



TELEPÜLÉSI TERMÁLVÍZ KÉSZLETEK FENNTARTHATÓ ÉS OPTIMÁLIS HASZNÁLATA A TERÜLETFEJLESZTÉSEK TÜKRÉBEN

Ph.D. értekezés

Pálné Schreiner Judit

okleveles építőmérnök
szakokleveles közgazdász

Témavezetők:

Dr. habil. Csébfalvi Anikó CSc. Ph.D.
egyetemi tanár

Dr. habil. Szűcs István CSc. Ph.D.
tanszékvezető egyetemi docens

PÉCS

2014.



Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar
Breuer Marcell Doktori Iskola

Segítőknek köszönettel,
Családomnak szerettel

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK.....	3
ÁBRÁK JEGYZÉKE	5
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	5
1. BEVEZETÉS	6
1.1. A kutatás célja	6
1.2. A kutatás módszertana, felépítése	7
1.3. Kutatási hipotézisek	8
2. A TERÜLETFEJLESZTÉS ÉS A GEOTERMIKUS ENERGIA KAPCSOLATA	9
2.1. A területfejlesztés célja és eszközei	9
2.1.1. A területfejlesztés alapelvei	9
2.1.2. A területfejlesztés intézmény rendszere Magyarországon	10
2.1.3. Területfejlesztési tervfajták	11
2.1.4. Vidékfejlesztés	13
2.1.5. A területfejlesztés és vidékfejlesztés viszonya	14
2.2. Baranya Megyei Területfejlesztési Program 2014	15
2.2.1. Stratégiai célok 2020	15
2.2.2. Területi célok 2020	16
2.2.3. Prioritások 2014-2020	16
2.3. A geotermikus energia szerepe a területfejlesztésben.....	19
2.3.1. A geotermikus energia környezeti hatásai	19
2.3.2. A geotermikus energia használatának társadalmi hatásai	21
2.3.3. A geotermikus energia használatának gazdasági hatásai	22
2.3.4. A geotermikus energia lehetséges szerepe a Baranya Megyei Területfejlesztési Programban	23
3. GEOTERMIKUS RENDSZEREK - A GEOTERMIKUS KÉSZLETEK MEGÚJULÁSA	27
3.1. A geotermikus rendszerek.....	27
3.1.1. Fogalmak, mértékegységek.....	27
3.1.2. Geotermikus rendszerek elemei.....	28
3.1.3. Természetes és mesterségesen befolyásolt geotermikus rendszerek	30
3.2. Geotermikus készletbecslés, energiavagyon.....	31
3.3. Magyarország geotermikus adottságai.....	35
3.3.1. Geotermikus jellemzők	35
3.3.2. A geotermikus készletek energiatartalma	38

3.4. Alacsony hőmérsékletű, folyadék alapú geotermikus készletek megújulása	40
3.4.1. A megújulás és a fenntarthatóság kapcsolata, a megújulás megismerésének problémái	40
3.4.2. Az alacsony hőmérsékletű, folyadék alapú geotermikus rendszerek modellezése	43
3.4.3. A koncentrált paraméterű modell	45
3.4.4. A koncentrált paraméterű modell szimbolikus megoldása	48
3.5. Új tudományos eredmények: 1., 2., 3. és 4. tézis	52
4. AZ ALACSONY HŐMÉRSÉKLETŰ TERMÁLVÍZ HASZNÁLATÁNAK FENNTARTHATÓSÁGA	54
4.1. A geotermikus készletek fenntarthatósága	54
4.2. A geotermikus készletek hasznosítási lehetőségei	55
4.3. Az alacsony hőmérsékletű termálvizek hasznosítása Magyarországon ..	58
4.4. Az alacsony hőmérsékletű termálvíz fenntartható használatának meghatározása döntéstámogató rendszerrel	60
4.4.1. Az alkalmazott döntéstámogató rendszer (DSS) bemutatása	60
4.4.2. A DSS számítása az ANGEL hidrid meta-heurisztikus módszerrel	63
4.5. Új tudományos eredmények: 5. tézis	66
5. ESETANULMÁNYOK	68
5.1. Baranya megye természeti-, társadalmi- és gazdasági erőforrásai	68
5.2. Bólyi Termálprojekt	70
5.2.1. Bóly bemutatása.....	70
5.2.2. A Bólyi Önkormányzat nagyobb projektjei.....	71
5.2.3. A bólyi geotermikus közmű rendszer	72
5.2.4. Bóly lehetőségei a területfejlesztésben	75
5.2.5. A tézisek gyakorlati alkalmazhatósága Bóly példáján	76
5.3. Szigetvári Gyógyfürdő	78
5.3.1. Szigetvár bemutatása.....	78
5.3.2. A szigetvári termálrendszer	79
5.3.3. Szigetvár lehetőségei a területfejlesztésben	80
5.3.4. A tézisek gyakorlati alkalmazhatósága Szigetvár példáján	82
6. ÖSSZEGRÉS	84
6.1. Tézisek	84
6.2. Új eredmények	86
FELHASZNÁLT IRODALOM	87
Hivatkozások	87
Tézisekhez kapcsolódó saját publikációk	92
Egyéb saját publikációk	94

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: Konvektív, folyadékalapú geotermikus rendszer	30
2. ábra: McKelvey diagram Muffler és Cataldi (1978)	32
3. ábra: A Föld belső szerkezete és hőmérséklete.....	34
4. ábra: Regionális termálvíz tározók Magyarországon	36
5. ábra: Felső-Pannónia porózus kőzetekben lévő termálvizek Magyarországon.	37
6. ábra: A karsztosodott kőzetekben lévő termálvizek Magyarországon.....	37
7. ábra: A geotermikus hőtermelés (felhasználás nélkül és hőkitermeléssel)	41
8. ábra: Termálvizek utánpótlódási mechanizmusa	42
9. ábra: Hűlési zóna kialakulása a termelő kút és a visszasajtoló kút között	42
10. ábra: A geotermikus rendszer részei a koncentrált paraméterű modellben ...	46
11. ábra: Egy tározós nyitott modell utántöltési forrással.....	47
12. ábra: Első öt év néhány trendje folyadék alapú geotermikus rendszerben	49
13. ábra: Zárt modell, pesszimista forgatókönyv esetén.....	50
14. ábra: Nyitott modell, optimista forgatókönyv esetén.....	51
15. ábra: Lindal diagram a geotermikus energia hasznosítására	56
16. ábra: Kaszkád rendszerű hőhasznosítás	57
17. ábra: Működő termál kutak Magyarországon 2008-ban	58
18. ábra: A geotermikus rendszer E_0 fenntartható kitermelés szintje	61
19. ábra: A folytonos ANGEL algoritmus lépése	64
20. ábra: Probabilisztikus- és possibilisztikus eloszlás az idő függvényében	65

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: A vidékfejlesztés és a területfejlesztés közötti különbségek	14
2. táblázat: Az LPM megoldása DSolve Statement of Mathematica 8.0.-cal.....	51
3. táblázat: Geotermikus rendszerek osztályozása hőmérséklet alapján	55

1. BEVEZETÉS

1.1. A kutatás célja

A disszertáció a területfejlesztés és a termálvíz készletek fenntartható és optimális használatának kapcsolatával foglalkozik. A kutatás annak vizsgálatára irányul, hogy a Magyarországon meglévő geotermikus potenciált milyen módon lehet felhasználni a területfejlesztési prioritásokban. Mivel a geotermikus energiát helyi szinten, lokálisan célszerű használni, ezért az ilyen típusú beruházások gyorsíthatják a vidék gazdaságának fejlődését, megindíthatják a hátrányos helyzetű térségek, települések felemelkedését.

A területfejlesztés szempontjából a geotermikus projekteknél fontos a termálvíz készletek hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának meghatározása. Az ilyen típusú feladatok megoldását nehezíti, hogy a közgazdasági változók nem determinisztikusak, a természeti adottságok folyamatos változása miatt sok a lágyparaméter, ezért a tervezésnél a bizonytalanságot is figyelembe kell venni. Ezekre a kihívásokra nyújthat megoldást a disszertációban bemutatott döntéstámogató rendszer (Decision Supporting System - DSS).

A döntéstámogató rendszerek olyan projekteknél használhatóak, amelyek bizonytalanságukból, komplexitásukból, méretükből és újdonságukból fakadóan nagy kockázattal járnak. A kutatás célja egy olyan döntéstámogató rendszer megalkotása és gyakorlati tesztelése volt, amelyik a természeti adottságokat, a társadalmi és gazdasági igényeket, a környezet hosszú távú fenntarthatóságát és az energiahatékonyságot figyelembe véve optimalizálja a települési termálvíz készletek használatát, és ez által segíti annak alkalmazását a területfejlesztési tervekben.

A hosszú távú fenntarthatóságot a geotermikus készletek esetén az határozza meg, hogy a megújulás, a kitermelés és a felhasználás milyen kapcsolatban áll egymással. A megújuló geotermikus készlet megismerése nehéz feladat, számtalan kérdés merül fel a vizsgálata során. A megújulás megismerésének problémájára ad egy lehetséges megoldást az a dolgozatban bemutatott módszer, amely a koncentrált paraméterű modellt (Lumped Parameter Model – LPM) szimbolikusan oldja meg. A kutatás újdonsága, hogy az LPM modell szimbolikus kiértékelésével kiküszöböli a klasszikus numerikus megoldás hibáit.

A disszertációban bemutatott döntéstámogató rendszer *Sigurðardóttir és társai* által 2010-ben publikált DSS koncepción alapul. A vizsgálat újdonsága, hogy az optimalizálási problémát a hagyományoktól eltérően, egy hibrid meta-heurisztikus módszerrel oldja meg. A *Csébfalvi* által először 2007-ben publikált „ANGEL” hibrid meta-heurisztikus módszer használata megmutatja, hogy egy innovatív modellel, a környezeti, jogi és gazdasági szabályozók által korlátozva, hogyan lehet egyszerűen végrehajtani a települési termálvíz készletek kitermelésének és üzemelésének optimalizálását az idő függvényében.

A TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0002, „A Dél-dunántúli régió egyetemi versenyképességének fejlesztése” projektben megismert Bólyi Termálprojekt és a Szigetvári Gyógyfürdő gyakorlati példája mutatja be, hogy a kutatási eredmények miként alkalmazhatóak a területfejlesztésben.

1.2. A kutatás módszertana, felépítése

A dolgozatban a kutatási kérdések megválaszolása érdekében tett egymásra épülő lépések határozták meg a kutatás tematikáját és a dolgozat felépítését. Szekunder és primer kutatások alapján, kvantitatív és kvalitatív technikák alkalmazásával történt a kutatási terület elemzése. Az első lépés a kutatási tématerületre vonatkozó elméleti háttér felkutatása volt. Ez magába foglalta a hazai- és nemzetközi szakirodalom tanulmányozását, a statisztikai adatbázisok elemzését és a területfejlesztési koncepciók és tervek feldolgozását. A primer kutatás személyes interjúk és kérdőíves felmérések alkalmazásával folyt.

A disszertáció hat fejezetben foglalja össze a vizsgált főbb kérdéseket. A dolgozat céljának meghatározását és a módszertan bemutatását követően a második fejezet a területfejlesztés és a geotermikus energia kapcsolatát mutatja be a Baranya Megyei Területfejlesztési Program prioritásain és kiemelt projektjein keresztül. A harmadik fejezet a geotermikus készletek megújulását-, a negyedik fejezet a használatuk fenntarthatóságát vizsgálja. Módszertani szempontból mindkét fejezet két részre tagolódik. A fejezetek elején az elméleti rész a széleskörű magyar és nemzetközi szakirodalom feldolgozásán alapul, a fejezetek második fele bemutatja a kutatási célokkal összefüggő kutatást és a kapott eredményeket. A dolgozat ötödik fejezetében két esettanulmányon – a Bólyi Termálprojektben és a Szigetvári Gyógyfürdőn - keresztül, a gyakorlatban igazoljuk a tézisek helyességét,

alkalmazhatóságát. A dolgozat utolsó fejezetének középpontjában a kutatások során kapott új eredmények bemutatása áll.

1.3. Kutatási hipotézisek

A kutatási célokkal összhangban a kiinduló információk és a kutatási területen szerzett tapasztalatok alapján a kutatás kiinduló pontja az alábbi hipotézisek megfogalmazása volt.

H.1. *Magyarországon az összes eddigi geotermikus fúrás adatainak adatbázisba gyűjtése segíthetné a felszín alatti heterogén és anizotrop földtani környezet megismerését. Az adatbázis kellőszámú mérési adataival a termodinamikai és áramlási modellek numerikus kezelése biztosabb, a valóságos természeti folyamatokat jobban megközelítő eredményeket adna.*

H.2. *Az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának helyi vizsgálatok a regionális szinten használatos végeelem módszer nem köthető a lokális kutakhoz extrapolálással, ezért ilyen esetben a koncentrált paraméterű modell írja le a valóságot.*

H.3. *Az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatok a koncentrált paraméterű modell numerikus megoldását szimbolikus megoldással lehet helyettesíteni.*

H.4. *A koncentrált paraméterű modell szimbolikus megoldása megoldja a Sigurðardóttir és társai által 2010-ben publikált döntéstámogató rendszer legfontosabb módszertani problémáját az optimalizálás hosszú távú vizsgálatát.*

H.5. *Az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszereknél a hosszú távú fenntartható kitermelési mód bizonytalanságának kezelését a döntés támogató rendszerek megoldják.*

A kutatási hipotézisek megfogalmazása egyben a kutatási célok bemutatásaként is szolgál.

