 2002a).

A triász időszaki víztartók a karsztosodási folyamatok során létrejött hasadékok és törések mentén igen jó vízvezetők. A felszínre bukkanó karsztos kőzetekbe a csapadék gyorsan szivárog be, ezért a karsztvizek utánpótlása igen jó. Ezeket a területeket is több helyen rossz vízvezető, törmelékes medenceüledékek takarják, vastagságuk néhol elérheti a több km-t. A hegységperemeken és a medenceterületek alatt található karsztos képződményekből a beszivárgott víz nagyobb része hideg vagy langyos karsztforrásokban, kisebb része hévforrásokban (Hévíz, Budapest, Eger stb.) lép a felszínre (Liebe 2002a). A mezozoikumi karbonátos képződmények elterjedése a 4.3 ábrán látható.



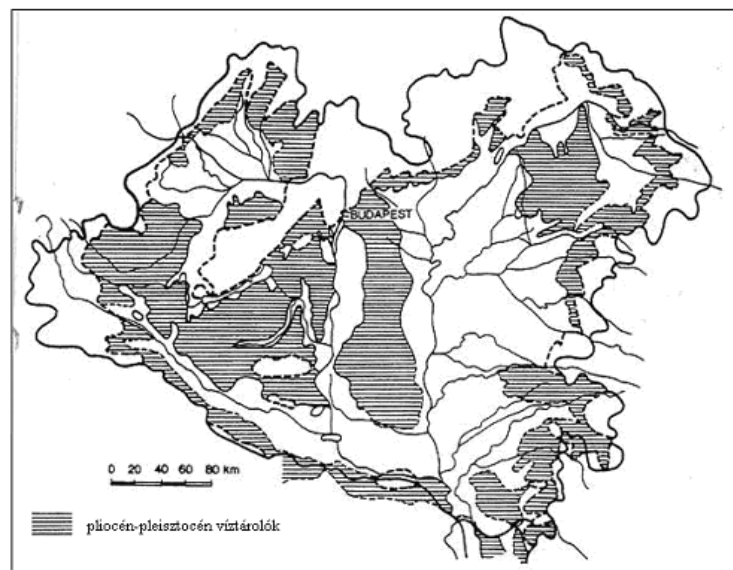
4.3. ábra: A mezozoikumi karbonátos képződmények elterjedése a Kárpát-medencében
(Liebe 2002b, In: Karátson 2002)

A másik üledékes hévíztároló kőzetek a felső- és alsó-pannon homokos üledékek. A leginkább vízvezető, víztartó képződmények a törmelékes medenceüledékek durvább szemű homokos, kavicsos rétegei (Liebe 2002a). Ilyen homokos üledékek nagy területen (az ország háromnegyedén) vannak hazánkban, és vastagságuk is igen jelentős (4.4 ábra). A tárolásra azok a homokrétegek a legalkalmasabbak, amelyek a késő pannon elején rakódtak le. Vizük tiszta, ivóvíz minőségű, mert ekkorra a Pannon-beltenger vize már teljesen kiédesedett.

A felső-pannon hévíztárolók gyakran jelentős mennyiségű kőolajat és földgázt is tartalmaznak. A hévízadó kutak egy részét is a szénhidrogénkutatásnak köszönhetjük (Juhász Á. 1983). A pannon rétegekben tárolt hévizekből a Frisnyák (1988) által közölt számítás szerint elméletileg mintegy 500 milliárd m³ termelhető ki.

A felső- és az alsó-pannon rétegek határán kifejlődött legjobb porózus víztartó rétegekből egy-egy kúttal percenként legalább 400-500 liter hévizet lehet nyerni.

Az alsó-pannon, a miocén és oligocén képződmények porózus rétegei víztartás szempontjából nem jelentősek. A homokrétegek szemcsemérete túlságosan apró, ezért rossz az áteresztőképességük, és a vízhozam is kevesebb, percenként 50-60 liter (Beltéky 1977). A pannóniai homokos és a triász időszakos mészköves, dolomitos, karsztos hévíztárolók mellett az egyéb kőzetek mint hévíztárolók alárendelt szerepet játszanak (Juhász Á. 1983).



4.4. ábra: A pliocén-pleisztocén víztároló képződmények a Kárpát-medencében
(Liebe 2002b, In: Karátson 2002)

A termális anomália területei a földfelszín azon tartományaira esnek, ahol a termáljelenségek – földi hőáram, geotermikus grádiens – fokozottabb mértékben jelentkezik. A termáltárolók (rezervoárok) a termálrendszernek azon részei, amelyek belső energiatartalma valamilyen telepfolyadék (víz vagy gőz) segítségével a felszínre hozható. A vázidomok csoportosítása főként a kőzetek eredete, valamint szerkezeti és kőzetfizikai tulajdonságai alapján történik (Sembery-Tóth 2004). Mindezek alapján megkülönböztetünk (1) természetes termálrezervoárt, ezen belül *konduktív hőárammal* fűtött tárolókat, (2) *termokonvekcióval* fűtött tárolókat, továbbá (3) mesterséges geotermális tárolókat forró száraz kőzetben.

(1) A természetes termálrezervoárok kellően nagy kiterjedésűek, jellemzőjük a megfelelő porozitás és permeabilitás. A *konduktív hőárammal* fűtött tárolók esetében a belsőenergia utánpótlása vezetékes (konduktív) módon történik, viszonylag kisebb intenzitással, lineáris, vagy szakaszosan lineáris mélység szerinti hőmérséklet-eloszlással. Egyes helyeken a földkéreg helyi elvékonyodása, vagy az egyes kőzetfajták eltérő hővezetési tényezői anomáliákat okozhatnak. A $100\text{--}120\text{ mW/m}^2$ (a Földi átlagos hőáram alig 60 mW/m^2) teljesítménysűrűségű földi hőáram, ill. $6\text{--}8\text{ }^\circ\text{C/m}$ értékű geotermikus grádiens esetében már gazdaságosan lehet termálvizeket kitermelni (Sembery 2004). A ma ismert legnagyobb kiterjedésű, 200 m átlagos vastagságú és 40000 m^2 kiterjedésű ilyen rezervoár az Alföld felső-pannon homokos üledékrétegeiben található.

(2) Nagyobb vulkáni aktivitással bíró területeken előfordulnak *termokonvekcióval* fűtött rezervoárok, ahol a termális anomáliát többnyire egy, a felszínhez közeli ($<3\text{ km}$) aktív magmabenyomulás okozhatja. A nagy hőmérsékletű, akár $1200\text{ }^\circ\text{C}$ -os magma felfűti a környezetet, és 1 W/m^2 hőáramot közvetít a felszín felé. Ha a környezetet üledékes kőzetek alkotják, amelyek hővezetési tényezője kicsi ($2\text{ W/}^\circ\text{Cm}$), akkor itt a mélységgel együtt nagyon gyorsan nő a hőmérséklet. A nagy hőáramot a kőzet nem tudja vezetéssel átadni, ezért konvektív energiatranszport alakul ki. A konvekcióhoz jellemzően nagy permeabilitás (1 darcy), a tároló elegendően függőleges irányú mérete, és lehetőség szerint hidegvíz utánpótlás is szükséges, mert ekkor az erőteljesebb fluidummozgás több belső energiát juttat a felszín közelébe (Sembery 2004). A rezervoárokból kisebb mélységű, nagy átmérőjű fúrásokkal olcsóbban lehet termelni.

(3) A mai műszaki lehetőségekhez mérten a villamos energia gazdaságosabb előállításához legalább $150\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű víz vagy gőz szükséges. Ezt az alsó határnak nevezhető hőmérsékletértéket azonban a ma ismert tárolóknak csak 2 %-a éri el, sőt

legtöbb esetben a kőzettest egyáltalán nem tartalmaz fluidumot vagy gőzt (Sembery 2004). Ilyenkor a megfelelő mélységtartományban egy mesterséges tároló létrehozásával a forró kőzettestben (Hot Dry Rock – HDR) repedésrendszert hoznak létre, töredezetté téve az addig impermeábilis kőzetet, és az oda levezetett, majd a mélyben felmelegedett vizet hasznosítják. Legfontosabb feltételek a min. 200 °C-os kőzethőmérséklet, a nagyon kis permeabilitás ($<10^{-6}$ darcy), valamint jó hővezetőképesség ($> 4 \text{ W/}^{\circ}\text{Cm}$) és nem túl nagy mélység is szükséges (Sembery 2004).

5. KÖRNYEZETI TERHELÉSEK - A FENNTARTHATÓ TERMÁLVÍZ-KITERMELÉS

A földhő-hasznosítás kérdését érdemes környezetvédelmi oldalról is megtárgyalni, hiszen a domborzati, tájképi, mezőgazdasági és esztétikai károk megléte egyértelmű tényként jelenik meg a különböző vizsgálatokban. A föld mélyéről kivett vízzel megbolygatunk egy évmilliók óta létező rendszert, jelentős változásokat indítunk el, melyek sosem hozhatók helyre száz százalékosan. A változások, és így az esetleges károk mérséklésére csak akkor van lehetőség, ha fenntartható módon, nagy odafigyeléssel látunk neki a földhőt hasznosító rendszerek telepítéséhez és üzemeltetéséhez.

A változó környezet és a technológiai fejlesztések szinte előirányozzák a jogszabályok, rendeletek módosítását. A legtöbb esetben azonban nincs megfelelő hatóság, vagy felsőbb szervezet, mely összefogná, koordinálná és szabályozná a termálvizekhez kapcsolódó döntéseket.