2. A TERÜLETFEJLESZTÉS ÉS A GEOTERMIKUS ENERGIA KAPCSOLATA

2.1. A területfejlesztés célja és eszközei

A területfejlesztés célja, hogy a fenntartható fejlődés biztosítása mellett ideális gazdasági, település- és térszerkezet alakuljon ki, és az embereknek legyen lehetőségük lakóhelyük értékeit megőrizni és újakat teremteni a helyi erőforrások felhasználásával. 1996. évi XXI. törvény 5. §-a a következőképpen definiálja a területfejlesztés fogalmát. *„Területfejlesztés: az országra, valamint térségeire kiterjedő társadalmi, gazdasági és környezeti területi folyamatok figyelése, értékelése, a szükséges tervszerű beavatkozási irányok meghatározása, rövid-, közép- és hosszú távú átfogó fejlesztési célok, koncepciók és intézkedések meghatározása, összehangolása és megvalósítása a fejlesztési programok keretében, érvényesítése az egyéb ágazati döntésekben.”*

Az emberek számára fontos, hogy megfelelő infrastruktúra álljon rendelkezésére, gazdasági és életkörülményeik folyamatosan emelkedő tendenciát mutassanak és érezzék jól magukat azon a helyen, ahol élnek és dolgoznak. Az identitástudat megőrzése egy hely és egy közösség tartós fejlődésének egyik kulcsa.

2.1.1. A területfejlesztés alapelvei

Az 1988-ban elfogadott európai charta a regionális politikai eszközök hatékonyabb összehangolását, az erőforrások szerkezeti problémákra való összpontosítását tűzte ki célul. A reform során az alábbi szervezési elvek váltak a regionális politikai meghatározó tényezőivé.

Szubszidiaritás és decentralizáció - a területi döntéshozók önállósága belső erőforrásaik és a nemzeti stratégia összehangolásában.

Partnerség - a különböző ágazatok és szektorok, valamint szintek intézményes koordinálása.

Programozás - a korábbi projekt szemlélet helyett, alulról építkező stratégiai és operatív tervezés.

Koncentráció és adicionalitás - a fejlesztési célok és támogatandó területek pontos körülhatárolása, külső erőforrások bevonása. (Pálné Kovács, 2004).

2.1.2. A területfejlesztés intézmény rendszere Magyarországon

A területfejlesztés jogi alapját az 1996-ban az országgyűlés által elfogadott „Törvény a területfejlesztésről és területrendezésről” törvény (1996. évi XXI. törvény) képezi, amelyik meghatározta a területfejlesztés intézményrendszerét is. Az intézményrendszer, és egyben a tervfajta alapja az országos területi beosztás, aminek a következő szintjei alakultak ki.

Települési szint, az intézményrendszer legalsó szintje, választott köztestület a települési önkormányzat. Az önkormányzat képviselőtestülete fogadja el a településfejlesztési koncepciót.

Kistérségi szint¹, a természet- és gazdaságföldrajzi szempontból tényleges életközösséget alkotó, szomszédos települések alulról szerveződő csoportja. Választott köztestülete nincsen, intézményi formája a Területfejlesztési Önkormányzati Társulás.

Megyei szint, a tradicionális 19 megye történelmi hagyományokkal rendelkező, de felülről lefelé szervezett, államigazgatási szerepet is betöltő területi rendszer. Választott köztestülete a Megyei Közgyűlés, élén a megyei közgyűlés Elnökével. Területfejlesztést koordináló testületei a Megyei Területfejlesztési Tanács, ami elfogadja a Megyei területfejlesztési koncepciót.

Regionális szint, a régió összefüggő, természet- és gazdaságföldrajzi szempontból összetartozó, nagyobb térséget jelent, függetlenül a közigazgatási beosztástól. Választott köztestületük nincsen, intézményi formájuk a Regionális Területfejlesztési Tanács; ami elfogadja a Regionális területfejlesztési koncepciót.

Országos szint, élén az országgyűléssel. Területfejlesztési koordinációs testülete az Országos Területfejlesztési Tanács. Az egész országot lefedő területfejlesztési terv az Országos Területfejlesztési Koncepció. Többek közt e koncepció keretében határozták meg a 7 régiót, mint tervezési- statisztikai egységeket is (Meggyesi, 2006).

¹ 2014. február 25-ével megszűntette a 2014. évi XVI. törvény

2.1.3. Területfejlesztési tervfajták

A területfejlesztés tervfajtáinak elnevezésében két, egymásra épülő fogalom szerepel, a *koncepció* és a *program*. A *koncepció* mindig hosszú távú, átfogó és komplex fejlesztési dokumentumot jelent, míg a *program* a koncepció alapján kidolgozott középtávú cselekvési tervet (Meggyesi, 2006).

2.1.3.1. Területfejlesztési koncepciók

A területfejlesztési koncepció egy adott térség átfogó, hosszú távú, komplex fejlesztését megalapozó dokumentum. Feladata az, hogy az adottságok komplex vizsgálata alapján és döntési változatok mérlegelésével meghatározza a térség fejlesztési céljait és a fejlesztési programok kidolgozásához szükséges irányelveket. Emellett információkat biztosít az ágazatok, az önkormányzatok és a fejlesztés szereplői számára, és ezzel fontos orientációs, koordinációs szerepet tölt be. A területfejlesztési koncepció általában két fázisból: az előkészítő és a javaslattevő fázisból áll.

2.1.3.2. Területfejlesztési programok (területfejlesztési tervek)

A területfejlesztési programok a területfejlesztési koncepciók alapján kidolgozott középtávú cselekvési tervek, ezért gyakran terv szerepel az elnevezésében a program helyett. A területfejlesztési tervek tartalmazzák a térségen tervezett fontosabb fejlesztési elhatározásokat, megbecsülik a megvalósításukhoz szükséges erőforrásokat, és megjelölik a fejlesztésben együttműködő partnereket. A területfejlesztési program formálisan *stratégiai* és *operatív* programra bontható, jöllehet a két dokumentum integrálható is.

A stratégia, a településfejlesztési koncepció stratégiai munkarészeivel analóg módon, meghatározza a térség jövőképét, a fejlesztési célokat és azokon belül a preferenciákat, a külső környezetben bekövetkező változások esetén az alternatív fejlesztési forgatókönyveket.

Az operatív program a stratégiai program céljait *konkrét projektekre* bontja le, megjelöli a megvalósításukhoz szükséges szervezeteket, a finanszírozás módját, és meghatározza a megvalósítás határidőit. A hazai gyakorlatban, az Európai Unió különböző fejlesztési alapjaihoz való hozzáférés biztosítására való tekintettel, a következő területfejlesztési programok jöttek létre: Átfogó Fejlesztési Terv, Nemzeti Fejlesztési Terv, Regionális Fejlesztési Programok, Kiemelt Térségek Fejlesztési Programjai.

2.1.3.3. Területrendezési tervek

A területrendezési tervek fő feladata a területhasználat módjának szabályozása. Tekintettel arra, hogy ez tulajdonosi jogokat érinthet, a terv érvényességéhez a területegység választott közhatalmi testületének jóváhagyása is szükséges. A területfejlesztési és a területrendezési tervek közti viszony a településfejlesztési és településrendezési tervek közötti viszony analógiájára fogható fel. A területrendezési tervek szerepe részben a területfejlesztési tervek elhatározásainak konkrét területi-ökológiai-műszaki vetületeinek meghatározása, másrészt a településfejlesztési koncepciók megalapozása. Ez utóbbi kapcsolódás annyira szoros, hogy a területrendezési tervek előkészítő munkarészeit, a vizsgálatokat és a tervezési programot, a településfejlesztési és -rendezési tervekben érvényesíteni kell.

A terület- és településrendezési tervek olyan összehangolt rendszert alkotnak, amelyen belül az országos és a kiemelt térségekre vonatkozó területrendezési tervek elsőbbséget élveznek a megyei területrendezési tervekhez képest, míg a településrendezési terveknek mindhárom korábbi tervfajtaához igazodniuk kell.

A területrendezési tervek elfogadott munkarészeit a települési önkormányzatoknak a településrendezési tervek rendelettel megállapított munkarészeibe kötelezően be kell építeniük, hiszen ezek olyan, a térség egészét érintő összefüggéseket, fejlesztési elhatározásokat és érdekeket képviselnek, amik települési szinten, önállóan nem kezelhetők. A területrendezési tervek munkarészei a térségi szerkezeti terv, a térségi szabályozási terv, a térségi területrendezési szabályzat és a területrendezési intézkedési javaslat.

A több települési önkormányzat céltársulásaként készült, több szomszédos településre együtt készült rendezési tervek nem tekinthetők önálló területrendezési terveknek, mivel ezek tartalma, egyeztetési és jóváhagyási eljárásuk, valamint joghatályuk szerint is megegyeznek a településenként külön-külön készült településrendezési tervekkel. A területrendezési tervek fontos és szerves része a térképi ábrázolás. Az országos területrendezési terv léptéke $M=1:100\ 000$ -tól $1:500\ 000$ -ig, a kisebb területre készülő területrendezési tervek léptéke $M=1:50\ 000$ -tól $1:100\ 000$ -ig tart.

2.1.4. Vidékfejlesztés

2.1.4.1. A vidékfejlesztés céljai és feladatai

Azt a települést tekintjük „vidékinek”, amelyik városi jogállással nem rendelkezik, vagy városi státusa van, de lakos száma 10 ezer főnél kevesebb. Vidéki jellegűnek tekinthetjük az olyan térséget, ahol a vidéki településekben élő népesség aránya 15%-nál több. A vidékfejlesztés sajátos, egyedi tulajdonságokkal (természeti, kulturális értékekkel) is rendelkező, de elsősorban mezőgazdasági területhasználattal és foglalkoztatottsággal bíró vidéki térségek fejlesztésére irányuló politika és stratégia. Az előbbieken definiált vidéki térségek ill. a vidékfejlesztés az ország területének csaknem 85%-át fedi le (Meggyesi, 2006).

A vidékfejlesztés egyik fontos feladata a vidéki népesség megtartása és sokszínű megélhetésének helyben történő biztosítása, a természeti környezet fenntartása és „újratermelése”. A vidékfejlesztés legfontosabb céljai és feladatai ezért a következők.

Az erőforrások ésszerű használata. Ez önmagában is összetett célkitűzés, ami magába foglalja a biológiai élettér fenntartását, a természeti erőforrások és térhasználati módok, vagyis a kultúrtáj egységének megőrzését, a humán erőforrások terén az agrárértelmiség elvándorlásának megakadályozását és az esélyegyenlőség megteremtését az iskoláztatás terén.

Fenntartható gazdaságfejlesztés, ami a környezetterhelést csökkentő mezőgazdasági technológiák és üzemméretek alkalmazását, az agrárgazdaság ésszerű szerkezetének kialakítását és az egységes piaci megjelenés feltételeinek megteremtését jelenti. Ide tartozik a vidéki foglalkoztatási és kereseti viszonyok javítása és sokféleségük biztosítása a belső erőforrásokra támaszkodó fejlesztés előmozdításával, a fiatalok és a vállalkozó vidékiek kötődésének erősítésével a vidéki életkörülmények javítása a munkahelyteremtéssel, lakáshoz jutás feltételeinek javításával, az ellátás és az infrastruktúra fejlesztésével.

A **közösségi és kulturális értékek,** valamint a település sajátos szerkezetének, beépítési formáinak, a településképnek és a helyi identitást őrző építményeknek a **megőrzése és fenntartása** a különböző szakmai és társadalmi szervezetek, kistérségi társulások, kulturális egyesületek támogatásával.

2.1.4.2.A vidékfejlesztési programok

A vidékfejlesztési program olyan, az érintettek közös megállapodásán nyugvó fejlesztési dokumentum, ami a stratégiának és a kijelölt prioritásoknak megfelelően választott (támogatott) projektekből tevődik össze és ami

- az adott térség komplex fejlesztésére képes,
- a helyi adottságokra és problémákra épül,
- érvényesíti a fenntarthatóság elvét (természeti erőforrások használata, emberi tényező, környezetminőség),
- az érintett térségben élőkre a családok, az egyes ember szintjéig hatással van,
- tartalmazza a megvalósítás feltételeit (feladatok, költségek, források, felelősök) és határidőket.

2.1.5. A területfejlesztés és vidékfejlesztés viszonya

A területfejlesztés biztosítja a regionális szintű beruházások megvalósítását, és ezzel mintegy megteremti a vidékfejlesztés „fizikai” háttérét. De míg a területfejlesztés homlokterében a gazdasági-műszaki fejlesztés és annak finanszírozása áll, addig a vidékfejlesztés célja elsősorban az emberi erőforrások és a helyi közösségek szereplőinek aktivizálása, valamint a kultúrtáj és a települési hagyományok megőrzése.

	Területfejlesztés	Vidékfejlesztés
lépték	jellemzően nagyléptékű (ország, régió, megye)	jellemzőn kisléptékű (járás)
jelleg	földről lefelé irányuló	alulról fölfelé irányuló
tartalom	nagytérségi közlekedési és egyéb infrastruktúra hálózatok, nagy volumenű beruházások	helyi erőforrások aktivizálásával a helyi adottságok hasznosítása
társadalmi hatás	elsősorban közvetett módon, és csak közép- ill. hosszabb távon érvényesül	elsősorban közvetlen módon hat az emberekre és már rövid távon belül is érvényesül
állami szerepvállalás	döntő , meghatározó	orientáló , kezdeményező, támogató
finanszírozás	társfinanszírozás, de döntően állami (és EU) közpénzekből	társfinanszírozás, de döntően helyi, saját ill. decentralizált állami (és EU) forrásokból

1. táblázat: A vidékfejlesztés és a területfejlesztés közötti különbségek

Forrás: Meggyesi (2006), saját szerkesztés

A vidékfejlesztés, miután jellegzetesen a járások, települési szövetségek ill. alulról szerveződő önkormányzati társulások keretében realizálódik, ezért természetes módon illeszkedik a hazai területfejlesztési rendszerhez. A vidékfejlesztés és a területfejlesztés közti különbségeket az 1. táblázat foglalja össze (Meggyesi, 2006). A vidékfejlesztési program módszertanilag megfelel a területfejlesztési program kategóriájának. A terület- és vidékfejlesztésben érdekelt szereplők összehangolt fellépését integrált vidékfejlesztésnek nevezik.