A fontosabb problémák közé tartozik a vízszintsüllyedés, a tárolók felgyorsuló tömörödése, a felszínsüllyedés, hiszen ha bizonyos mennyiségű vizek kitermelünk a rezervoárokból, akkor ott anyagihiány keletkezik, ami hosszabb távon felszínsüllyedést is előidézhet. Ez hatalmas anyagi károkat is okozhat egy több millió forintos, geotermikus energiaellátásra épült beruházás (épületek, gyárak) esetén (O'Rourke – Ranson, 1979).

Valamely geotermikus létesítmény megvalósításakor érdemes megvizsgálni a földhőt hasznosító berendezés környezetre gyakorolt hatásait, a működés közben létrejövő esetleges szennyezéseket, és ezek alapján, ezzel párhuzamosan elkészülhet egy tervezet, mely rögtön minimalizálni próbálja a várható problémákat. A hulladékkezelés, a zaj-, rezgés- és sugárzásvédelem, valamint a levegőminőség, a talajminőség, illetve a felszíni és felszín alatti vizek minőségének védelme érdekében határozott szabályozásra van szükség.

A geotermikus projekteknél már a kezdeti fázisban, a kutatási és mérési feladatok közben felmerülhetnek az első gondok, hiszen a geofizikusok illetve geológusok munkája némileg megzavarhatja a helyi lakosság életvitelét. A fúrási munkálatok során jelentkező zajhatás zavaró lehet a környékbeli lakosság számára. A kútkiképzés a mai technológia szerint gyorsan és hatékonyan végezhető művelet, de sajnos rengeteg zajjal jár. A munkagépek és a fúróberendezések, valamint a fúráshoz szükséges iszap zavarhatják a helyieket. Helyigényük jóval kisebb, mint más erőműveké, és a felszínen látható kútfejek,

kútfejzárások („karácsonyfák”), esetleges hőcserélők és csővezetékek minimális *látképrombolást* okoznak.

Kutatómunkám során lehetőségem nyílt a szolnoki MÁV Kórház éppen most folyamatban lévő geotermikus beruházásának helyszíni szemléjére. A munkálatok október közepén éppen a kitermelő kút lezárásánál és a visszasajtoló kút fúrásánál tartottak. Az Aquaplus Zrt. mint kivitelező a fúrási munkálatok során rendszeres összetűzésbe került a kórház melletti társasházban lakó idősokkal, akik a pár napig folyamatosan dolgozó fúrógép zajától nem tudtak aludni. A *zajszennyezés* szempontjából a közvetlen hőhasznosítású beruházások esetén tehát egyértelműen a fúrási fázis a legrosszabb. Bár az időszakos zajszínt elvileg ilyenkor sem haladja meg a 80 dB-t, a kivitelező cég zajvédő fal felállításával ezt tovább csökkentheti. Üzemeltetés során minimális zajhatással kell csak számolni.

A *levegőszennyezés* szempontjából a földhő felhasználása minimális szennyezőanyag-kibocsátással jár. Az ugyanekkora energiamennyiség kinyeréséhez szükséges fosszilis energiahordozókat felhasználó berendezésekhez képest a szennyezőanyag-kibocsátásuk nem számottevő. A szén-dioxid, kénhidrogén, ammónia, továbbá higany, bór, metán, hidrogén és radon változó mennyiségben fordulnak elő, így a határértéket át nem lépő mennyiségben nem ártalmasak.

A *vízminőségre és talajminőségre* gyakorolt hatások egy geotermikus létesítmény esetén összefüggenek, így érdemes őket együtt tárgyalni. A kitermelt vizet hasznosítás után sokszor felszíni vizekbe, folyókba vezetik. A felhasználás után elfolyó használt melegvíz a felszíni vizek, tavak, folyók hőmérsékletének 2-3 °C-os emelkedését okozhatja. A *hőszennyezés* miatt a magasabb hőmérsékletre érzékeny élőlények élettere beszűkülhet, így a probléma továbbgyűrűzéseként felborulhat egy tápláléklánc, ami akár egy egész élőhely, vagy ökoszisztéma összeomlását idézheti elő. A felszíni és felszín alatti vizeink szoros összefüggésben vannak egymással, az egyikben okozott kár a másikban is jelentkezik. Vizeinket tekintve pedig jellegzetes „tranzitország” vagyunk, ami azt jelenti, hogy vízkészleteink mind mennyiségileg, mind minőségileg döntő mértékben függenek a szomszédos országokban tett beavatkozásoktól. Így mindenki számára fontos egy olyan korszerű, átfogó intézkedési program összeállítása, mely nem csak hazai, hanem akár EU-s szinten is szabályozza a termálvizek hasznosítását és visszatáplálását.

6. A TERMÁLVÍZ-VISSZASAJTOLÁS

Figyelembe véve az előbb felsoroltakat, úgy gondolom, hogy a hasznosítás, az üzemeltetés és a jövő szempontjából a legfontosabb kérdés a *termálvíz-visszasajtolás*, mely a gyakorlatban sajnos többnyire csak megoldásra váró problémának tekinthető.

Az élővízbe való visszatáplálás nem mindig megoldás; a magas sótartalmú, illetve egyéb szennyezőanyagokat tartalmazó víz esetenként kárt tehet az élővilágban. A felszíni vízbe történő bevezetés feltétele a megfelelő mértékű víztisztítás. A tisztítási eljárások, valamint a szükséges eszközök, berendezések a vízelőkészítés, illetve a szennyvíztisztítás területén már ismertek és kidolgozottak (Hora 2012).

Persze létezik pozitív példa is. Izlandon két geotermikus mező hatástanulmányában megállapították, hogy a termálvíz felszíni elhelyezése akár javíthatja a közeli tóban élő halak életfeltételeit. A Nesjavellir mező közelében lévő Thingvallavatn-tó számos állatfajnak nyújt biztonságos és kellemes lakóhelyet. Az erőművi felhasználás után a vizet keresztülengedik egy gáztalanító berendezésen, ami eltávolítja a káros gázokat a folyadékból, valamint tisztításnak is alávetik. A Svartsengi geotermikus mező világhírű termáltava, a Blue Lagoon az erőmű kifolyó vizét használja, és népszerű gyógyászati és rekreációs központ lett. A kifolyóvíz igen gazdag szilíciumban, amely a fürdő vizének tejes kék színét adja (6.1 ábra). A Svartsengi geotermikus erőmű egyébként 12 MW elektromos áramot és 125 MW hő energiát termel, ezt a közeli városok és a közeli Keflavík nemzetközi repülőtér kifutópályáinak fűtésére és jégtelenítésére használják (Bodó 2004).



6.1. ábra Blue Lagoon, Svartsengi geotermikus mező, Izland (fotó: Karátson D.)

Hazánkban az Alföldön több termálkút esetében történnek próbálkozások a kifelől víz felszíni vízben történő „felhasználására”, halastavak telepítésére, madarak számára létrehozott élőhely kialakítására, természetesen az ökológiai egyensúly megtartásának figyelembe vételével.

Felszín alatti vizekbe történő visszatáplálás esetén, ha az nem a megfelelő rétegekbe történik, a rétegnyomás és a vízkészlet is lecsökken, ami a további kitermelést is megakadályozza. A visszasajtolást feltétlenül meg kell oldani, különben komoly problémákkal kell szembenézni. Ez okoz ugyan többletköltségeket, de hosszú távon előnyös lehet, és fenntartható termelést biztosít (Hora 2012). Az erőművek működésekor keletkezett hulladékhő kezelése ugyanis fontos kérdés. Előfordulhat, hogy hűtőtornyokba vezetve történik a víz hőmérsékletének csökkentése, ám ennél jobb megoldás a kaszkád rendszerű felhasználás. Ha az elhasznált termálvizet nem sajtolják vissza, az esetenként jelentős hőszennyezést jelenthet a környezetre. A hőszennyezés kérdése azonban relatív, hiszen a termálvizek nagy részét télen hasznosítják (és sajtolják vissza), amikor egyébként is kisebb az ökológiai aktivitás, de hőszennyezés ettől még létező probléma, viszont sajnos nincs olyan átfogó tanulmány vagy vizsgálat, mely a jelenlegi, meglévő kutakról szólna, csak ezután lehetne levonni pontos következtetéseket.

A visszasajtolás nem csak a hőszennyezés elkerülése végett lényeges kérdés. A kitermelést, vízkivételt követően csökkenhet a vízutánpótlás. A rendszerváltás előtti időszakban a kitermelés mértéke sokkal nagyobb volt, mint a természetes utánpótlódás, az átlagos vízszint rohamosan csökkent. Majd a piaci átalakulás következtében történő gyárleállások, piacmegszűnések miatt csökkent a kitermelés, stabilizálódott a vízszint, és a 2000-es évek után úgymond egyensúly állt be, kb. ugyanannyit termelünk ki, mint amennyi utánpótlódik. Zárt rendszerek esetén, ahol nehezebb az utánpótlódás (pl. a zalakarosi rendszer) mindenképpen szükség van visszatáplálásra, hiszen egyéb úton, emberi időskálán nem történik meg.

Ha a vízáadó réteget túltermelik, kialakulhat egy rétegnyomás-csökkenés, mely kisebb földrengésekhez, nagy depresszió esetén pedig felszínsüllyedéshez is vezethet. Felmerülhet a kérdés, hogy a vízvisszasajtolás is okozhat-e hasonló mikro-rengéseket, de az olaszországi, larderellói tapasztalatok szerint a visszatáplálás nem vezet rengésekhez, bár növelheti az ilyen jellegű események esélyeit (Mádlné 2006).

6.1. A termálvíz-visszasajtolásról törvényi szabályozása Magyarországon

Egyértelművé vált, hogy a fenntartható vízhasznosításhoz elengedhetetlen az új törvényi szabályozások által is szorgalmazott vízvisszasajtolási kötelezettség. Ezek alapján a termálvíz visszasajtolásról ma Magyarországon törvény rendelkezik.

A visszasajtolás törvényi oldalát az elmúlt több mint két évtized tükrében kell vizsgálnunk. Az 1995. évi LVII. vízgazdálkodásról szóló törvény még nem tartalmazta a visszasajtolási kötelezettséget, majd a 2003. évi módosítása szerint, zárt rendszerben történő energetikai hasznosítás esetében már kötelező volt visszasajtolni. A 2009. december 17-én hatályba lépett újabb módosítás pedig a 2009. szeptember 30-án jogerős vízjogi üzemeltetéssel rendelkező létesítmények esetében adott felmentést.

15. § (3)⁶⁵ „Az ásvány-, gyógy- és termálvizek felhasználásánál előnyben kell részesíteni a gyógyászati, illetve a gyógyüdülési használatot. *A kizárólag energiahasznosítás céljából kitermelt termálvizet, a (3a) bekezdésben foglalt kivétellel - a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló rendeletben megfogalmazottak szerint - vissza kell táplálni.* A vízügyi hatósági feladatokat ellátó szerv - a 2009. szeptember 30-án jogerős vízjogi üzemeltetési engedéllyel rendelkező, energiahasznosítási célú termálvíztermelés esetében - kérelemre engedélyezi a visszatáplálás mellőzését [...]”

(3a)⁶⁶ „A mezőgazdasági termelés területén, kizárólag energiahasznosítás céljából a termálvíz, a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról szóló rendeletben meghatározott feltételekkel visszatáplálási kötelezettség nélkül kitermelhető. A visszatáplálási kötelezettség mellőzésével történő kitermelést a vízügyi hatósági feladatokat ellátó szerv kérelemre engedélyezi.”

A jogszabályok a termálvizeket hasznosításuk alapján három osztályba sorolják. Az első osztályba a gyógyvizeket hasznosító létesítmények, gyógyfürdők tartoznak, melyek nemcsak gazdasági szempontból fontosak, de hazánk nemzeti értékeit képviselik. Ebben az esetben a jogszabályok alárendelik a gazdasági és egészségvédelmi előnyöket a gyógylétesítmények hírnevének, így a szennyezőanyag-kibocsátást nem kötik szigorú feltételekhez. A gyakorlatban persze ezzel ellentétes példát is találunk, hiszen a Bükkszéki Gyógyfürdő esetében az üzemeltetőknek jelentős összegeket kell fizetniük a víz magas

fenoltartalma miatt, mely bőrrel érintkezve maró hatású, valamint lenyelve és belélegezve mérgező anyag (Tóth Gy. 2012, személyes közlés).

A második osztályba soroljuk a *termálfürdőkben* hasznosított vizeket, melyek bizonyított gyógyhatással nem rendelkeznek. A harmadik osztályba tartozó *energetikai* célú felhasználás esetében a termálvíznek csupán a hőtartalmát hasznosítják. A hasznosítás során szennyezőanyag nem kerül a vízbe, így a víz kémiai és biológiai jellemzői nem módosulnak. Tehát csak ezen legutóbbi eset ad lehetőséget a vízadó rétegbe történő visszasajtolásra. Visszasajtolás esetén nem kell fizetni a kötelező vízszennyezési bírságot és a vízkészlet-járulékot. Kivételt képeznek a mezőgazdasági célra felhasznált termálvizek, a kertészetek, melyek a jelen gazdasági feltételek mellett nem tudnának gazdaságosan működni a visszasajtolási kötelezettség mellett.

2004-ben kormányrendeletben már a víz minőségi és mennyiségi védelmével kapcsolatban is születtek döntések. Majd 2010-ben ennek módosítása történt. A 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet szerint:

15. § (1) „A felszín alatti vizet - az e törvényben foglaltak figyelembevételével - csak olyan mértékben szabad igénybe venni, hogy a vízkivétel és a vízutánpótlás egyensúlya minőségi károsodás nélkül megmaradjon, és teljesüljenek a külön jogszabály (221/2004-es Korm. rendelet) szerinti, a vizek jó állapotára vonatkozó célkitűzések elérését biztosító követelmények.”

A magas költségek és a türelmi időszak figyelembe vételével a termálvizet kizárólag energetikai hasznosítás céljából kitermelők a visszatáplálási kötelezettség alól mentességet élveznek. Eltérés van a vízadó víztestek mennyiségi állapota alapján: a gyenge vagy romló mennyiségi állapotúnak minősített víztestek esetében 2014. december 22-ig, míg a jó mennyiségi állapotúnak minősített víztestek esetében 2020. december 22-ig kell megoldani a visszasajtolás problémáját (Tóth Gy. 2012, személyes közlés).

A jelenleg érvényben lévő legfrissebb kormányrendeletet 2012. júliusában hozták (156/2012. (VII. 13.) Korm. rendelet az egyes vízügyi tárgyú kormányrendeletek módosításáról). Ebben módosították a korábbi 2010-es rendeletet, valamint a mezőgazdasági termelők lobbi tevékenysége miatt – mely szerint túl költséges a visszasajtolás – további felmentéseket határoztak meg. A földhőt több mint 50 %-ban a mezőgazdasági termelés területén felhasználó kertészetek 2015. június 30-ig mentesülnek a visszatáplálási kötelezettség alól, utána nekik is vissza kell sajtolni.

A megoldásra tehát elviekben megvannak a törvényi rendelkezések, ezek betartása okozza a problémát. Egy termálkúthoz legalább 2-3 visszasajtolót kellene építeni, hogy a kitermelt víz megfelelő rétegek közé kerüljön, és újra kivehetővé váljon. A visszatápláló kutak kialakítása egyenként 200-300 millió forintba kerülhet. A kutak elkészítésénél figyelni kell arra, hogy a vízkivétel és visszatáplálás ugyanabba – vagy a vele kapcsolatban lévő – vízrétegbe történjen. A mai beruházások többségénél olcsóbb nem visszasajtolni, és inkább kifizetni a büntetéseket, mert magasak a kútépítés költségei és nem gazdaságosak a visszasajtolási lehetőségek, a bányatörvények nem teszik lehetővé az egyértelmű lehatárolást, ami sok felesleges vitát, további problémákat idéz elő.

Feltehetőleg az elkövetkezendő években – a mentességi határidők lejártával – a visszasajtolás kötelezővé és remélhetőleg általánossá válik, emiatt is fontos megértenünk, és folyamatosan vizsgálnunk ezt a témát, hogy egy hazánk geotermikus potenciáljához megfelelő és azt kiszolgáló, fenntartható visszatáplálási rendszert hozhassunk létre.

6.2. A visszasajtolás fontossága és a lehetséges káros hatások

6.2.1. A felszín alatti vízkészletek mennyiségi egyensúlyának fenntartása

A felszín alatti vizet csak olyan mértékben szabad igénybe venni, hogy a vízkivétel és a vízutánpótlás egyensúlya minőségi és mennyiségi károsodás nélkül megmaradjon. Tehát a kitermelés következtében a vízáadó rétegben ne jelentkezzen tartós vízszintsüllyedés, illetve a termelés fenntarthatóságának biztosítása érdekében még sokáig lehessen folytatni a földhő kinyerését.

A vízvisszatáplálás lehetséges módjai szerint a vízáadó rétegbe, vagy a vele, jó hidraulikai kapcsolatban lévő rétegbe kell visszasajtolni. Ilyen feltételek mellett a kitermelő és a re-injektáló kútnak viszonylag közel kell lennie egymáshoz. A túlzott közelség azonban újabb problémát vethet fel, ugyanis a hidegebb víz visszasajtolásával általános hűlést idézünk elő a rezervoárban, ami a későbbiekben potenciál csökkenéshez és a geotermikus rendszer tönkremeneteléhez vezethet. Ha a visszatáplálás az adott víztermelési helytől távolabb (min. 200 m-rel) történik, akkor kiküszöbölhető a probléma, és nem valószínű a hűtési mechanizmus (Tóth Gy. 2012, személyes közlés). Előfordulhat, hogy a két kút végül túl távol helyezkedik el egymástól, vagy nincs megfelelő hidraulikai kapcsolat a két víztest között, ilyenkor negatív vízháztartási következményként visszatáplálás nélküli helyzet állhat elő.

6.2.2. A rétegek fizikai fenntarthatósága, a készlet és rétegnyomás csökkenés

A második legfontosabb feladat a rétegek fizikai fenntarthatóságának a megőrzése úgy, hogy a vízkészlet, és ebből eredően a rétegnyomás csökkenését megakadályozzák. A kivett víz után a mélyben hiány keletkezik, de a víztározók hidrodinamikai egyensúlyát több évtizedre kell biztosítani, így azt a visszasajtolással kell megoldani.

A visszasajtoló kút szűrőzött szakaszainak környezetében a hirtelen hőmérséklet-csökkenés és nyomásnövekedés miatt a kőzetek tönkremeneteli állapotba kerülhetnek. Nagy szilárdságú homokkő rezervoároknál a megnövelt pórusnyomások hatására a kőzetekben repedések jöhetnek létre, melyek a kút körüli lehűlt zóna kiterjedésével egyre jobban behatolnak a kőzetbe. A repedések kialakulása felgyorsíthatja a rezervoár lehülését (Jánosi-Mózes 2012). A HDR- technológia esetén ezt a fajta mechanizmust közvetlenül alkalmazzák, nagy nyomással és segítségként homokkal vagy kémiai ágensekkel repesztik a mélységi kőzeteket. Magyarország területén azonban nincs jelentősebb nagy szilárdságú homokkőtest, így e probléma természetes kialakulásától annyira nem kell tartani (Tóth Gy., 2012, személyes közlés).