2.2. Baranya Megyei Területfejlesztési Program 2014

A területfejlesztésről és a területrendezésről szóló 1996. évi XXI. törvény módosítása 2012. január 1-től a területfejlesztési feladatokat területi szinten a megyei önkormányzatok hatáskörébe utalta. Ehhez kapcsolódóan a Baranya Megyei Önkormányzat kiemelt területfejlesztési feladata volt a 2014-2020-as uniós programidőszakhoz kapcsolódó fejlesztések megalapozásával összefüggésben a megyei területfejlesztési koncepció, területfejlesztési program és a kapcsolódó uniós részdokumentumok elkészítése. A 2014 őszére elkészült programban az alábbi célok meghatározása történt.

2.2.1. Stratégiai célok 2020

A megyei területfejlesztési program középtávon értelmezett programdokumentum, mely 7-10 éves időtávban foglalmazza meg a megye terület- és vidékfejlesztéshez kapcsolódó vállalásait, határozza meg a koncepcióban megfogalmazott célok megvalósulását elősegítő intézkedéseket. Ennek megfelelően a területfejlesztési program stratégiai programrésze valamennyi helyi, térségi fejlesztési szükségletet számba veszi, a tervezés így a lehetséges finanszírozási forrásoktól függetlenül minden meglévő igényre reflektál.

A programdokumentum stratégiai fejezeteiben találhatóak olyan átfogó- és stratégiai célok, mint a helyi gazdaságok fejlesztése, tartós növekedésre képes gazdaság megteremtése, piaci igényekre reagálni képes emberi erőforrás fejlesztés, társadalmi felzárkózás elősegítése, stratégiai erőforrások fenntartható használata, elérhetőség és mobilitás javítása, nagytérségi csomóponttá válás.

2.2.2. Területi célok 2020

Baranya megyében az egyes térségek eltérő fejlettségi szintje, ill. területi sajátosságai okán is kiemelten fontos a tématerületi, szakterületi célkitűzések mellett az ún. területi célokat is megfogalmazni. A területi célok mentén tett lehatárolások a következők.

1.Hátrányos helyzetű, fejletlen gazdaságú térségek komplex fejlesztése Baranya megye nyugati felén (Ős-Dráva program területe, Szigetvár, Sásd térsége.

2.Termelési szerkezet átalakítás, gazdasági szemléletváltás Pécs és agglomerációja területén, illetve Komló és térségében.

3.Helyi adottságokra, komparatív előnyökre és lehetőségekre épülő vidék- és gazdaságfejlesztés kiemelten Mohács-Bóly és Villány-Siklós-Harkány térségében.

4.Baranya megye horvát határ menti térsége határon átnyúló kapcsolatainak javítása elsősorban közlekedési, gazdasági téren .

2.2.3. Prioritások 2014-2020

A programdokumentum stratégiai fejezeteiben került meghatározásra és bemutatásra a megye középtávú céljait szolgáló hat prioritás és annak intézkedésrendszere.

A megyei területfejlesztési program prioritás struktúrája logikájában a stratégiai célrendszer által kijelölt fejlesztési irányokat követi. Minden prioritás egy stratégiai cél megvalósulásával van szoros összefüggésben, de egy adott prioritás az esetek többségében egyszerre több stratégiai cél eléréséhez is hozzájárul. A hat prioritás a következő.

1. „A helyi erőforrásokon alapuló gazdaság megerősítése a lokális gazdasági környezet integrált fejlesztésével” című prioritása a helyi gazdaságok fejlesztése, valamint a piaci igényekre reagálni képes emberi erőforrás fejlesztés stratégiai célok megvalósulását szolgálja.
2. „A külső erőforrásokra is támaszkodó, a termelési kapacitások növelésére alapozott versenyképes gazdaság megteremtése a megyében” című prioritása a tartós növekedésre képes gazdaság megteremtése stratégiai cél megvalósulását szolgálja.

3. "A piaci igényekhez rugalmasan illeszkedő képzési struktúra kialakítása és fejlesztése" című prioritása a piaci igényekre reagálni képes emberi erőforrás fejlesztés, valamint a társadalmi felzárkózás elősegítése stratégiai célok megvalósulását szolgálja.
4. "Az élhetőbb települések, élhetőbb közösségek kialakulását szolgáló komplex fejlesztések, egészségtudatosság és egészségügyi prevenció az egészséges munkaképes társadalom biztosítása érdekében" című prioritása a piaci igényekre reagálni képes emberi erőforrás fejlesztés, valamint a társadalmi felzárkózás elősegítése stratégiai célok megvalósulását szolgálja.
5. "A természeti erőforrások fenntartható használatán alapuló és klímataudatos környezetgazdálkodás feltételeinek megteremtése" című prioritása a stratégiai erőforrások fenntartható használata stratégiai cél megvalósulását szolgálja.
6. „Az elérhetőség javítása, fenntartható közlekedési rendszerek létrehozásának előmozdítása" című prioritása az elérhetőség és mobilitás javítása, valamint a nagyterületi csomóponttá válás stratégiai célok megvalósulását szolgálja.

A programban meghatározott fejlesztési igények jól tükrözik Baranya megye azon elkötelezettségét, hogy a megye két legjelentősebb kitörési pontja a gazdaságfejlesztés, valamint a közlekedésfejlesztés, ezért a tervezett fejlesztési források túlnyomó részét is ezeknek a fejlesztési irányoknak a megvalósítására kell fordítani. A program területi jellegénél fogva kiemelt szerepet szán a komplex térségi fejlesztéseknek, az együttműködésben megvalósítandó programoknak, kiemelt projekteknek.

A Baranya Megyei Önkormányzat meghatározta azokat a megye számára kiemelten kezelendő komplex fejlesztéseket, melyek Baranya megye gazdasági fellendülésének alapjait jelenthetik. E programok közös jellemzője, hogy csakis több területi és ágazati szereplő szoros együttműködésével valósíthatóak meg hatékonyan. A fentiek szellemében Baranya megyében különösen a következő **kiemelt programcsomagok** együttműködésben történő megvalósítása javasolt.

- Ós-Dráva Program (vízkormányzás, tájhasználat váltás és tájtagolás, extenzív állattartás és mezőgazdasági termelés, szociális problémák komplex kezelése képzési és foglalkoztatási programokon keresztül).
- Agrár- és feldolgozóipari fejlesztések Szentlőrinc és Szigetvár térségében.

- Hegyhát Program (természeti igényekhez igazodó mezőgazdaság támogatása, vízrendezési és vízvisszatartási program, a helyi közösségek és a helyi gazdaság újraépítése).
- Kistelepülések korszerű szennyvízkezelése (költség- és környezetkímélő (lehetőleg természet-közeli) szennyvíztisztítási technológiák kiépítése, közcsatornázást nem igénylő, szakszerű, egyedi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmények és egyedi szennyvíztisztító kisberendezések alkalmazása).
- Pécs, mint egyetemi tudásbázis nagytárségi kutatás-fejlesztési és innovációs központtá fejlesztése.
- Pécs gazdasági potenciáljának erősítése. Ennek keretében cél, hogy Pécs szolgáltató és kereskedelmi funkciói mellett, a fenntarthatósági szempontokra különös figyelemmel megvalósuljon Pécs újraiparosítása. Ennek keretében a város infrastruktúra fejlesztésein keresztül lehetőséget kíván teremteni a nagyvállalatok letelepítésére, de minden eszközt biztosítani kíván a helyben már eredményesen működő vállalkozások igényeinek kielégítésére is.
- Komló és térsége ipari megújítása (elhagyott bányaiipari létesítmények újrahasznosítása; új ipari-szolgáltató tevékenységek megtelepedése; tiszta szén technológiával történő kitermeléssel kapcsolatos fejlesztések).
- Kerékpáros közlekedési infrastruktúra és kerékpáros szolgáltatások fejlesztése Baranya megyében (EuroVelo 6 (Duna menti kerékpárút) fejlesztése; EuroVelo 13 (Dráva menti kerékpárút) fejlesztése; nemzetközi útvonalak Mohács térségében való összekötése; Pécs hálózatba történő bekötése).
- Vállalkozói környezet fejlesztése, vállalkozási feltételek javítása Pécs - Bóly - Mohács térségében.
- Egészségipari és egészségturisztikai fejlesztések Dél-Baranyában (Villány-Siklói Borút gasztró-turisztikai fejlesztése; Villány-Siklós és Mohács-Bóly fehérborút együttműködéseinek támogatása; Harkányi Gyógyfürdő fejlesztése).
- Zengő program (Zengő farm és mintagazdaság; keresletnövekedés kielégítése a helyi szolgáltatások, termékek kínálatával; integrált idegenforgalmi program – Zengő Élmenykörút; Zengő kerékpár körút).
- Épített kulturális örökség fejlesztése Baranya megyében (kulturális örökségturizmus fejlesztése; várak, kastélyok megőrzése, helyreállítása és hozzáférhetővé tétele).

- Baranya megye közlekedési zártságának oldása, gazdasági kapcsolatainak fejlesztése (Vejti és Podravska Moslavina között tervezett komp-közlekedés kialakítása; 67. sz. főút Szigetvár-országhatár közötti szakaszának megépítése (Zaláta - Dráva híd megépítése) a meglévő szakaszok korszerűsítése; Sárók és Knezevo közötti közúti átkelés biztosítása; M6 és M60 autópályák országhatárig történő megépítése és az ezekhez kapcsolódó lehetséges határátkelési pontok előkészítése).

2.3. A geotermikus energia szerepe a területfejlesztésben

Mielőtt részletesebben bemutatjuk, hogy a termálvíznek milyen szerepe lehet a megye területfejlesztési terveinek megvalósításában, célszerű megismerni a geotermikus rendszerek hatásait. A geotermikus energia környezetre-, társadalomra- és gazdaságra gyakorolt hatása befolyásolhatja szerepét a területfejlesztési programokban.

2.3.1. A geotermikus energia környezeti hatásai

A geotermikus kifejezés görög eredetű, jelentése földi hő. A földhő a Föld mélyében lévő kőzetek radioaktív bomlásából származik és sugárzás, áramlás, vezetés révén a Föld felszíne felé áramlik és lép ki az atmoszférába. Az 1960-as években a geotermális energiát „*tiszta energiaként*” könyvelték el. Ez a hagyományos energiatíppal történő összehasonlításban igaz is, de az is tény, hogy a geotermikus energia kitermelése és előállítás is változást okoz a természetben. Megfelelő odafigyeléssel a geotermikus energia kiaknázása a többi energiahordozónál kisebb mértékben befolyásolja a környezetet (Lemale és Jaudin, 1998 In: Mádliné Szőnyi, 2006).

A környezeti hatásokat illetően különbség van a folyadékbázisú (termálvíz) és a földhőt hasznosító technológiák között. A földhő szivattyúkat tekintik környezetvédelmi szempontból a legoptimálisabb megoldásnak, mivel minimális a környezetterhelés és a gazdasági haszon aránya. Nincs szállítási-, tárolási- és működési kockázatuk, nem szennyezik a felszín alatti vizeket és emisszió mentesek.

A közvetlen hőhasznosítás és a geotermikus áramfejlesztés nemcsak a környezetre, hanem a hasznosítás környezetében élő emberekre is hatással van. Egy geotermikus beruházás elsősorban létesítésének időszakában terheli

a környezetét. Jellemző kis területigényük (alapterületük) miatt nem jelentenek korlátokat a mezőgazdasági termelés számára, általában alacsony építésűek (nincsenek magas tornyok), a környezet fásításával a tájképet megzavaró hatásuk jelentősen csökkenthető.

A geotermikus energia használatának környezeti előnye, hogy CO₂ kibocsátást takarít meg. Ennek mértéke a geotermikus energia kinyerésének módjától függ. A geotermikus erőművek működése globális átlagban 120 g CO₂/kWh kibocsátással jár, míg Európában a fosszilis forrásból történő áramtermelés CO₂ emissziója 500 g/kWh (Fridleifsson et al., 2008). A közvetlen geotermikus hőhasznosítás minimális CO₂ emisszióval jár (0,0–0,3g/TJ), ez nagyságrenddel kevesebb, mint a fosszilis energiahordozók elégetésekor keletkező mennyiség. Mivel a geotermikus energia hasznosításával fosszilis tüzelőanyagokat vált ki, a hévíz CO₂ tartalma mindig egy sokkal nagyobb CO₂ kibocsátást helyettesít, így annak környezetkárosító hatásáról beszélni értelmetlen dolog. A mesterségesen kifejlesztett földhőrendszer zárt rendszerben működik, tehát CO₂ kibocsátása nincs.

„A geotermikus energiatermelő kutakból származó víz vagy gőz gyakran tartalmaz hasznosítható mennyiségű metánt. A metán üvegház-hatása sokszorosa a széndioxidnak, de szeparátorral történő leválasztásával és elégetésével járulékos energiaforrás is lehet belőle. A hajdúszoboszlói termálkutakból nyert metánt már a két világháború között hasznosították, többek között a MÁV személy kocsijainak világítására” (Bobok E. – Tóth A., 2010. 934.p.).

A kitermelt hévizek mérgező anyagokat, higanyt, ólmot, arzént, cinket, sőt uránt is tartalmazhatnak, amelyek a csurgalékvízből biotechnológiai úton hatékonyan eltávolíthatók.

A geotermikus projektek megvalósítása során a legnagyobb zajterhelést (85–115 dB) a fúrás, a kútvizsgálat és az esetleges rétegrepezetés munkálatai okozzák. Egy működő geotermikus erőmű általában a 70–83 dB tartományban üzemel (egy forgalmas városi utca zajszintje 70–85 dB) ami az Európai Unió szigorú zajvédelmi előírásainak is megfelel a belterületi telepítésű geotermikus erőművek esetén.