6.2.3. A felszíni vizek szennyeződése

A hasznosítás után elvezett víz legtöbb esetben csatornába, felszíni vizekbe kerül, ezekben az esetekben a termálvizek oldottanyag-tartalma káros lehet az ökoszisztémára. A felszíni vizekbe engedett termálvizek nem indukálhatnak semmiféle vízminőségi változást, valamint az oldott komponensek nem haladhatják meg a meghatározott határértékeket. A felhasználás után elvezetett víz magasabb hőmérsékletű, mint a felszíni befogadók, ez például természetes tavak vagy mocsaras-lápos területek esetében okozhat komolyabb problémát, az élőlények számára a megemelkedett vízhőmérséklet már nem biztosítja ugyanazokat az életfeltételeket, a megváltozott környezet hatására kihalásveszély vagy elvándorlás léphet fel. Ezért megfelelő hűtőberendezésekkel kell hűteni a kifolyóvizet.

Ha felszín alatti rétegekbe sajtolnak vissza, akkor előfordulhat, hogy a betáplált víz kémiai összetétele – főleg, ha nem ugyanabba a rétegbe, csak a vele kapcsolatban lévő vízádóba táplálnak vissza – jelentősen eltér a rétegbeli víz összetételétől. Ez a probléma akkor okozhat gondot, ha egy visszatápláló kút közelében egy gyógyfürdő is található, melynek kitermelő rétegei kapcsolatban állnak a visszasajtoló rétegekkel, hiszen ekkor keveredés esetén a vízösszetétel, illetve az oldottanyag-koncentráció változhat meg, és a gyógyvíz mint nemzeti kincs kerülhet veszélybe. A pontos, erre irányuló vizsgálatok

hiányában persze ez is csak egy, a dolgozat készítése közben is sok helyütt tapasztalt probléma, de a visszasajtolás remélhető kötelezővé tételével már mindennapossá válhat.

A visszasajtolást megnehezítő vízkőképződés és a szűrőknél a finom szemcsék miatt kialakuló eltömődések, a kolmatáció, valamint a fent felsorolt káros következmények akkor jelentkeznek legkevésbé, ha a visszasajtoló víz összetétele, hőmérséklete és nyomása nagymértékben egyezik a befogadó réteg vizével (Tóth 2011). Az eltömődések következményeként egységnyi víz visszatáplálásához többletenergiára van szükség. A kútkörnyezet eltömődése a permeabilitás csökkenésének, illetve a vízben lévő szilárd alkotórészeknek köszönhető. Fontos tehát ügyelni arra, hogy a visszasajtolás során a vizek mind rétegtani helyzetükben, mind kémiai összetételükben azonosak legyenek, mellyel sok káros következmény elkerülhető.

6.3. A visszasajtolásra alkalmas kőzettestek

A visszasajtolás körülményeit alapvetően meghatározza, hogy milyen rezervoárba, kőzetrétegbe szeretnénk beszajtolni. A rétegtani viszonyok, nyomásértékek, sőt legtöbb esetben a külső természeti tényezők is fontos befolyásoló tényezők lehetnek. A visszatáplálás a különböző kőzetek esetében technikailag sikeresen megoldható, amennyiben a visszasajtolást alapos geológiai és hidrogeológiai kutatás, illetve gazdaságossági felmérések előzik meg.

Tudományos körökben folyamatos ellentét figyelhető meg a visszasajtolásra alkalmas és alkalmatlan kőzettípusokkal kapcsolatban. A mezőgazdasági üzemeltetők körében általánosan elterjedt felfogás a porózus homokkővekbe történő visszatáplálással kapcsolatban, hogy ilyen kőzetekbe technikailag nem megoldható a visszasajtolás, pedig hazánkban több mint 20 éve (Hódmezővásárhelyen), illetve a világ több országában is sikeresen visszasajtolnak porózus rétegekbe. Olyan szakmai vélemény is létezik, mely szerint, habár lehetséges a visszasajtolás homokkővekbe, ez túl drága eljárás, ami voltaképp a földhő gazdaságos hasznosítását vonja kétségbe (Jánosi-Mózes 2012). A gazdaságtalanság okát a magas (100 bar-os) nyomásigényben látják, de mint azt a hódmezővásárhelyi példa is mutatja, 1-2 bar nyomás elegendő lehet a visszasajtoláshoz.

A nemzetközi tapasztalatok szerint karbonátos kőzetekbe nagyobb hatékonysággal és tartósabban lehet visszasajtolni. E kőzettestek esetében nagyobb hézagokról beszélhetünk, a Föld mélyében sűrű repedéshálózatot találunk, és nagyon jó permeabilitást. A porózus

közetek esetében a kisebb részecskék és a tömörebb szerkezet miatt kisebb a porozitás az egységes közettestben, így itt nagyobb beszajtolási nyomásra lehet szükség (Tóth, 2011).

6.4. Hazánk visszasajtoló rendszerei – kutatási eredmények

A visszasajtoló rendszerek esetében meg kell különböztetnünk a sekély, illetve a mély porózus, valamint a mély karsztrendszereket, hiszen mind technológiájukban, mind jelentőségükben nagyon eltérnek egymástól. Kutatómunkám során az akkor még működő VITUKI Adattárában lévő 11 visszasajtoló kút vízföldrajzi naplójának áttanulmányozásával gyűjtöttem össze kutak adatait. Lehetőségem volt részt venni szemlélőként a szolnoki MÁV Kórház visszasajtoló kútjának létesítésekor, és a kút fúrási szakaszában, ahol a kivitelező Aquaplus Zrt. munkatársaival is beszéltem. A személyes interjúk során rengeteg olyan tapasztalathoz jutottam, melyeket a szakirodalomban nem találhatunk meg ilyen részletességgel. A kutatás során áttekintettem a sekély és a mély rendszereket, de lényegében a mély rendszerek nagy jelentősége miatt csak velük foglalkoztam átfogóan, és az adatbázisom is e mély rendszerű kutak adatait tartalmazza.

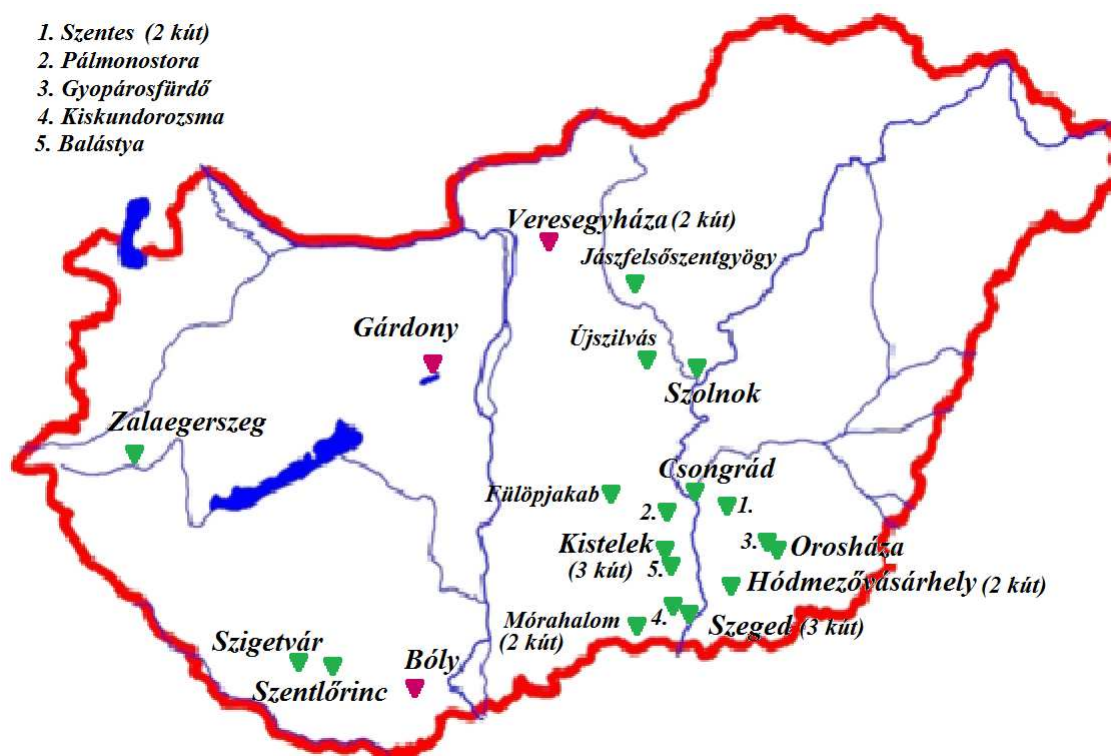
6.4.1. Sekély geotermikus rendszerek

A sekély rendszerek hazánkban 31 helyen, több mint 60 visszatápláló kúttal találhatók meg. Ezek a kitermelő kutak egy-egy ház, épület fűtését, melegvíz-ellátását szolgálják, mélységük a pár métertől maximum 50-60 méterig terjedhet, országos szinten kis jelentőségűek. A visszasajtoló kútban a szűrők helyzete a kitermelőréteggel egy mélységben található. Maga a visszasajtolás fiatal, így e rendszerek is legfeljebb 10-15 évesek, sőt legtöbbjük az elmúlt 3-4 évben létesült, ezért még nincsenek olyan megbízható üzemeltetésre vonatkozó tapasztalatok, melyek alapján a jövőre vonatkozó ajánlásokat tehetnénk. Magyarországon ott érdemes sekély rendszerű kitermelés-visszatáplálást végezni, ahol jelentős a vízhozam és magas a szivárgási tényező. Budapesten, Debrecenben és Győr mellett találhatjuk a legjelentősebb rendszereket. A hőpiac növekvő igényei és a beruházások egyre magasabb száma miatt ilyen kis mélységben is fontos figyelembe venni a kutak egymásra hatását. Ha ugyanis egy befektető eldönti, hogy kitermelő és visszatápláló rendszert hoz létre, akkor a hasznosított területre védelmet kaphat, amelyen más már nem folytathat hasonló tevékenységet. Ez a fajta korlátozás a budapesti termálkincs védelmét, és idő előtti, utánpótlódás nélküli kiapadásának megelőzését is szolgálja.

6.4.2. Mély geotermikus rendszerek

Mélyebb geotermikus rendszerek esetén már sokkal nagyobb költségekkel és kockázatokkal számolhatunk. A visszasajtolás szempontjából ezekben az esetekben kell érdemi vizsgálatokat végeznünk, hogy megérthessük a jelenlegi helyzetet, és felmérhessük a fejlesztési irányokat, lehetőségeket.

A geotermikus energia fenntarthatóságának biztosítása érdekében hazánkban égető probléma a visszasajtoló kutak kérdése. Kutatómunkám kezdetén világossá vált számomra, hogy a hazai rendszer „több sebből vérzik”. Jelenleg az országban kb. 1500-1600 kitermelőkút van, nagy részük balneológiai hasznosítása miatt nem kötelezhető visszasajtolásra, az energetikai oldalon alkalmazott közel 100-110 kitermelőkúthoz kutanként legalább 2-3 visszasajtolót kellene építeni, miközben jelenleg mindössze 27 olyan kútról tudunk (6.2 ábra), ahol visszatáplálás történik. Ez a szám nagyon alacsony, és jól szemlélteti a magyarországi visszasajtolás hiányosságait. Az általam felépített adatbázis ennél több, 33 kút adatait tárgyalja, azonban 6 esetben nem működő, vagy csak a múltban működött kutakról van szó.

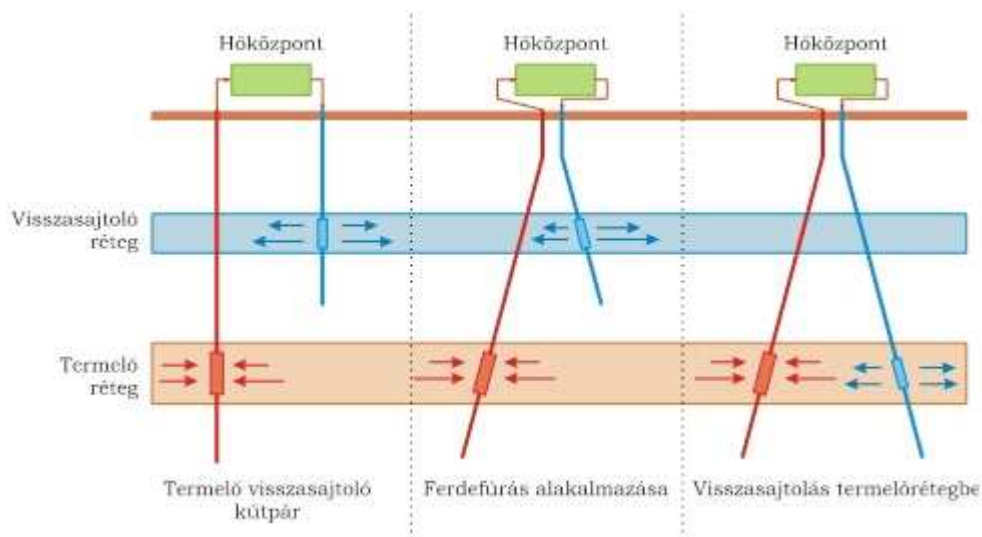


6.2. ábra: Hazánk visszasajtoló kútjai (lila: hasadékos tárolóba, zöld: porózus tárolóba történő visszasajtolás) (szerkesztve a saját adatbázis alapján)

A másik fontos hiányosság, hogy Magyarország egyik fontos, és a szakemberek számára a kutatásokhoz szükséges vízföldtani naplókat biztosító szervezete, a (2012-ben jogutód nélkül megszűnt) VITUKI Adatárában ezen visszasajtoló kutakból mindössze 11 darabról találhattunk adatokat. Természetesen egyes visszasajtoló rendszerek csak most készülnek, tehát jelenleg folynak a kivitelezési munkálataik, a vízföldtani zárójelentések pedig nem érkeztek be a központba, de ez sajnos nem mind a 18 maradék kútról mondható el. Számomra nagyon meglepő volt, hogy ilyen fontos adatokat nem találunk meg a központilag, mert ez nem csak az én kutatásaimat, de a jövő szempontjából lényeges és hatóságilag is megkívánt szakmai elemzések elkészülését is gátolja.

A kutatómunkám során azt volt a célom, hogy a hazai visszasajtoló kutakat rendszerezsem, adataikat összegyűjtssem és egy használható, naprakész információkkal rendelkező adatbázist hozzak létre, mely további kutatások, vizsgálatok alapját képezheti. Az elkészült adatbázis a jelenleg fellelhető legfrissebb adatokat tartalmazza a visszasajtoló kutakról. Ezen adatbázis legfontosabb elemeit, a kutak létesítési, működtetési adatait a mellékelt 6.1 számú táblázat tartalmazza. A táblázatban elkülöníthetünk termálkarszton, illetve porózus tárolón alapuló rendszereket. Ezek mind létesítésükben, mind üzemeltetésükben különböznek. Míg a *hasadékos tárolók* esetén kis mértékben, de tartani kell az eltömődéstől, addig a felső-pannon porózus rendszerek esetén ez lehet az egyik alapvető probléma. Bóly, Gárdony és Veresegyház kútjainál hasadékos tárolókról beszélhetünk, így a visszasajtolás ilyen technológiai akadályba nem ütközik. A hasadékos kőzetekbe könnyebb a visszasajtolás, problémát a réteg pontos megtalálása okozhatja, mely szelvényezéssel és szondázással áthidalható. A megfelelő hézagterefogat lehetővé teszi, hogy akár $170 \text{ m}^3/\text{h}$ (Veresegyháza) vízhozammal sajtoljanak vissza

Létezik olyan kialakítás is, amelynél a kitermelő kúttal összehasonlítva a visszasajtoló kút szűrői kisebb mélységben (vagy egy szintben) helyezkednek el, mint a termelőkútban lévő szűrők. Tehát megállapítható, hogy a termelőréteghez képest felsőbb rétegbe sajtolunk vissza (6.3 ábra). Ez azért bevett gyakorlat, mert kisebb mélységbe kell lefúrni, és mivel a sekélyebb rétegekben alacsonyabb a nyomás, alacsonyabbak a besajtolás költségei.



6.3. ábra: A visszacsajtolás lehetőségei (György 2009, in: Jánosi-Mózes, 2012)

Az alaphegységi, pontosabban termálkarsztos energetikai célú hasznosításokra vonatkozóan fontos megemlíteni, hogy a meglévő, és a kutatásomban összegyűjtött kisszámú adatból visszacsajtolásra való alkalmassági, vagy alkalmatlansági feltételek leszűrése csak kellő óvatossággal tehető, hiszen fiatal rendszerekről beszélünk, ezért hatásuk és működésük csak évek tapasztalatai során alakulhat ki megfelelően.

A *felső-pannon porózus tárolók* esetében 23 működő visszacsajtoló kutat ismerünk. Ezek között már találunk régebb óta (Hódmezővásárhely 1999, Szentés 1998, Szigetvár 1983) üzemelő rendszereket is. Azonban még e több évtizedes tapasztalat sem elegendő arra, hogy a visszacsajtolási projekteket példaértékűnek tekinthessük, hiszen az esetlegesen jelentkező hatások csak hosszútávon értékelhetők.

A magyarországi geotermikus rendszerek egyaránt hasznosítják a felső-pannóniai alsó részén található delta front kifejlődésű Újfalu Formációból termelt, és a néhány száz méterrel magasabban elhelyezkedő, folyóvízi-ártéri kifejlődésű Zagyvai Formáció homokjának termálvizét. A visszatápláló kutak is e két formációra lettek szűrőzve (Tóth 2011). Ezekben a zárt rendszerekben a központi szerv geotermikus védőidomok létrehozásával szabályozza a termelést. 2500 méter mélységig a vízügyi minisztérium hatáskörébe tartozik minden felszín alatti víz, míg 2500 méter mélység alatt (ahol a magas hőmérsékletű rezervoárok találhatóak) a vizek a bányatörvény hatálya alá tartoznak, így koncessziókötelesek. A koncesszió keretében meghatározott ásványi nyersanyag vagy geotermikus energia kutatására a miniszter a koncessziós szerződésben kutatási-fúrási jogot adományoz. Az akár 50-100 millió Ft értékű koncessziós csomag kiadása előtt a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI) munkatársai modellezéssel geotermikus

védőidomot határoznak meg egy területen, melyet a beruházó a kutatási és fúrási kötelezettség elfogadása mellett 30 évre megkap, és más olyan létesítmény nem épülhet a közelében, mely befolyásolhatná a vízkitermelést, nyomást.