A természetes hidrotermális rezervoárok műveléséhez kapcsolódó jelentős, felszínen megjelenő szeizmikus hatás valószínűsége csekély. Mesterséges HDR tárolók kialakításakor a hidraulikus rétegrepezetés jelentős

csúsztató- és húzófeszültségeket ébreszt a kőzettestben, mikroszeizmikus rezgéseket keltve.

A geotermikus beruházásoknál földcsuszamlást legtöbbször csak a rosszul megválasztott helyszín okozhat. Természetes, hidrotermális tározókra telepített rendszereknél földcsuszamlás ritkán fordul elő, és leginkább csak közvetett hatásai (kútszerkezet vagy gyűjtővezeték sérülés) jelentkeznek.

A használt hévizek elhelyezése még napjainkban is sok helyen élővízfolyásokba, belvíz- és öntözőcsatornákbá, tavakba és holtágakba történt. Ezek a közvetlenül környezetkárosító (hő- és só-szennyezéssel járó) megoldások nagyban veszélyeztetik a környezetet. Kiküszöbölésük egyik lehetséges megoldása, amikor a felhasznált vizet pihentető tóba engedik, majd hosszabb, több hónapos pihenés, öntisztulás után engedik tovább. A hőterhelés csökkentésének egy másik lehetséges módja a kaszkádos, többlépcsős termálvízhasználat kialakítása. Ennél a megoldásnál a termálvizet a legalacsonyabb hőfokig hasznosítják, így a természetbe kibocsájtott víz hőmérséklete már nem okoz hőszennyezést. Harmadik környezetjavító megoldás lehet a használt víz visszasajtolása a földbe. A folyamatosan változó hazai szabályozás jelenlegi állása szerint, az energetikai célú termálvíz-hasznosítást követően nem kell a vizet visszasajtolni 2025-ig.

Előbbiekből látható, hogy a geotermikus energia alkalmazásával is károsodik, károsodhat a környezet, azonban ez nagyságrendekkel kisebb, mint a fosszilis energiaforrások igénybevételekor. A fosszilis energiahordozók alkalmazásához képest a geotermikus energia felhasználása nagymértékben csökkenti a környezetszennyezést, így gazdaságossága mellett egyre erősebb érvenként szerepel környezetkímélő jellege is (Bobok és Tóth, 2010).

2.3.2. A geotermikus energia használatának társadalmi hatásai

A geotermikus beruházások sikerességét meghatározza, megvalósítását befolyásolja a környező lakosság véleménye. A nagyobb beruházások elkerülhetetlenül bizonyos lakossági- és környezeti érdekeket sértenek. Az állampolgárt döntésében befolyásolhatja a technológiáról alkotott ismerete, illetve saját szempontjai, mint például, hogy mennyire kényelmes, megbízható, zavaró hatásoktól mentes az adott szolgáltatás. A felvilágosítás, a hatékony oktató-nevelő munka elősegíthetik a kedvező lakossági szemlélet kialakulását.

A geotermikus iparág folyamatosan új munkahelyeket teremt, új szakmák megjelenésével jár. Jó példa erre az Egyesült Államok, ahol az elmúlt évtizedben 11500 új munkahelyet hoztak létre a geotermikus fejlesztések (Bohoczky, 2007). A környezetvédelmi ipar az EU-ban is évente 7-10 %-kal növeli a teljesítményét. 2008-ban az úgynevezett „zöld ipar” a GDP 2,1 %-át állította elő és 3,5 millió dolgozót foglalkoztatott. 2009-ben az EU-ban a megújuló energiaszektor 450 ezer embert foglalkoztatott, amely szám 2020-ig elérheti a 2 milliót (Buday-Sántha, 2011). Mivel a megújuló energiákat, így a geotermikus energiát is helyi szinten, lokálisan célszerű használni, ezért az ilyen típusú beruházások gyorsíthatják a vidék gazdaságának fejlődését, megindíthatja a hátrányos helyzetű térségek, települések felemelkedését.

A megújuló energiaforrások széles körű elterjedésében nagy szerephez jut a társadalmi tudatosság. Az alternatív energiahordozók lassú elterjedésének egyik oka a társadalmi ismertségének és elfogadottságának alacsony foka, hiánya. A lakosság számára meghatározó szempont az energiára fordított kiadás mértéke is, hisz a fogyasztó csak akkor fog egy technológiát választani, ha olcsóbban jut hozzá, mint a hagyományos energiahordozókhoz (Ekéné Zamárdi - Baros, 2007).

2.3.3. A geotermikus energia használatának gazdasági hatásai

Az alternatív energiák megítélésénél, így a geotermikus beruházásoknál is kulcskérdés a fajlagos beruházási költségek csökkentése. A megújuló energiák gazdasági elfogadottságánál, gazdasági hasznosításánál, visszahúzó erő a berendezések telepítésének rendkívül magas fajlagos költsége. Az energianyeréshez szükséges berendezéseket kis szériában gyártják, költséges és drága anyagból készülnek. Az alternatív energiák magas fajlagos költségének további oka kis teljesítménysűrűségük, mely miatt viszonylag nagyméretű, anyagigényes berendezésekkel kell az energiát összegyűjteni (Vajda, 2001). *„Az alacsony energiasűrűség miatt az alternatív energiarendszerek helyi, települési, kistérségi feladatok ellátására alkalmasak, ebben az esetben rendelkeznek kedvezőbb gazdasági mutatókkal”* (Buday-Sántha, 2003. 45.p).

Más megújuló energiákkal összehasonlítva a geotermikus energia projektek jelentős kezdeti költségekkel járnak, az üzemelési költségük viszont alacsony. A befektetések szempontjából az egyik legnagyobb akadályt az jelenti, hogy az erőforrás meglétére és minőségére az első feltárásig nincs bizonyíték, ezért az előzetes megvalósítási fázisban nagy a kockázat. Tökére a projekt legkockázatosabb, legbizonytalanabb szakaszában van szükség,

amikor a projektbe fektetett saját tőke megtérülésére egyáltalán nem biztos. Pedig a befektető számára a saját tőke megtérülése a legfontosabb. A fűrés sikerének pillanatában a kockázat csökken és egy elfogadható szintet ér el (GEOFAR, 2009).

A geotermikus energia árára jellemző, hogy nem követi az olaj- és gázárak hektikus ingadozásait, viszont erős energiaipari cégekkel kell versenyeznie a piacon. Elterjedésének akár árstabilizáló szerepe lehet a hazai energiapiacra.

A geotermikus projektek beruházásának tervezésekor fontos szem előtt tartani, hogy „a földhő nem alternatív (helyettesítő), hanem additív (kiegészítő) energiaforrás, mely a többi rendelkezésre álló megújuló energiafajtajával együtt sem képes kiváltani a hazai villamosenergia-rendszer CH-bázisú vagy atomerőműveit” (Aszódi, 2005. p.15).

2.3.4. A geotermikus energia lehetséges szerepe a Baranya Megyei Területfejlesztési Programban

A területfejlesztési program második, operatív részében a nagy volumenű, egész megyét érintő ún. húzó projektek és az egyes **prioritások** keretében megvalósításra javasolt projektcsomagok kerültek kidolgozásra, intézkedésenkénti bontásban. Az intézkedési javaslatokat megvizsgálva, az alábbi esetekben lehet szerepe a termálvíznek.

1. „A helyi erőforrásokon alapuló gazdaság megerősítése a lokális gazdasági környezet integrált fejlesztésével” című prioritáson belül négy intézkedés található, ezek az 1.1. Helyi termelésen alapuló ellátás biztonságának fokozása, az öntözéses gazdálkodás feltételeinek javítása; 1.2. Mezőgazdasági termékek helyben történő feldolgozásának és értékesítésének ösztönzése; 1.3. Helyi termékek piacainak kialakulását, megerősödését szolgáló fejlesztések; 1.4. Turisztikai attrakciók és kapcsolódó szolgáltatások fejlesztése.

Az **1.2.** pontban meghatározott feladatokban szerepe lehet a termálvíz használatának. A termálvízzel fűtött üvegházakban mezőgazdasági alapanyagot termelhet a helyi munkaerő, a helyi feldolgozó üzemek részére.

Az **1.4.** intézkedésnél a gyógyturizmusban és a fürdőkultúrában (balneológia) lehet a települési termálvizekre és/vagy gyógyvizekre számítani.

2. „A külső erőforrásokra is támaszkodó, a termelési kapacitások növelésére alapozott versenyképes gazdaság megteremtése a megyében” című prioritása a tartós növekedésre képes gazdaság megteremtése stratégiai cél megvalósulását szolgálja a 2.1. Vállalkozások versenyképességének javítása, termelő és szolgáltató kapacitásaik bővítése; 2.2. Kutatási-fejlesztési és innovációs tevékenységek erősítését szolgáló fejlesztések; 2.3. A gazdaság élénkítését szolgáló együttműködések és kapcsolódó fejlesztések elősegítése; 2.4. Befektetés-ösztönzést szolgáló akciók megvalósítása. Ezekben az intézkedésekben nem juthat szerephez a geotermikus energia.

3. „A piaci igényekhez rugalmasan illeszkedő képzési struktúra kialakítása és fejlesztése” című prioritás intézkedései 3.1. Az alap- és középfokú oktatás eredményességének növelése; 3.2. Piaci igényekre rugalmasan reagálni képes, gyakorlati képzésre koncentrálni szakképzési rendszer fejlesztése; 3.3. A hátrányos helyzetű, alacsony képzettségű lakosság felzárkóztatása és az élethosszig tartó tanulás ösztönzése; 3.4. Piaci igényekre rugalmasan reagálni képes felsőoktatás fejlesztése. A termál energiának nincs és nem is lehet szerepe ezekben az intézkedésekben.

4. „Az élhetőbb települések, élhetőbb közösségek kialakulását szolgáló komplex fejlesztések, egészség tudatosság és egészségügyi prevenció az egészséges munkaképes társadalom biztosítása érdekében” prioritáson belüli intézkedések 4.1. Településfejlesztési akciók megvalósítása; 4.2. Az egészségügyi és szociális ellátórendszer szolgáltatásaihoz való egyenlő esélyű hozzáférést segítő fejlesztések; 4.3. A lakosság egészségmagatartásának fejlesztése; 4.4. Hátrányos helyzetű gyermekek társadalmi felzárkóztatásának és integrációjának elősegítése.

Ebben a program csomagban a **4.3.** területen az egészséges- és egészségtudatos életmódnál, a sport és rekreációs létesítményeknél juthatnak szerephez a megyében található termálvíz felhasználásával üzemelő fürdők.

5. „A természeti erőforrások fenntartható használatán alapuló és klímátudatos környezetgazdálkodás feltételeinek megteremtése” című prioritás a stratégiai erőforrások fenntartható használata stratégiai cél megvalósulását szolgálja a következő öt intézkedéssel 5.1. Vízgazdálkodási és kapcsolódó zöldfelület gazdálkodási fejlesztések megvalósítása; 5.2. A klímaváltozáshoz való alkalmazkodóképesség javítása; 5.3. Környezetvédelmi kommunális infrastrukturális rendszerek fejlesztése; 5.4. Helyi energiaforrások

felhasználására alapozott energiatermelés- és ellátás; 5.5. Tájhasználatból eredő konfliktusok mérséklése, táji- és természeti értékek hosszú távú megőrzése.

A lakosság egészséges ivóvízzel való ellátása az **5.3.** pont egyik feladata. A termálvizek beszerzése mélyfúrású kutakkal történik, ezért ivóvíz céljára megfelelőek, amit az is bizonyít, hogy hazánkban a kitermelt termálvizek közel 30%-át erre a célra használják. Természetesen az ilyen típusú felhasználásokat úgy érdemes kialakítani, hogy a víz hőenergiáját is felhasználják, azaz többlépcsős felhasználást alakítsanak ki.

Az **5.4.** intézkedési csomagban található a szigetüzemű energiatermelő berendezések létrehozása az önkormányzatoknál, önkormányzati intézményeknél és a közösségi távhő rendszerek fejlesztése. E feladatokra is tökéletesen megfelelő a geotermikus energia, hisz hasonlóan más megújuló energiákhoz, jellemzően lokálisan, a meglévő nagy rendszerek kiegészítőjeként célszerű alkalmazni.

Az **5.5.** pontban a halgazdálkodási célú tavak kialakításánál is szerephez juthat a termálvíz, természetesen itt is egy kaszkádos vízhasználat utolsó lépcsőjeként.

6. „Az elérhetőség javítása, fenntartható közlekedési rendszerek létrehozásának előmozdítása” című prioritása az elérhetőség és mobilitás javítása, valamint a nagytérségi csomóponttá válás stratégiai célok megvalósulását szolgálja. 6.1. A megye nemzetközi elérhetőségét biztosító közlekedési infrastruktúra fejlesztése; 6.2. A térségi elérhetőséget javító közlekedési infrastruktúra fejlesztése; 6.3. A közösségi közlekedés infrastrukturális feltételeinek és szolgáltatási színvonalának javítása; 6.4. A közlekedési célú kerékpáros közlekedés feltételeinek javítása intézkedések egyike sem köthető a geotermikus energiához. Ezekben az intézkedésekben nem juthat szerephez a geotermikus energia.

A **kiemelt programcsomagok**at megvizsgálva is található olyan terület, amelyben feladata lehet a geotermikus energiának.

Az „Agrár- és feldolgozóipari fejlesztések Szentlőrinc és Szigetvár térségében” programban a termálvíz hőenergiájának közvetlen hasznosításának lehet szerepe, hisz Szentlőrinc és Szigetvár térségében már üzemelő termál kutak találhatóak, amelyekre települhet ilyen típusú hasznosítás.