Problémát okozhat, hogy értékes termálvizeink tárolódnak 2500 méter mélységnél kisebb mélységben is, melyekre nem érvényesek ezek a koncessziós területi behatárolások, geotermikus védőidomok. Mindenképpen fontos lenne az alacsonyabb mélységben lévő vizek hasonló jellegű védelme is, illetve külön kivételt kell hogy képviseljenek hazánk nemzeti kincsei, a gyógyvizek is.

A geotermikus védőidomok alapvető elhelyezkedésüknél fogva több helyen is átnyúlnak az országhatáron. Az MFGI jelenleg is egy ilyen határon átnyúló program, a Transenergy keretében határvízi egyeztetéseket végez Szlovéniával, Ausztriával és Szlovákiával, és megállapodnak a kutatható területekről, a leendő fúrásokról, valamint az esetleges nyomás- és vízszintcsökkenések elkerüléséről (<http://transenergy-eu.geologie.ac.at/>).

Az extenzív terjedés csak addig tartható fenn, amíg a kutak nincsenek hatással egymásra. Hazánkban az alföldi kutak egy részénél már megjelenő probléma a csökkenő potenciálszint. Az ellenőrzéshez figyelő kutakat telepítenek, melyben folyamatosan méri a napi vízszintet, és csökkenés esetén korlátozzák a termelést, takarékos használatot írnak elő a kút, és az üzemeltetők számára, valamint szorgalmazzák a kaszkád rendszerű hasznosítást. Ha a vízszint tovább süllyed, akkor a visszasajtolás kerül előtérbe. Nagy előrelépésnek számít, hogy a figyelő kutakban alkalmazott távjelzéses mérésekkel egy követhető vízgazdálkodási rendszer alapjait sikerült létrehozni, mely jelenleg a www.dataqua.hu oldal keretein belül működik, és segíti a központi monitoring rendszer kialakítását és követését. Ezek a mérések fontosak, hogy ellenőrizhetővé váljanak az üzemeltetők által bevallott kitermelési és visszasajtolási vízhozamok. A visszasajtoló kutak esetében érdemes lenne vízmérők felszerelése, mely pontos adatokat szolgáltat a vízhozamokról, így elkerülhetők lennének a jogtalan elfolyatások. A kutak részletesebb vizsgálata és egyenkénti helyzetfelmérése természetesen további kutatás feladata, az azonban már most is egyértelmű, hogy a DATAQUA rendszer megfelelő kezdőpont lehet. Továbbfejlesztésével egy komplex monitoring rendszer kiépítése válhat elérhetővé, az adatok kiértékelése és a folyamatos vizsgálatok pedig további modellezési lehetőségeket tárnak fel a jövő geotermiával foglalkozó kutatói számára.

Település megnevezése	VK Létesítés nek éve	A VK jogerős üzemelte tési engedély kiadásá nak éve	A jogerős üzemeltetési engedély kiadásának éve	Termálvíz tároló típusa	Kitermelő szűrők mélysége (m) (-tól -ig)	Visszasajtoló szűrők mélysége (m) (-tól -ig)	Kitermelt víz engedélyezett mennyisége	Visszasajtott víz engedélyezett mennyisége	VK Talpmély ség (m)	VK talphó- mér- séklet (°C)	geotermikus grádiens (m/°C)
Balástya	2008			porózus	1047,8	1297,2	1047,8	1297,2	1312,0	61,2	
Bóly	2008	2009	2009	hasadékos	1251,0	1301,4	1315,1	1477,4	1485	73,7	23,1
Csongrád	1986		1988/2011	porózus	1313,0	1831,0	1307,0	1526,0	2091,5		
Fülpöpkab	2009	2011	2006	porózus	632,0	964,0	692,0	892,0	1004,0		
Fülpöpkab	2006		2006	porózus	696,0	840,5	696,0	840,0	847,0		
Gárdony	2008			termálkarszt			668,7	697	690	70,3	11,54
Hódmezővásárhely	2007			porózus	1482,0	1677,0	1482,0	1677,0	1701,0	71,9	27,2
Hódmezővásárhely			1999/2002	porózus	1473,0	1669,0			1685,0		
Jászfelsőszentgyörgy		-	nincs		835,0	895,0	845,0	905,0	64800 m ³ /év		
Kistelek	2006			porózus (f.-p. hkő)	1468,5	1671,7	1468,5	1671,7	1678,0	71,5	27,2
Kistelek	2010			porózus (f.-p. hkő)			739,5	1056,0	1060,0	41,8	33,3
Kistelek	2010			porózus (f.-p. hkő)			800,0	1043,0	1295,0	54,8	28,8
Mórahalom				porózus (f.-p. hkő)	765,0	885,0	765,0	885,0	996,3	56,1	20,3
Mórahalom				porózus (f.-p. hkő)	672,0	922,0	672,0	922,0			
Mórahalom				porózus (f.-p. hkő)	669,0	952,0	669,0	952,0			
Orosháza- Gyopárosfürdő	2011			porózus (f.-p. hkő)			1421,1	1555,0	1565,0		

Település megnevezése	VK Létesítés nek éve	A VK jogerős üzemelte tési engedély kiadásá nak éve	A jogerős üzemeltetési engedély kiadásának éve	Termálvíz-tároló típusa	Kitermelő szűrők mélysége (m) (-től -ig)	Visszasajtoló szűrők mélysége (m) (-től -ig)	Kitermelt víz engedélyezett mennyisége	Visszasajtott víz engedélyezett mennyisége	VK talp- mélység (m)	VK talphő (°C)	geotermikus grádiens (m/°C)
Orosháza II.	2011			porózus (f.-p. hkő)				0-20 m ³ /h	1560,0		
Pálmonostora	2008			porózus	801,7	1240,0			1250,0	48,9	32,0
Szeged	2007	2007	2010		1562,0	1696,0	176002 m ³ /év		1772,0		
Szeged					1654,0	1812,0					
Szeged					1696,0	1917,0					
Szeged			1998/2005		964,0	1009,0	120000 m ³ /év		1014,0		
Szeged- Kiskundorozsma					1194,8	1338,4					
Szentes	1986	1998	1998		2093,0	2308,0	340000 m ³ /év	na	2344,0		
Szentes	1986	1998	1998		2093,0	2308,0	340000 m ³ /év	na	2344,0		
Szentlőrinc	2010	2011	2011	porózus	1614,3	1809,1	380000 m ³ /év	380000 m ³ /év	1648,0	88,0	21,4
Szigetvár	1977	1983	1983		904,8	990,1	574000 m ³ /év	574000 m ³ /év			
Szolnok	2012	2012	nincs	porózus	870,0	920,0		210000 m ³ /év			
Újszilvás	2010	nincs	nincs		416,0	439,0	116000 m ³ /év	7500 m ³ /év			
Veregyház	na	2009	2009	termálkarszt	1414,2	1457,4	496000 m ³ /év	290000 m ³ /év	1412,0		
Veregyház	2011			termálkarszt				170 m ³ /h	1412,0		
Zákányzék					1008,4	1123,0					
Zalaegerszeg	2010	2010	2006		1710,0	1715,0	33100 m ³ /év	16550 m ³ /év			

6.1. táblázat: Hazánk termálvíz visszasajtoló kútjai és legfontosabb adatai VK: visszasajtoló kút, TK: termelő kút

(zölddel a hasadékos tárolók a megkülönböztetés megkönnyítése érdekében, pirossal a jelenleg nem működő visszasajtoló kutak)

6.5. A kutatási eredményekből felállított javaslatok

A megújuló energiahordozók kapcsán több szakirodalom is részletes elemzéseket állít fel, segítségükkel pontosan tájékozódhatunk a jelenlegi problémákról és megoldási lehetőségekről. A földhő szempontjából fontos, hogy lássuk, fejlődő és dinamikus iparágról beszélhetünk, mely, ha lassan is, de folyamatosan igyekszik megvalósítani a hozzá fűzött magasabb reményeket. A visszasajtolással kapcsolatos korábban felsorakoztatott problémák megoldása komplex feladat. Az alábbiakban néhány hosszabb távon alkalmazható javaslattal szeretnék élni, melyek pozitív irányba billenthetik el a visszatáplálási kötelezettség körül folyó heves viták mérlegét.

1. Szükség lenne egy pontos (és ellenőrzött), országos szintű hévíztermelési, visszasajtolási koncepció kialakítására a működő termelő és visszasajtoló kutakról. Figyelembe kell venni a balneológiai hévíztermelést is. A modellt a jelenlegi hévízkataszterhez kellene illeszteni, és ezzel együtt fontos azon területek kijelölése is, amelyeken elengedhetetlen a hévíztermeléshez kapcsolódó visszasajtolás megoldása.
2. A jelenleg meglévő visszasajtoló kutak dokumentációinak további részletes elemzése, a kúttisztítási, kútjavítási adatok feldolgozása során további, eddig nem ismert összefüggésekre derülhet fény, melyek a későbbi kútfúrásokhoz, üzemeltetéshez adhatnak fontos információkat.
3. Ahol több termelő és visszasajtoló kút üzemel (Hódmezővásárhely, Orosháza-Gyopárosfürdő, Mórahalom, esetleg Veresegyház), érdemes lenne mérési programokat végezni, pl. környezetbarát nyomjelzőkkel (green tracers), illetve ezután elvégezhető a mérési adatok részletes elemzése, feldolgozása. Az érintett pannon rétegekre vonatkozó adatbázis kialakítása. Folytatni kellene a felszíni szűrési eljárások határfokának tesztelését.
4. A nem működő visszasajtoló kutak sikertelenségének okait is elengedhetetlen tanulmányozni, amit a dokumentációjuk áttekintésével (Szentes, Szeged, Zalaegerszeg) kellene kezdeni. Ha az elemzéshez esetleg kútmunkálat is szükséges, (tisztítás, szűrő javítás, stb.) annak megtervezése, kivitelezése is javasolt, természetesen folyamatos mérésekkel.

5. Hazánk kitüntetett szerepe miatt nagy lehetőség lenne egy nemzetközi workshop szervezése a visszasajtolásról. Az EU-ban jól működő rendszerekkel rendelkező országok, francia, német, olasz, osztrák, izlandi, illetve USA-beli szakemberek, előadóként tapasztalataikról beszélve segíthetnék a hazai kutatók és beruházók munkáját.
6. A földhőt hasznosítók körében egységesen kötelezővé kellene tenni az adatszolgáltatást (pl. hiteles adatok mérése és szolgáltatása, a rendszerek szakszerű üzemeltetése, mérőműszerek felszerelése), és a szabálytalan üzemeltetést akár az engedélyek bevonásával kellene szankcionálni
7. Szükség lenne egy egységes megújulóenergia-törvény megalkotására, amelyben külön rész foglalkozna a geotermikus energia kitermelésével és hasznosításával, mindemellett fontos lenne a környezetvédelmi és vízügyi hatóságok kijelölése és feladatuk pontos meghatározása. A jelenlegi tisztázatlan helyzet megoldására egy felelős hatóságot kellene kijelölni, amely egyben felelős az adatok gyűjtéséért és az adatszolgáltatásért.
8. A jelenlegi kutakról készíteni kellene egy összefoglaló dokumentációt. Emellett javaslatokat kéne tenni demonstrációs projektek indítására.
9. A korábbi helyszíneken (esetleg Szentes, Szeged, Hajdúszoboszló) az eddigi elemzések alapján demonstrációs visszasajtoló kút létesítési projektek indítását lehetne elkezdeni. Fontos lenne a legkorszerűbb eljárások alkalmazása a kútépítésben, ami csak minden adat feldolgozásával, nyilvánossá tételével együtt valósítható meg.

A 8. és 9. pontban említett projektekre feltétlenül szükség van, tanulmányozásuk Kutatás-Fejlesztés-Innovációs (R&D&I) projektekkel történhetne. Alapvetően fontos, hogy ezek a projekteket egységes programként kezeljék, stabil finanszírozással. A programokat előzetesen kell tervezni, végrehajtását kellően képzett és felkészült személyi állományra kell bízni. Finanszírozásukat pedig kutatás-fejlesztési alapból lehetne megoldani.

7. ÖSSZEGZÉS

A geotermikus energia hazánk életében betöltött kiemelkedő szerepe közismert. Azonban alapjaiban kell megváltoztatni a geotermiához való hozzáállást, a jelenlegi jogszabályi környezet „foltozása” csak elodázza a sürgető megoldást.

Dolgozatomban áttekintettem hazánk és a Kárpát-medence különleges földtani helyzetét meghatározó geotermikus tényezőket, és ismertettem a víztároló kőzetek legfontosabb közetfizikai és hidrodinamikai tulajdonságait. Megállapítható, hogy a geotermikus grádiens különlegesen magas értéke az ország több mint 70 %-án kitermelhető termálvizet jelent, ami sok területen alapvetően meghatározza az energetikai és balneológiai hasznosítási tényezőket.

A földhő-hasznosítás lehetőségeit tárgyalva kitértem a legmagasabb hőfokú termálvizek villamos energiatermelésre történő hasznosítására, a közepes és alacsonyabb hőmérsékletű termálvizek balneológiai hasznosítására, a fűtésben és a mezőgazdasági termelésben alkalmazott lehetőségeikre, valamint példákkal érzékeltettem, hogy milyen sok új kihívást és lehetőséget rejt ez a terület. A hőszivattyús alkalmazás és a HDR-technológia bemutatásával eddig hazánkban kevésbé elterjedt módszereket kívántam ismertetni, melyeknek előnyei külföldön már megmutatkoztak. Összefoglaltam a közvetlen és közvetett hasznosítás előnyeit, hátrányait, valamint részletesen áttekintettem a hasznosításhoz kapcsolódó környezeti problémákat, és azok lehetséges megoldásait.

A kutatási célomban megfogalmazottak alapján hazánk termálvizeinek visszasajtolással kapcsolatos kérdéseivel foglalkoztam, és felsorakoztattam a jelenlegi jogi szabályozással kapcsolatos hiányosságokat és problémákat. Az általam épített adatbázis jelenleg a legfrissebb ilyen adatokat tartalmazó összeírás hazánkban, mely alapján, valamint a helyszíni szemlékkel, interjúkkal egybekötött kutatómunka során bepillantást nyertem a visszasajtolással foglalkozó szakma érdekes mindennapjaiba. Alkalmam volt átlátni a döntéshozatali folyamat buktatóit, gondjait és magának a kútfúrásnak a technikai nehézségeit, mindeközben pedig átérezni a visszasajtolás fontosságát környezetünk védelmének érdekében.

A visszasajtolás problémájának további vizsgálata és a kutatások lehetőséget biztosítanak a fejlődésre. Az utolsó fejezetben felsorolt javaslatok véleményem szerint egy hosszú, de szükséges, a megoldáshoz vezető út fontos állomásai, melyek hazánk számára a fenntartható földhő felhasználás lehetőségét hozhatják el a jövőben.

ÁBRAJEGYZÉK

3.1. ábra: A földhő-hasznosítás lehetőségei - Lindal-diagram (www.energia.ma)	7
3.2. ábra: Szárazgőzös áramfejlesztő rendszer működési elve (www.panergy.hu).....	8
3.3. ábra: A kigőzöltetési áramfejlesztő rendszer működési elve (www.panergy.hu)	9
3.4. ábra: A segédközeges erőmű működési elve (www.panergy.hu).....	9
3.5. ábra: Ivókúra Nyíregyházán (www.gyogyfurdo.abbcenter.com).....	15
3.6. ábra: Római kori fürdőkultúra (www.szeusz.eu).....	16
3.7. ábra: A hőszivattyús rendszer elvi alapja (www.szeusz.eu).....	18
3.8. ábra: Talajkollektoros hőszivattyú (www.innodom.hu)	19
3.9. ábra: Földhőszondás hőszivattyú (www.innodom.hu)	20
3.10. ábra: A Hot Dry Rock technológia működési elve (www.geothermal-resources.com.au)	23
4.1. ábra: A Föld belső szerkezete és hőmérséklete (Mádlné 2006)	24
4.2. ábra: Hazánk geotermikus mélységlépcső (geotermikus gradiens reciproka) viszonyai (saját szerkesztés, módosítva tudasbazis.sulinet.hu nyomán)	26
4.3. ábra: A mezozoikumi karbonátos képződmények elterjedése a Kárpát-medencében (Liebe 2002b, In: Karátson 2002).....	27
4.4. ábra: A pliocén-pleisztocén víztároló képződmények a Kárpát-medencében (Liebe 2002b, In: Karátson 2002).....	28
6.1. ábra Blue Lagoon, Svartsengi geotermikus mező, Izland (fotó: Karátson D.).....	33
6.2. ábra: Hazánk visszasajtoló kútjai (lila: hasadékos tárolóba, zöld: porózus tárolóba történő visszasajtolás) (szerkesztve a saját adatbázis alapján)	41
6.3. ábra: A visszasajtolás lehetőségei (György 2009, in: Jánosi-Mózes, 2012)	43
6.1. táblázat: Hazánk termálvíz visszasajtoló kútjai és legfontosabb adatai VK: visszasajtoló kút, TK: termelőkút.....	46

IRODALOMJEGYZÉK

- BELTÉKY L. (1977): *Magyarországi termálvíz vagyunk*, Területrendezés, Különszám, 11. p.
- BFH EURÓPA PROJEKTFEJLESZTŐ ÉS TANÁCSADÓ KFT (2008): *Falvak megújuló energián alapuló komplex közmű-modelljei*, AU-HU Interreg III. Program, tanulmány, 76. p.
- BOHOCZKY F. (2011): *Magyarországi és EU-s célok a megújuló energiaforrások hasznosításában*, előadás, Vecsés
- BORSZÉKI B. (Szerk.) (1979): *Ásványvizek és gyógyvizek*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, pp. 128-137.
- BROWN, D. W. (2009): *Hot dry rock geothermal energy: Important lessons from Fenton Hill*, Proceedings, Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Február 9-11., 2009
- BULLA B. - MENDÖL T. (1999): *A Kárpát-medence földrajza*, Lucidus Kiadó, Budapest, 49. p.
- DOROGI É. (2009): *A megújuló energiaforrások felhasználása Magyarországon különös tekintettel a geotermikus hőtermelésre*, Kézirat, Budapest
- FRISNYÁK S. (Szerk.) (1988): *Magyarország földrajza*, Tankönyvkiadó, Budapest, 105. p.
- GÖÖZ L. (2010): *A földhő hasznosításának különböző megoldásai* – In: Tiszteletkötet Dr. Tóth József geográfus professzor 70. születésnapjára (szerk.: HANUSZ Á.), Nyíregyházi Főiskola Turizmus és Földrajztudományi Intézete, Nyíregyháza, pp. 91-112
- HURTON Zs. (2005): *A termál- és gyógyturizmus fejlődése és szerepe a hazai idegenforgalomban*, Kézirat, Kiskunhalas
- JUHÁSZ Á. (1983): *Évmilliók emlékei*, Gondolat Kiadó, Budapest, 253. p.
- JUHÁSZ J. (1987): *Hidrogeológia*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 39. p.
- LIEBE P. (2002b): *Felszín alatti vizeink* - In: Magyarország földje - Kitekintéssel a Kárpát-medence egészére, (szerk.: KARÁTSZON D.), Kertek, Budapest, pp. 253-254.
- KOMLÓS F. – FODOR Z. – KAPROS Z. – VASZIL L. (2008): *Csináljuk jól! Hőszivattyúzás*, Energia Központ Kht., pp. 8-15.
- KULCSÁR B. (2012): *A geotermikus energia hasznosítási lehetőségei az Észak-Alföldi régió agrárgazdaságában*, Debrecen, Kézirat, 21. p.
- LACZÓ D. (2012): *ENER Handbook - A megújuló energiaforrások kézikönyve*, Környezettudományi Központ, Budapest, 95. p.
- LISTÁR N. (2011): *A geotermikus energia felhasználás helyzete hazánkban*, Budapest, Kézirat, pp. 21-22.
- LUKÁCS G. S. (2010): *Megújuló energiák könyve – Book of renewable energies*, Szaktudás Kiadó Ház, pp. 132-139.
- MAGYARORSZÁG NEMZETI REFORM PROGRAMJA, 2011. április
- MÁDLNÉ SZ. J. – RYBACH L. – LENKEY L. – HÁMOR T. – ZSEMLE F. (2008): *A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon*, Magyar Tudományos Akadémia tanulmánya