A „Vállalkozói környezet fejlesztése, vállalkozási feltételek javítása Pécs - Bóly - Mohács térségében” program esetében is a már meglévő kutakra illetve az ezekre épült rendszerekre lehet támaszkodni a további fejlesztésekben.

A termálvíz (termál gyógyvíz) balneológiai hasznosítása az „Egészségipari és egészségturisztikai fejlesztések Dél-Baranyában (Villány-Siklói Borút gasztro-turisztikai fejlesztése; Villány-Siklós és Mohács-Bóly fehérborút együttműködéseinek támogatása; Harkányi Gyógyfürdő fejlesztése)” programcsomag feladata, melyet a meglévő fürdők további fejlesztésével lehet megvalósítani a megye déli részén.

Az előbbiekből látható, hogy a Baranya Megyei Településfejlesztési Program hat prioritása közül háromban, és a tizenhárom kiemelt programcsomagok közül is három területen juthat szerep a geotermikus energiának. A területfejlesztés szempontjából a geotermikus projekteknél fontos a termálvíz készletek megújulásának üteme és hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának meghatározása. A hosszú távú fenntarthatóságot a geotermikus készletek esetén az határozza meg, hogy a megújulás és a kitermelés milyen kapcsolatban áll egymással, ezért a dolgozat következő két fejezetében az termálvíz készletek megújulásával és fenntartható kitermelési módjával foglalkozik.

3. GEOTERMIKUS RENDSZEREK - A GEOTERMIKUS KÉSZLETEK MEGÚJULÁSA

Geotermikus energia alatt a földi hőáram következtében a földkéregben mindenütt jelenlévő nem szoláris eredetű belső hőt értjük. Mivel a földhő eredete a többi megújuló energiaforrással ellentétben nem a Napban végbemenő termonukleáris reakcióból ered, ezért a szó szoros értelmében a geotermikus energia nem is nevezhető megújuló energiának (Böszörményi, 2008). Általánosan elfogadott az a megállapítás, mely szerint a földhőpotenciál élettartama ugyan jóval nagyobb, mint a fosszilis energiaforrásoké, de nagyságrenddel kisebb, mint a valódi megújuló energiaforrásoké. A geotermikus energia korlátozottan, idővel csökkenő mennyiségben és hőmérsékleten áll rendelkezésre, de több más megújuló energiával ellentétben nem szakaszosan, hanem folyamatosan érkezik.

3.1. A geotermikus rendszerek

3.1.1. Fogalmak, mértékegységek

A geotermikus energia jelenléte, várható mennyisége a gyakorlatban többféle mérőszámmal jellemezhető. Ezek közül itt, csak a dolgozatban előforduló fogalmakat és a hozzájuk tartozó mértékegységeket ismertetjük.

A hőáram (hőfluxus) a hőenergia-áramlás kifejezője, az egységnyi földfelületen, egységnyi idő alatt átáramló hőmennyiség mutatója. Eloszlása a felszínen nem egyenletes, a szárazföldeken 65 mW/m^2 , az óceánok területén 101 mW/m^2 átlag érték jellemzi. Több tízezer mérés alapján a globális átlag 87 mW/m^2 (Pollack et al., 1993). A hőáram nagyban befolyásolja a hőhordozó termálvíz hőmérsékletét, a geotermikus energia hasznosíthatóságát. Ahhoz, hogy egy geotermikus tározó (rezervoár) gazdaságosan művelhető legyen, az átlagos földi hőáramnál nagyobb, mintegy $100\text{-}120 \text{ mW/m}^2$ értékkel kell rendelkeznie.

A geotermikus (geotermális) gradiens azt mutatja meg, hogy a Föld középpontja felé haladva hány méterenként emelkedik a hőmérséklet $1 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal. Minél vékonyabb az adott terület alatt a szilárd kéreg, annál nagyobb a geotermikus gradiens. A Földön ez átlagosan $33 \text{ m}/^\circ\text{C}$, Magyarországon $16\text{-}20 \text{ m}/^\circ\text{C}$, mivel az ország alatt az átlagosnál kisebb a földkéreg vastagsága.

A hőmérséklet gradiens (reciprok gradiens) megadja, hogy a felszíntől a Föld középpontja felé haladva, 1 km mélységnövekedés hány °C hőmérsékletemelkedéssel jár. A Földön ez átlagosan 30 °C/km, Magyarországon az átlag 45 °C/km (Gulyás és Virág, 2007). A geotermikus gradiens fogalmát főleg a geofizikában, míg inverzét, a hőmérsékleti gradienst a geológiában használják. Mindkét fogalom ugyanazt a fizikai jelenséget írja le, a mértékegységből eldönthető, hogy aktuálisan melyikről van szó.

A geotermikus mező geográfiai fogalom. Olyan területet jelöl, ahol a felszínen geotermikus aktivitás észlelhető. A vak geotermikus mező esetében felszíni jelenségeket nem tapasztalunk, de a felszín alatt potenciálisan kiaknázható geotermikus energiakészletek vannak. A geotermikus mező meghatározás ebben az esetben a felszín alatti tározó felszíni vetületeként értelmezhető.

Az entalpia jellemzi a geotermikus rendszer teljes energiatartalmát, beleértve a folyadék hőmérsékletéből és nyomásából származó energiahányadot is. A teljes energiamennyiségen belül a folyadék hőtartalmát és geotermikus energiáját a hőmérsékletükkel jellemezzük.

Termálvíznek (hévíznek) nevezzük Magyarországon azokat a természetben előforduló vizeket, melyek hőmérséklete 30°C-nál magasabb. Ez a hőmérsékleti határ országonként változik, nincs egy nemzetközi szinten egységesített határérték. Szlovéniában, Szlovákiában és Csehországban például alacsonyabb értékek az elfogadottak.

3.1.2. Geotermikus rendszerek elemei

Egy geotermikus rendszer elemei a tározó (rezervoár), a szállító geotermikus fluidum és a hőforrás. *Tározónak* (rezervoárnak) azt a forró, vízáteresztő kőzettérfogatot nevezzük, amelyből a benne áramló folyadék a hőt ki tudja vonni. A természetes geotermikus tározó nagy kiterjedésű és hőmérsékletű, megfelelő porozitású és átteresztőképességű képződmény. A közönséges talaj- vagy rétegvíztárolóktól abban különbözik, hogy a geotermikus tározóból belső energiát termelünk ki, amelynek csupán hordozó közege a forró víz vagy gőz (Bobok és Tóth, 2010).

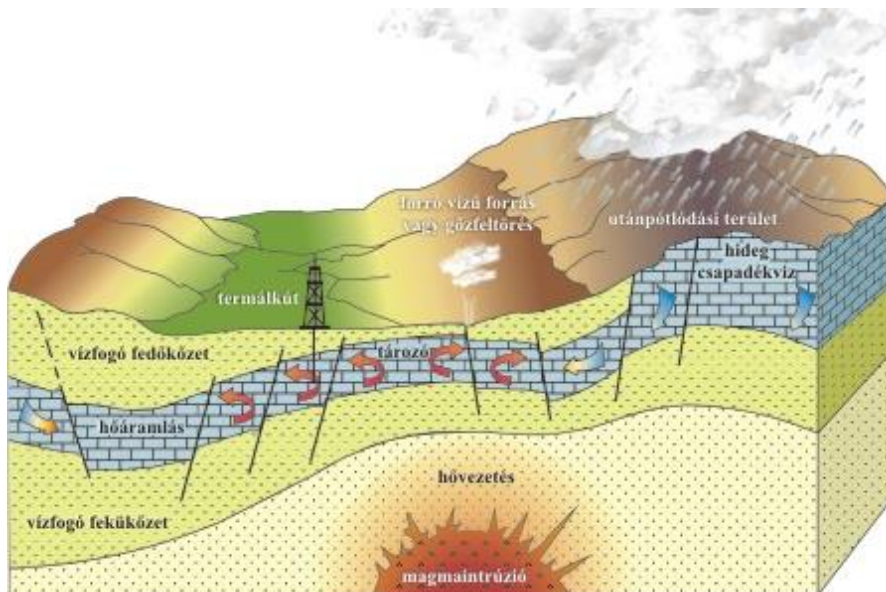
A hő diffúz módon van jelen a kőzetekben és a geotermikus fluidum áramlása révén juthat a felszínre vagy annak közelébe. A geotermikus fluidum a tározóban uralkodó hőmérséklettől és nyomástól függően

folyékony vagy gőzállapotú termálvíz lehet. A termálvizekre jellemző, hogy magas koncentrációban tartalmaznak oldott sókat, gázokat, szén-dioxidot és kénhidrogént.

A hőforrás hőáramlása alapján a geotermikus rendszer konvektív vagy konduktív lehet. A hőforrások jellege alapján a szakirodalom hővezetési geotermikus rendszernek nevezi azokat a rendszereket melyek jellemzően hővezetésen alapulnak, és konvektív (folyadék alapú) geotermikus rendszereknek azokat, melyek természetes folyadék cirkulációval rendelkeznek.

Konduktív áramlás esetén a hő vezetéssel, anyagmozgás-, anyagáramlás nélkül terjed. Ebben az esetben, a továbbított energia mennyisége arányos a hőmérséklet térbeli különbségével és a hővezetési tényezővel. Azokon a területeken ahol a felszín alatti vizeket csapadék táplálja, a lefelé áramló hideg víz a konduktív hőcsere következtében csökkenti a geotermikus gradienst. Ezzel szemben a felszín alatti vizek kiáramlási területein a felfelé áramló meleg víz az előbbiekkal ellentétes hatást vált ki (Mádlné Szőnyi, 2006). Vezetéssel történik a hőátadás az úgynevezett statikus geotermikus rendszerekben. Ezekben a rendszerekben a tározók olyan zárt kőzetekben jönnek létre, melyeknek alacsony a hidraulikus vezetőképessége, ezért nincs vagy nagyon kevés a betáplálás. A statikus rendszerekbe tartoznak az úgynevezett túlnyomásos geotermikus rendszerek, melyek nagy mélységben levő, minimális porozitású és átteresztőképességű, vizet nem tartalmazó, nagy, üledékes medencékre jellemzőek. Az ilyen rezervoárban tárolt víz jellemzően nagy nyomású, igen forró és magas az oldott metán tartalma. Magyarországon a Pannon-medence alsóbb, 3000 m alatti rétegei ilyen túlnyomásosak. (Bobok és Tóth, 2010).

Konvektív hőáram esetén a hőt mozgó anyag szállítja. A hő szállítása szilárd, folyadék vagy gáznemű anyag elmozdulása révén valósul meg. A kőzetek pórusaiban mozgó felszín alatti víznek a (hő) konvekció következtében a rendszer felső részén nő a hőmérséklete, az alsó részen pedig csökken. A szállított hő mennyisége arányos az áramló fluidum sebességével, sűrűségével, hőmérsékletével és a fajlagos hő-kapacitásával. Egy konvektív, folyadék alapú geotermikus rendszer elemeit és a benne lejátszódó folyamatokat szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra: Konvektív, folyadékalapú geotermikus rendszer

(Forrás: Dickson-Fanelli, 2003 In: Mándlné Szőnyi, 2006)

Az 1. ábrán látható, hogy a folyadékalapú, *dinamikus rendszerekben* a tározót kitöltő fluidum folyamatosan utántöltődik, felmelegszik, majd távozik a rezervoárból. A hőt az áramló folyadék szállítja az alacsonyabb hőmérsékletű felszín felé. Magasabb hőmérsékletű rendszereknél száraz gőz vagy gőz és forró víz keveréke végzi a szállítást. A dinamikus rendszereken belül magas- (150°C-nál melegebb), közepes- és alacsony (150°C-nál hidegebb) hőmérsékletű rendszereket különítünk el. Hasznosítás szempontjából a konvektív geotermikus rendszereknél meghatározó a fluidum áramlása és a hőátadás módja.

3.1.3. Természetes és mesterségesen befolyásolt geotermikus rendszerek

A természetes geotermikus rendszerekben a rezervoárnak, a fluidumnak és a hőforrásnak is természetesnek kell lennie, a mesterségesen befolyásolt geotermikus rendszerek esetében a hőforrás természetes, de a tározó és/vagy a szállító folyadék mesterségesen előállított.

Régebben a geotermikus energia használata csak azokra a területekre korlátozódott, ahol a jelenlévő fluidum lehetővé tette, hogy a hő a felszínre, vagy annak közelébe juthasson. Az elmúlt évtizedek technológiái azonban új lehetőségeket nyújtanak a földhő alapú geotermikus rendszerek újabb típusú kihasználására. Ezek az új technológiák a mesterséges földhőrendszer technológia (Enhanced Geothermal System - EGS) és a sekély geotermikus

(föld) hőszivattyús rendszer (Geothermal/GroundSourceHeatPump - GHP/GSHP).

Az EGS-rendszer lényege, hogy néhány kilométeres mélységben, ahol a kőzethőmérséklet eléri a 200°C-ot, egy repedésrendszert alakítanak ki a meglévő repedésrendszer bővítésével. Ebbe a repedésrendszerbe a felszínről vizet juttatnak, hogy hőhordozóként felvegye a földhőt. Betápláló- és kiemelő kutak, felszíni hasznosító egységek egészítik ki a cirkulációs rendszert, mely zárt körként működik. A rendszer energiáját hőcserélőkkel nyerik ki majd áramfejlesztésre és/vagy távfűtésre használják.

A GHP/GSHP rendszerben a hőszivattyú a környezet hőenergiájának hasznosítására szolgál. A földhőszivattyú a talajvízből és a kőzetekből közvetlenül nem hasznosítható hőenergiát von el, amelyet külső energia felhasználásával nagyobb hőmérsékletű, hasznosítható hővé alakítanak. A hőszivattyú fő részeit csővezetékek kötik össze, melyben a hőenergiát szállító úgynevezett munkafolyadék áramlik. A rendszer többnyire zárt, de léteznek nyitott rendszerek is, ahol a munkaközeg maga a hőforrás. A munkafolyadékok között olyan környezetkímélő, természetes anyagok szerepelnek, mint például az ammónia, szénhidrogének, víz, szén-dioxid és egyéb mesterséges keverékek (Mádlné Szőnyi, 2006).