MÁDLNÉ SZ. J. – RYBACH L. – LENKEY L. – HÁMOR T. – ZSEMLE F. (2009): *Fejlődési lehetőségek a geotermikus energiahasznosításban, különös tekintettel a hazai adottságokra*, Magyar Tudomány, 2009/8, pp. 989-1003.

MÁDLNÉ SZ. J. (2006): *A geotermikus energia – Készletek, kutatás, hasznosítás*, Grafon kiadó, pp. 16-36., 93-107.

NÁDASI T. – UDUD P. (2007): *Ásványvizek könyve*, Aquaprofit Zrt., Budapest, pp. 37-42.

O'ROURKE J. E. – RANSON B. B. (1979): *Instruments for subsurface monitoring of geothermal subsidence, Final Report*, U. S. Department of Energy, 136. p., <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/5672260-lbbRbW/native/5672260.pdf>

PAP É. (2003): *Környezetbarát energiafelhasználás, avagy a megújuló energiaforrások általános jellemzése*, az Európai Unióban és hazánkban betöltött szerepe, Budapest, Kézirat, 27. p., 72. p.

DiPIPPO, R.(1999): *Small, geothermal power plants: design, performance and economics*, GHC Bulletin, 1999/June, pp. 3-4.

SEMBERY P. – DR. TÓTH L. (szerk.) (2004): *Hagyományos és megújuló energiák*, Szaktudás Kiadó Ház, pp. 409-412.

SZANYI J. –BÍRÓ L. (2009): *Nagy entalpiájú geotermikus rendszerek*, előadás

SZANYI J. - KOVÁCS B. (2008): *A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon*. Természet Világa. 139/2. különszám, 25-27. (2008)

TÓTH GY. (2011): *A geotermikus energiahasznosításhoz kapcsolódó vízvisszatáplálásokra alkalmas földtani formációk és közettípusok*, Kézirat

UNK J. – ÁDÁM B. – KUJBUS A. – KURUNCZI M. – DR. SZANYI J. (2009): *Javaslat a geotermikus energia hazai hasznosításának növelésére*, Szeged, Kézirat

VIDÉKI I. (Szerk.) (2008): *Fejezetek ipar- és közlekedésföldrajzból*, ELTE Eötvös Kiadó, p. 108.

ZÁKONYI F. (1977): *A Dunántúl gyógyfürdői és fürdői*, Panoráma Kiadó, Budapest, p. 18.

INTERNETES HIVATKOZÁSOK:

ALASKA ENERGY WIKI: *Chena Hot Springs Resort (Geothermal)* <http://energy-alaska.wikidot.com/chena-hot-springs-resort-geothermal> megjelenítve: 2012.12.08.

BÁNÓCZY E. (2012): *A Föld belső hőjének felhasználási lehetőségei*, <http://energia.ma/megujulo/geotermikus/20120616-a-fold-belso-hojenek-felhasznalasi-lehetosegei/> megjelenítve: 2012.12.03.

BODÓ, B (szerk) (2004) *Hírek, Geotermikus Erőmű Hírlevél 2. szám 2004.* http://www.geothermalpower.net/results/newsletter2_hun.pdf

Geotermikus energia a mezőgazdaságban (2008), <http://www.agroland.hu/?hir=4078>

Geothermal Energy Association (2012), http://www.geo-energy.org/pdf/reports/2012-GEA_International_Overview.pdf

Geotermikus erőmű projektek (2004. március)
http://www.geothermalpower.net/results/newsletter2_hun.pdf

HORA M. (2012): *Geotermikus energiahasznosítás környezeti hatásai*,
<http://www.greenfo.hu/hirek/2012/09/04/geotermikus-energiahasznositas-kornyezeti-hatasai>

JÁNOSI-MÓZES T. (2012): *Termálvíz visszasajtolás hazai és nemzetközi tapasztalatai*,
<http://www.sciencecaffe.com/hu/p-2012-06-01-0625/term%C3%A1lv%C3%ADz-visszasajtol%C3%A1s-hazai-%C3%A9s-nemzetk%C3%B6zi-tapasztalata>

KOMLÓS F. (2005): *Fűtésteknika a környezetbarát hőszivattyúval*,
http://klima.kvvm.hu/documents/36/futesteknika_hoszivattyu.pdf

KOMLÓS F. (2006): „Hőszivattyús javaslat, tájékoztató”: Heller László terv, egy munkahelyteremtő kezdeményezés, XV. Főenergetikusi Szeminárium „ENERGETIKA 2006” Konferencia, Dobogókő, 2006. március 8-9.
<http://zoldtech.hu/cikkek/20051221hellerterv>

LIEBE P. (2002a): *Felszín alatti vizeink*, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium,
http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/fav/favm/favm_tart.htm

MONOKI Á.: *Geotermikus energia*, <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/Geotermikus%20energia/Geotermikus%20energia.html> megjelenítés ideje: 2012. 11. 23.

NAGY G. J. (2010): *A geotermikus energia komplex hasznosításának lehetőségei*,
http://www.econoconsult.hu/fitness_2010_dec

SZÉKELY F. (2010): *Hévízeink és hasznosításuk*, Magyar Tudomány,
<http://www.matud.iif.hu/2010/12/08.htm>

TRANSENERGY: www.transenergy-eu.geologie.ac.at

KORMÁNYRENDELETEK:

- 1995. évi LVII. vízgazdálkodásról szóló törvény
- 65/2004 (IV.27.) FVM-ESzCsM-GKM együttes rendelet
- 219/2004-es Kormányrendelet
- 220/2004-es Kormányrendelet
- 147/2010 (IV. 29.) Kormányrendelet
- 156/2012. (VII. 13.) Kormányrendelet

FEHÉR ESZTER

A HAZAI GEOTERMIKUS ENERGIAHASZNOSÍTÁS HELYZETE ÉS A TERMÁLVÍZ-VISSZASAJTOLÁS

IDŐSZERŰ PROBLÉMÁI

SZAKDOLGOZAT TARTALOMJEGYZÉKE/TEMATIKÁJA

1. BEVEZETÉS
 2. NEMZETKÖZI ÉS HAZAI TRENDEK A MEGÚJULÓ ENERGIA HASZNOSÍTÁSÁBAN
 3. A GEOTERMIKUS ENERGIA FÖLDTANI HÁTTERE
 - 3.1 TÁROLÓKÖZETEK
 - 3.2 A KÁRPÁT-MEDENCEI VÍZTÁROLÓ KÖZETEK SZERKEZETI ÉS KÖZETFIZIKAI TULAJDONSÁGAI
 4. A GEOTERMIKUS ENERGIA HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI MAGYARORSZÁGON
 - 4.1 A GEOTERMIKUS ENERGIA HASZNOSÍTÁSA
 - 4.1.1 A geotermikus energia hasznosítása villamosenergia-termelésre
 - 4.1.2 A geotermikus energia közvetlen (direkt) felhasználása
 - 4.1.3 Hőszivattyúk alkalmazása a geotermiában
 - 4.1.4 HDR-technológia
 5. A TERMÁLVÍZ-KITERMELÉS ÉS -HASZNOSÍTÁS KÖRNYEZETI PROBLÉMÁI
 6. A TERMÁLVÍZ-VISSZASAJTOLÁS
 - 6.1. A VISSZASAJTOLÁSRÓL SZÓLÓ TÖRVÉNYI RENDELKEZÉSEK
 - 6.2. A TERMÁLVÍZ VISSZASAJTOLÁS CÉLJA ÉS FELMERÜLŐ PROBLÉMÁI
 - 6.2.1. A felszín alatti vízkészletek mennyiségi egyensúlyának fenntartása
 - 6.2.2. A rétegek fizikai fenntarthatósága, a készlet és rétegnyomás csökkenés megakadályozása
 - 6.2.3. A kitermelt víz felszínszennyezésének megakadályozása
 - 6.3. A VISSZASAJTOLÁSRA ALKALMAS KÖZETTESTEK
 - 6.4. HAZAI VISSZASAJTOLÓ RENDSZEREK
 - 6.4.1. Sekély geotermikus rendszerek
 - 6.4.2. Mély geotermikus rendszerek
 7. ÖSSZEGZÉS
- KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS
- ÁBRAJEGYZÉK
- IRODALOMJEGYZÉK