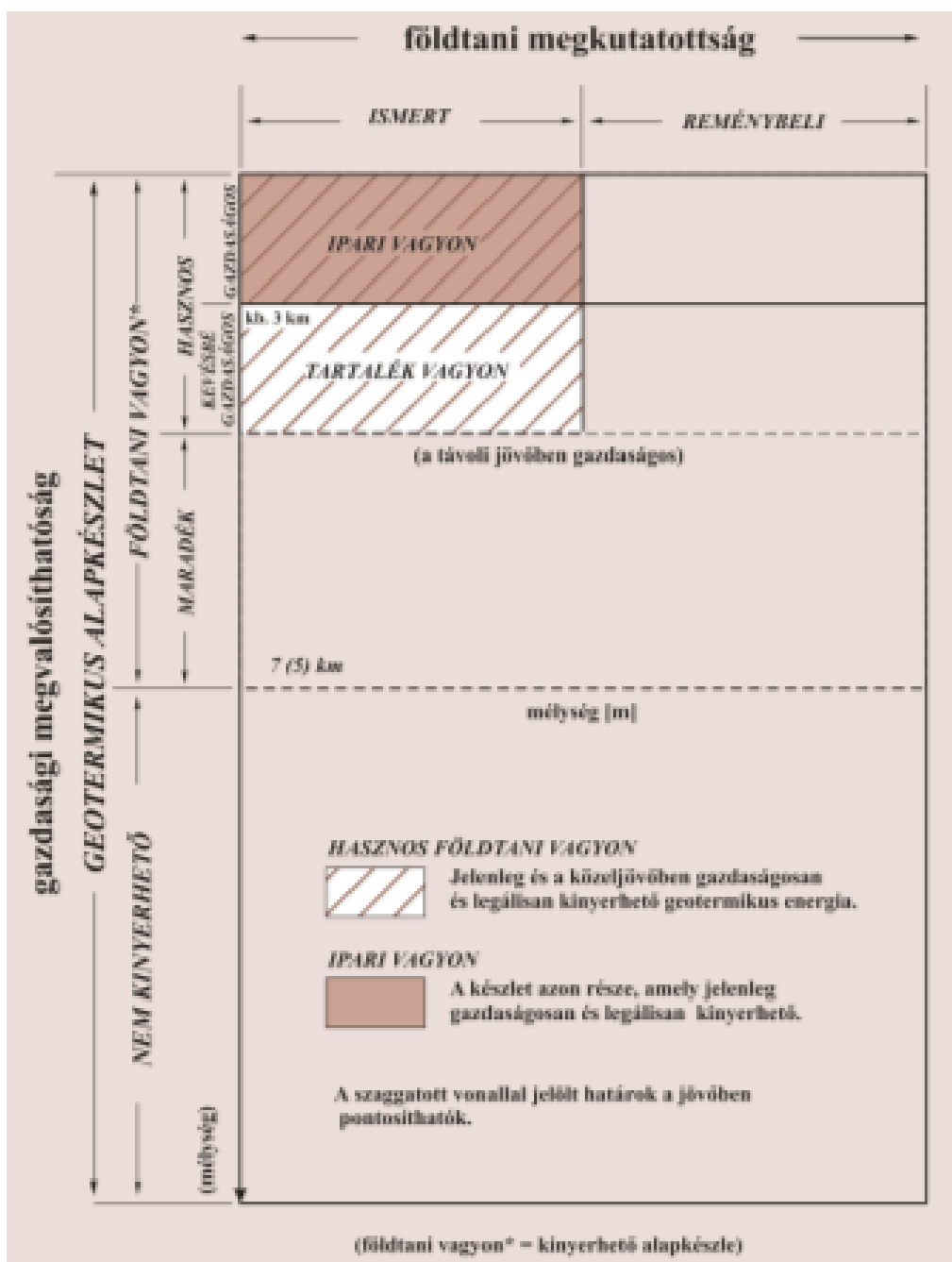
3.2. Geotermikus készletbecslés, energiavagyon

A geotermikus energiavagyon vagy más néven a geotermikus alapkészlet a földfelszín egy adott területe alatt található teljes hőenergia. Az alapkészlet földfelszíntől számított kisebb mélységben található részét kinyerhető alapkészletnek, földtani vagyonnak nevezzük. A gazdaságosan kitermelhető geotermikusenergia-készlet a természeti, műszaki és gazdasági feltételek által meghatározott, időben változó mennyiség.

A geotermikus készletek osztályozására jelenleg sincs nemzetközileg általánosan elfogadott nevezéktan, ezért Muffler és Cataldi (Muffler és Cataldi, 1978) definíciói ma is érvényesek. Ezt használják világ számos országában is a geotermikus vagyon nyilvántartására. A Muffler és Cataldi (Muffler és Cataldi, 1978) készletkategóriáit ábrázoló McKelvey-diagramot a 2. ábra mutatja.

Az 2. ábra alapján a *geotermikus alapkészlet* a földfelszín egy adott területe alatt található teljes hőenergia. Az alapkészlet a földfelszíntől

számított kisebb mélységben (a jelenlegi technikával még elérhető mélység, körülbelül 7 km) található részét tekintik a *kinyerhető alapkészletnek*. Ez alatt található a *nem kinyerhető alapkészlet* (Muffler, 1973). Hazánkban ezt a mélységet Rezessy és társai (Rezessy et. al, 2005) 5 km-ben határozták meg, és a kinyerhető alapkészletre a *földtani vagyon* kifejezést használják (Mádlné Szőnyi, 2006).



2. ábra: McKelvey diagram Muffler és Cataldi (1978) által módosított változata a magyar szóhasználat szerint

Forrás: Mádlné Szőnyi, 2006

A földtani vagyonon belül a hasznos kinyerhető alapkészlet vagy *hasznos földtani vagyon* az elkövetkezendő száz évben gazdaságosan és legálisan kitermelhető készlethányad. A földtani vagyonon belül elkülönítik az *ismert vagyont* (a földtani vagyonnak fúrással bizonyított része) és a *reménybeli vagyont* (a földtani vagyonnak fúrással vagy egyéb módon még nem bizonyított része). A hasznos kinyerhető vagyonon belül a *tartalék vagyon* jelenleg gazdaságosan nem kinyerhető, de versenyképessé válhat a belátható jövőben. Az *ipari vagyon* a geotermikus készletnek különböző módszerekkel beazonosított és a hatályos jogszabályok betartásával gazdaságosan kitermelhető részét jelenti (Mádlné Szőnyi, 2006).

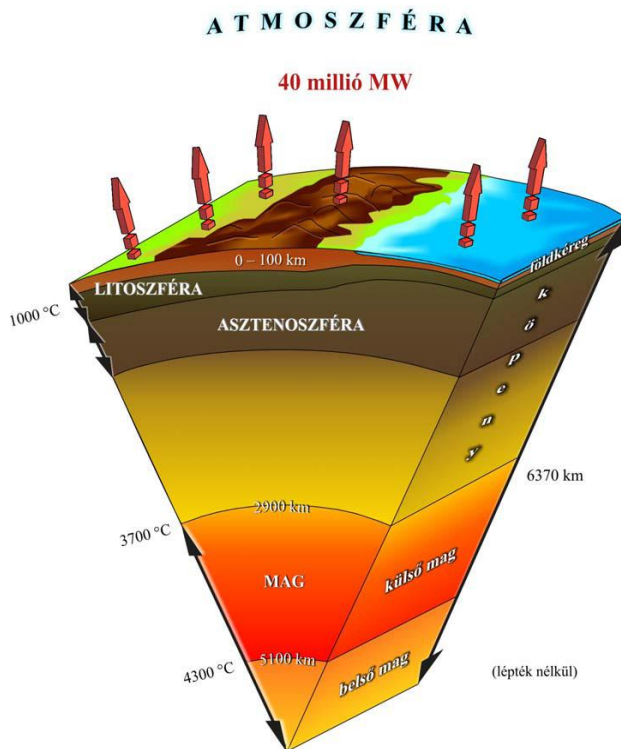
A földtani vagyon másik része a *maradék kinyerhető alapkészlet*. A készletnek ez a része fejlődő technológiát és gazdasági körülményeket feltételezve sem termelhető ki a közeljövőben gazdaságosan (Mádlné Szőnyi, 2006).

Muffler (Muffler, 1979) szerint a geotermikus készletbecslés nem más, mint annak a föld alatt rejlő termálenergiának a megállapítása, ami a jövőben történő gazdaságos kitermelés, a telep élettartalmának meghatározása és a kitermelési technika megállapítása céljából történik. A készletbecslés jellemzően átmeneti értéket ad, hisz a meghatározás paraméterei gyorsan és folyamatosan változnak a technikai- és tudományos fejlődés, valamint a gazdasági-, politikai-, és társadalmi környezet változásai miatt.

Muffler és Cataldi (Muffler és Cataldi, 1978) szempontrendszerét követve határozta meg a Föld energiakészletét Rybach László (Rybach, 1985) Svájcban élő magyar kutató. Kutatásai szerint, melynek eredményei a 3. ábrán látható, a geotermikus energia alapja a Föld belsejében termelődő és tárolódó hő. A földbelső 99 %-a melegebb, mint 1000 °C, és mindössze kevesebb, mint 0,1 %-a alacsonyabb hőmérsékletű, mint 100 °C. Rybach (Rybach, 1985) megállapítása szerint, a Föld a földfelszínen keresztül a földi hőáramot 40 millió MW teljesítménnyel adja át az atmoszférának. 15°C-os felszíni átlaghőmérséklettel számolva a Föld teljes hőenergia tartalmát $12,68 \cdot 10^{24}$ MJ-nak, míg a földkéregét $5,4 \cdot 10^{21}$ MJ-nak becsülik (Armstead, 1983). Ezt a mennyiséget összevetve a világ éves energiafogyasztásával, ami 10^{14} MJ nagyságrendű, láthatjuk, hogy a földhő óriási mennyiségű.

A geotermikus készletbecslés során a legnagyobb probléma, hogy a különböző készletszámítási módszerek különböző mértékegységeket alkalmaznak, ami nagy eltéréseket mutat. A Nemzetközi Geotermikus Szövetség (International Geothermal Association, IGA) az egy év alatt

kitermelhető geotermikus energia mennyiségében (PJ) vagy az átlagos éves teljesítményben (PJ/év) definiálja a geotermikus potenciált.



3. ábra: A Föld belső szerkezete és hőmérséklete

Forrás: Rybach, L. 1985 In: Mádlné Szőnyi J., 2006

Bobok és társai (Bobok et. al, 2012) összegyűjtötték és rendszereztek a különböző globális készletszámítások eredményeit. A geotermikus energia közvetlen hőhasználatának a maximális értéket Fridleifsson (1999) kapta $170 \cdot 10^6$ TWh/évre ($6 \cdot 10^5$ EJ/év), szemben Cataldival (1999), aki csak 670 TWh/év (2,4 EJ/év) mennyiséget számolt. Ez az érték az előbbinél 253731-szer kisebb. Energia kinyerésre (elektromos áramtermelésre) a maximális értéket Stefansson (2002) határozta meg 42000 TWh/év (150 EJ/év) értéken, a minimálist Cataldi (1999) 330 TWh/év (1,2 EJ/év) mennyiségben. Látható, hogy a különbségek annyira nagyok, hogy megkérdőjelezzik az adatok objektív felhasználását egy hosszú távú stratégia kialakításában. Tóth és társai (Tóth e. el, 2014) javasolták, hogy a készletszámítás alapja az évi kitermelt geotermikus energia nagysága legyen, melyet a Geotermikus Világ Konferencia (World Geothermal Congress - WGC) minden évben összesít az országok által szolgáltatott adatokból. Ez alapján 2010-ben a termálvíz közvetlen hőhasználat 1,347 PJ/év, az energia kinyerése 207 PJ/év volt globálisan.

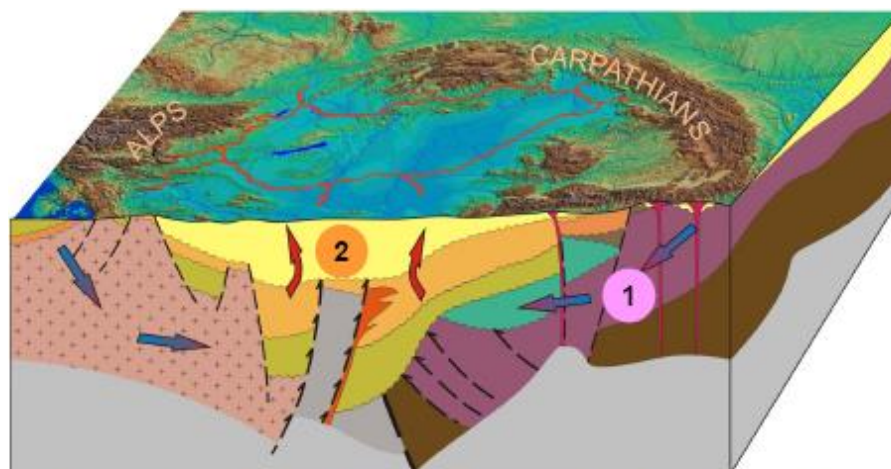
A geotermikus energia kitermeléséhez olyan hordozó közeg (fluidum) szükséges, amely nagy fajlagos energiatartalmú, könnyen felszínre hozható, nagy mennyiségben áll rendelkezésre, a környezetre nem káros, olcsó és jól kezelhető. E követelményeket a víz elégíti ki a legjobban. „A víz fajhője nagy (4,187 kJ/kg°K), és ehhez gőz előfordulása esetén a fázisátalakulással járó latens hőnek megfelelő energiatartalom is járul. Ez az érték külső légköri nyomáson (1bar) 2259 kJ/kg. A mélység növekedésével nő a nyomás, a fajhő csökken, és 200 bar nyomáson már csak 629 kJ/kg ez az értéke.” (Bobok és Tóth, 2010, 927.p.). Magyarországon a kiváló földtani, geofizikai és hidrogeológiai adottságok mellett megtalálhatóak a természetes geotermikus rendszerek elemei, a hőforrás, a tározó, és a közvetítő fluidum, a víz is. A geotermikus energia hordozóját Magyarországon döntően a termálvíz képviseli, ami hazánk területének több mint 70%-án áll rendelkezésre.

3.3. Magyarország geotermikus adottságai

3.3.1. Geotermikus jellemzők

Magyarország Európán belül kiemelten jó geotermikus természeti adottságokkal rendelkezik, melynek oka a Pannon-medence fejlődéstörténetében rejlik. A Föld minden területének alapvető geodinamikai jellemzője az, hogy a földkéreg és a litosféra vastagsága hol és milyen mértékben tér el a Föld nyugodt területeire jellemző átlagos értéktől. A viszonyítási alap a zavartalan, nyugodt területekre vonatkozó 33-35 km földkéreg vastagság és a 125 km litosféra vastagság érték (Horváth, 2008). A Kárpát-medence keletkezése során, a középső-miocén korban, a litosféra elvékonyodott, s így a kéreg alatti magas hőmérsékletű magma a földfelszín közelbe került. A Magyarország területe alatt a földkéreg a kontinens átlagnál mintegy 5-10 km-rel vékonyabb, 24-28 km vastag, a litosféra vastagsága pedig 60-80 km.

Az ország területén a geotermikus energia alapvető forrását a magma irányából fölfelé irányuló konduktív hőáramlást jelenti. Hazánk geotermikus vagyonát a felszín alatti kőzetek geológiai korok idején kialakult hőtartalma adja. A hazai viszonyok között a Kárpát-medencét feltöltő nagy vastagságú, több helyen a 6 km-t is meghaladó üledékes kőzet összletek porózus-permeabilis tartományai vagy a repedezett karbonátos kőzet összletek teszik lehetővé a termálvíz kitermelését és hasznosítását (Árpási, 2008).

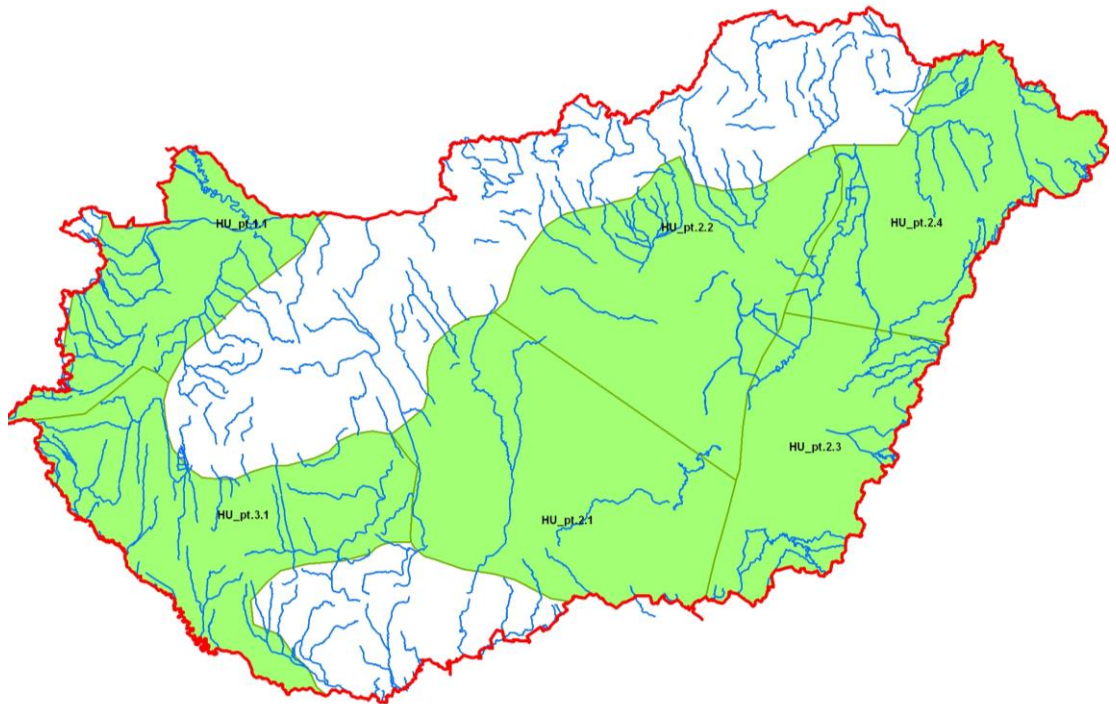


**4. ábra: Regionális termálvíz tározók Magyarországon
(1) Felső-Pannónia porózus, (2) Triász kori karbonátos**

Forrás: Nádor et. al (2012)

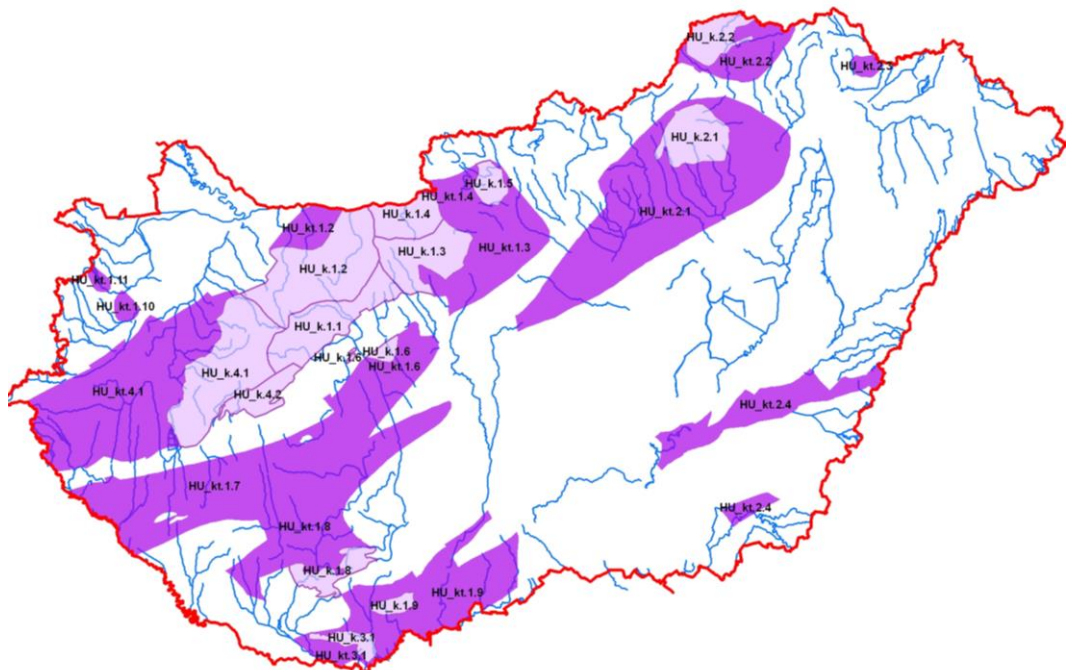
Magyarországon a gazdaságosan kitermelhető geotermikus energiakészletek három különböző jellegű tároló típusban találhatóak. A három tároló típus közül a két regionális hévíztározó nagyszisztéma a legjelentősebb. Az egyik a Felső-Pannónia porózus (homok-homokkő) rétegek alkotta rezervoár rendszer, a másik a triász időszaki repedezett, részben karsztosodott karbonátos kőzetek alkotta rendszer (4. ábra).

A felső-pannóniai tároló-csoport 40 ezer km² kiterjedésű, 200-300 méter vastagságú (5. ábra), a DK-Alföld, a Kisalföld és a Drávasüllyedék területén fejlődött ki. A 20-40%-ban durvaszemcsés homok- vagy homokkő rétegek hasznos hézagtérfogata 25-30%, a termálvíztartók jellemző mélysége 800-2000 méter. A Felső-Pannon hévízkészlet vízutánpótlás szempontjából túlnyomó részt nem megújuló, statikus jellegű és nincs aktív utánpótlása. A rendszernél fontos tényező a vízben oldott gáztartalom, melynek esetleges leürülése vízhozam csökkenéssel vagy megszűnéssel járhat. A rezervoárt kitöltő fluidum hidrogén-karbonátos, hőmérséklete meghaladhatja a 100°C-ot. A másik regionális termálvíztározó nagyszisztéma a Dunántúlon és Észak-Magyarországon előforduló triász kori karbonátos kőzetek, repedezett, részben karsztosodott rendszere (6. ábra).



5. ábra: Felső-Pannónia porózus kőzetekben lévő termálvizek kiterjedése és jelölése Magyarországon

Forrás: Magyar Állami Földtani Intézet, 2011



6. ábra: A karsztosodott kőzetekben lévő hideg- (világos lila) és termálvizek (sötét lila) elterjedése és jelölése Magyarországon

Forrás: Magyar Állami Földtani Intézet, 2011

A triász kori karbonátos rezervoár aktív vízcserélődési övezet része, folyamatosan pótlódó vízkészlettel rendelkezik. Ebben a közel 10 000 km² kiterjedésű tározórendszerben, 2000-3200 méter mélységben a hőmérséklet akár a 145°C is eléri. A tároló övezet vastagsága 80-100 méter, porozitás kevesebb, mint 5%. A meglévő termálkutak 70%-a a felső-pannóniai-, 20%-a a triász időségi hévíztároló rendszert csapolja meg, a maradék 10% különböző geológiai korokban képződött, lokális rezervoárokból termel (Gulyás és Virág, 2007).

A harmadik geotermikus készlet-típus nem sorolható a klasszikus rezervoárok körébe. A felszínhez közeli 100-200 m-ig terjedő zóna energiatartalma Magyarország szinte teljes területén feltárható és kitermelhető kis mélységű hőcserélő kutakkal, s az ezekre telepített hőszivattyúkkal (Bobok, 2012).

A Föld belsejéből kifelé irányuló földi hőáram átlagértéke Magyarországon 90–100 mW/m², ami mintegy kétszerese a kontinentális átlagnak (Mádlné Szőnyi et al., 2008). Magyarország területe alatt a hőmérsékleti gradiens értéke átlagosan 45 °C/km, ezért a felszíntől mért 500 m mélységben a hideg területek kivételével az átlaghőmérséklet 35-40°C, 1000 m mélységben 55-70°C, 2000 m mélységben pedig 110 - 130°C. Nagy mélységi hőmérsékletet bizonyítanak a 3000-6000 méter mélységről készült felmérések, illetve becslések (Szanyi és Kovács, 2007). 3000 méteres mélységben már 160-190°C hőmérsékletek mérhetők (Völgyesi, 2002).

3.3.2. A geotermikus készletek energiatartalma

Magyarország geotermikus készletét az elmúlt évtizedekben több munkacsoport is elemezte. A kapott eredmények jelentős szórást mutatnak. A 1980-as években Liebe Pál és munkatársai több tanulmányt készítettek az ország geotermikus potenciáljáról és termálvíz készleteiről. A munkacsoport azokat a porózus vagy karsztos képződményeket vette számításba, amelyekből a termálvíz visszasajtolással vagy szabad elfolyással termelhető. Ezeknek a vizeknek a hőenergiáját számították, s az így kapott tulajdonképpen ipari vagyont 3,43·10⁵ PJ-ra (343 EJ) becsülték (Liebe, 1982).

Egy másik a geotermikus készlet mennyiségének meghatározását szolgáló becslési módszer a konduktív módon a felszínre lépő hőáramon alapul. A Pannon-medence átlagos hőárama jó közelítéssel 90 mW/m². Ez a hőáram Magyarország 93000 km²-nyi felszínén 8,37 GW hőteljesítményt jelent, így a hőáram által szállított éves hőmennyiség 264 PJ (Dövényi et al., 2002).

„A leggyakrabban használt készletbecslési módszer a térfogat (volumetrikus) becslés, amellyel adott térfogatú kőzetből kitermelhető víz mennyiségét és hőtömegét számítjuk ki” (Szederkényi, 2003. 29.p.). Rezessy Géza és munkatársai (Rezessy et. al, 2005), valamint Szanyi János (Szanyi, 2004) az e módszerre épülő földtani vagyonszámítás alapján dolgoztak. A készlet megállapítása nagyobb geológiai egységekre, így a felső-pannóniai hévíztároló összletre történt. Az elvégzett számítások alapján Magyarország földtani vagyona a 0-5000 méteres mélységtartományban 102180 EJ ($1,02 \cdot 10^8$ PJ). A vagyonnak mintegy 60%-át a medencealjzat 2500-5000 méter mélységközben található része tartalmazza, ahol a hőmérséklet a 250 - 300 °C értéket is elérhet. A geotermikus energia hasznosítására legjobban hozzáférhető negyedidőszaki képződmények súlyponti értéke 4840 EJ hőmennyiség. Figyelembe véve, hogy Magyarország éves energiafogyasztása körülbelül 1 EJ, elvben ezek a rétegek közel 4800 évig fedezhetnék energiaszükségletünket (Szanyi, 2005).

Magyarország gazdaságilag hasznosítható geotermikus energia készletét Lorberer (Lorberer, 2004) Liebéhez hasonlóan $3,43 \cdot 10^5$ PJ/évre, Bobok (Bobok, 1987) $4,35 \cdot 10^5$ PJ/évre számította. A becslés kiindulási alapja a térfogati módszer volt. A teljes porozitás kiszámítása után a kőzet és a fluidum által tárolt hőenergia egymástól független meghatározása történt. Bobok szerint ez a tározó in-situ energiaforrása, ami a kitermelés következtében a gyártási technológiától függően változhat. A kitermelhető mennyiséget a kitermelési tényezővel csökkentve $1,5 \cdot 10^5$ PJ értékben határozza meg Bobok (Bobok, 2012).

A különböző készletbecslések alapján látható, hogy az ipari vagyon (343 EJ), a hőáramból számított utánpótolódó hővagyon (264 PJ), az egységnyi felületre számított földtani vagyon (102180 EJ) és a kitermelhető vagyon ($1,5 \cdot 10^5$ PJ) közt több nagyságrendnyi, néha több milliószoros eltérés van. Magyarországon az évente felhasznált geotermikus energia évek óta, körülbelül 4 PJ, ami még a legkisebb becslésnek is csak az 1%-t teszi ki. A számítások alapján megállapítható, hogy a földkéregben tárolt és utánpótolódó hőenergia nagyon sokáig fedezhetné az ország energiaszükségletét.

A termálvizek energiájának meghatározása mellett fontos adat e vizek térfogatának a mennyisége. Magyarország statikus termálvízkészlete, ami nem egyenlő a hozzáférhető vagy hasznosítható készlettel 4000 km^3 , nagymélységű dinamikus termálvíz készletének hőtartalma ($\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ mellett) 63,5 PJ/év (Árpási, 2008). Az országban rendelkezésre álló dinamikus

termálvíz készletek a jelenlegi felhasználás (3-4 PJ/év) többszörösét képesek biztosítani hosszútávon. A sekély mélységű, hőszivattyús technológia további 30-40 PJ/év energiát tud biztosítani. Így összesen 100-110 PJ/év mennyiségű földhő hasznosítási lehetőség prognosztizálható. Magyarország éves primerenergia fogyasztása 1088PJ/év, amiből 435 PJ/év a közvetlen hőigény, amely hőmennyiség Magyarország fűtési hőigényének mintegy 20%-a, vagyis a teljes primer energia szükséglet körülbelül 10%-a kiváltható lenne geotermikus energiával. A dinamikus termálvízkészlet fogalmába beletartozik a hasznosítás után visszasajtolt termálvíz is. A visszainjektált termálvizekkel számolva, Magyarország 380 millió m³/év készlettel rendelkezik (Árpási, 2008). Geotermikus energiából történő áramtermelésre jelenlegi ismereteink szerint 100-150 MW elektromos potenciál becsülhető Magyarországon.

Mivel Magyarországon jellemzően természetes, alacsonyhőmérsékletű, folyadék alapú geotermikus rendszerek találhatóak, ezért a továbbiakban e készletek megújulásával foglalkozom.

3.4. Alacsony hőmérsékletű, folyadék alapú geotermikus készletek megújulása

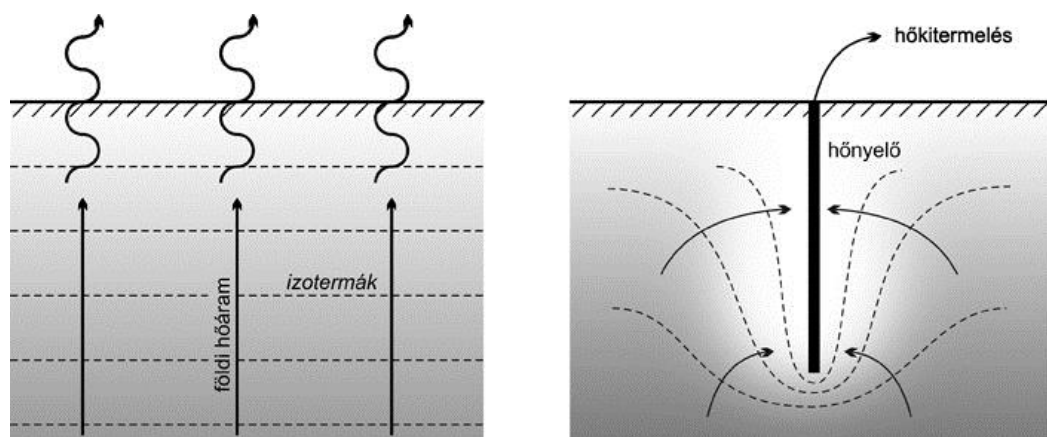
3.4.1. A megújulás és a fenntarthatóság kapcsolata, a megújulás megismerésének problémái

A geotermikus energiával kapcsolatosan gyakran hangzik el, hogy megújuló, illetve az, hogy fenntartható. A kifejezéseket szinonimaként használják. Axelsson és társai (Axelsson et. al, 2005) szerint *a megújuló kifejezés a geotermikus készlet természetére, míg a fenntartható kifejezés a geotermikus készlet használatára vonatkozik.* A megállapítás elfogadása mellett kutatásom e két jelző mentén halad.

A minden irányból állandóan megújuló termálvizeknél a megújuló minősítés szempontjából fontos kérdés, hogy milyen mértékben és milyen időskálán fogadható el ez az állítás. A megújuló minősítés szempontjából az energia utánpótlódás üteme a meghatározó. Erre nyújt szemléletes példát Rybach László és munkatársai 2000-es évi kutatása (Rybach et al, 2000). A kontinentális földkéreg legfelső 1 km vastag sávjának hőtartalma $3,9 \cdot 10^8$ EJ. A világ mai energiafogyasztásával (400 EJ) számolva, ha ezt teljesen kiaknáznánk, akkor 106 évig lenne elegendő. Az újratöltődés, 40 millió MW földi hőáramot feltételezve, 103 év alatt következne be. Ez tehát azt jelenti, hogy a Föld hőenergia regenerálódási üteme ezerszerese a becsült

lehetséges maximális kiaknázási rátának (Mádlné Szőnyi, 2006). A geotermikus készletek tehát megújulónak tekinthetők a technikai-társadalmi rendszerek időskáláján. Nincs szükség geológiai léptékben mérhető időre a regenerációhoz, szemben a fosszilis energiahordozókkal.

Rybach és társai (Rybach et al, 2000) szerint a kitermeléssel hőnyelő jön létre, és ezzel történik a hőáram befogása. Ennek következtében, az eredetileg a földfelszínnel párhuzamos izotermák, az eredetileg merőleges természetes hőáramot a termelőhely felé irányítják (7. ábra).

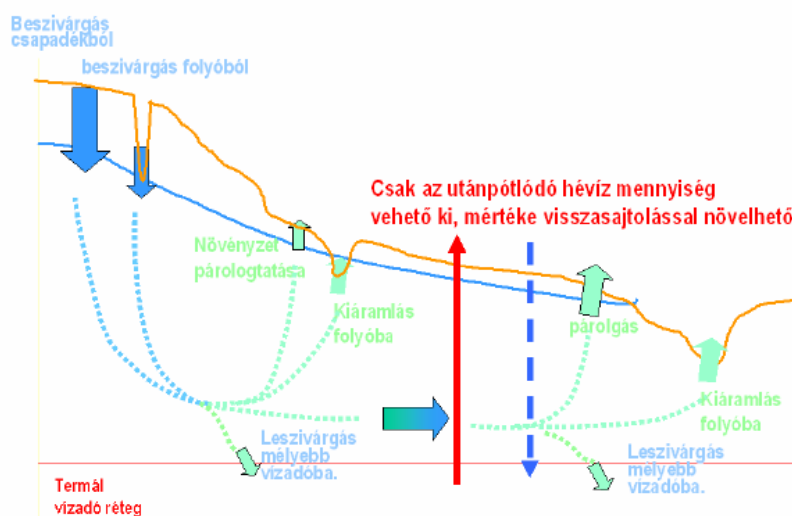


7. ábra: A geotermikus hőtermelés (felhasználás nélkül és hőkitermeléssel)

Forrás: Rybach L., 2005, In: Mádlné Szőnyi .J, 2006

A kiegyensúlyozott folyadék- és hőtermelés lehetővé teszi a készletek megújulását is. A világ különböző részein működő, évszázadok óta hozamcsökkenés nélkül vizet- és hőt szolgáltató termálforrások példái azt igazolják, hogy egyensúly áll fenn a felszíni megcsapolás és a mélybeli fluidum- és hő utánpótlódása között (Stefansson V., 2000).

Egyensúlyi hő- és víztermelés során nem vesznek ki többet a természetes utánpótlódásnál (8. ábra). Mivel azonban az ilyen típusú termelés nem mindig gazdaságos, ezért előfordulhat, hogy a befektetések megtérülése érdekében a természetes utánpótlódást meghaladó termelést folytatnak. A geotermikus készletek hasznosítása tehát folyadék- és hőelvonással jár, ami a tározó kimerüléséhez vezethet.



8. ábra: Termásvizek utánpótlódási mechanizmusa

Forrás: Szanyi J. - Kovács B., 2007

Kétkutas rendszereknél a kitermelt meleg víz fokozatosan utánpótlódik a visszasajtolt, hidegebb víz révén. Ennek során kialakul egy hűlési zóna, amely a visszasajtoló kúttól terjed a termelő kút felé (9. ábra). Miután ez a zóna elérte a termelő kút, a kitermelt víz hőmérséklete csökkenni fog, a kút hozama, a kutak távolsága és a tározó tulajdonságainak függvényében.



9. ábra: Hűlési zóna kialakulása a termelő kút és a visszasajtoló kút között

Forrás: Lavigne, 1978 In: Mádlné Szőnyi, 2006

A földhő tehát fenntartható módon használható, azaz hosszútávon üzemeltethető termelés-csökkenés nélkül, ha az mérsékelt szinten folyik. A geotermikus készletek regenerációja csak az idő kérdése, melynek hossza a technológiai megoldás típusától és nagyságától, a kitermelés tempójától, és a készlet geológiai jellemzőitől függ.

A geotermikus energia iránti fokozódó érdeklődés a geotermikus készletek becslésének egyre pontosabb módszereit hozza magával. A napjainkban alkalmazott dinamikus készletbecslések során figyelembe veszik azt, hogyha a hőt folyadék kitermelésével hozzák a felszínre, akkor ez által a rezervoárban hőmérséklet- és nyomáscsökkenés jön létre, ami megindítja az utánpótlódást. Az informatika fejlődésével az egy- és több dimenziós modelleket fokozatosan felváltják az integrált megközelítések, amelyek a hőmérsékleti elemzések mellett magukban foglalják a földtani, topográfiai és hidrogeológiai adottságok széles skálájú vizsgálatát is.

Ahogy az előbbieken látható volt, a megújuló geotermikus készlet megismerése nehéz feladat, számtalan kérdés merül fel a vizsgálata során. Milyen mértékben és milyen időskálán fogadható el a megújuló jelző? Meghatározható-e a geotermikus mező élettartama, a rezervoár energiatartalma, a kitermelhető termálvíz hőmérséklete, az energia utánpótlódás üteme? Milyen módon reagál a rendszer az olyan külső tényezőkre, mint a vízkivétel, a víz visszasajtolás, a csapadékvíz- vagy szennyezőanyag beszivárgás? A felszín alatti heterogén és anizotrop földtani környezetben a mérések magas költsége miatt nem áll rendelkezésre megfelelő számú mérési adat. Mivel a geotermikus rezervoár viselkedése jelentős szerepet játszik a jövőbeni fenntarthatóságban, a működési költségek és megtérülés optimalizálásában, ezért szükség van egy kellően pontos és hatékony modellre a viselkedés szimulációjára. Ezekre a problémákra nyújtanak megoldást a termodinamikai és áramlástanai modellek.

3.4.2. Az alacsony hőmérsékletű, folyadék alapú geotermikus rendszerek modellezése

Gudmundur (Gudmundur et. al, 1986) és Pokorádi (Pokorádi, 2008) szerint három fő modell alkalmazható a geotermikus rezervoárok megismeréséhez. Ezek az esésgörbe elemzés módszer, az osztott paraméterű numerikus modell és a koncentrált paraméterű modell.

Az *esésgörbe elemzés módszert* a jövőbeli forrásapadás előrejelzésére alkalmazzák, de a szakirodalmi kutatások szerint, fel lehet használni a kiegészítő, pótlólagos források számának becslésére is. A módszer a mért szállítási sebességre illesztett algebrai egyenlet alapján jelzi előre a jövőbeli forrásapadást. A szakirodalomban több fajta függvényfípust (exponenciálist, hiperbolikus, harmonikus kifejezéseket) alkalmaznak e modellnél. A módszer egyik hiányossága, hogy hiányzik a modell elméleti alapja. Szintén hátránya

a módszernek, hogy nem alkalmazható a rezervoár működésének olyan speciális eseteire, mint például a visszasajtolás következményének megismerésére. Szűkíti a modell alkalmazásának lehetőségeit, hogy jellemzően gőz domináns rezervoárok elemzésénél használható.

Az *osztott paraméterű numerikus modell* olyan általános termodinamikai és áramlástanai modell, mely nagyszámú (10^2 - 10^6) hálópont alkalmazásával modellezi a geotermikus rendszer minden elemét úgy, hogy a rácspontok paramétereinek az átlagát veszi figyelembe. Segítségével vizsgálható a rezervoár vízáteresztő közettérfogata, az alap- és zárókőzet, a víztároló- és utántöltési zónák. A modell kezeli a kőzetek tulajdonságainak és termodinamikai paramétereinek térbeli változását. A felhasználó maga határozhatja meg a figyelembe veendő fizikai folyamatot és a rácsháló méretét. A módszer előnye, hogy matematikai numerikus módszerekkel oldja meg a feladatot. A modell hátrányai, hogy jelentős numerikusszámítási kapacitást és modellezési-, programozási gyakorlatot igényel, valamint hogy a nagyszámú mérési adat (rácspont) összegyűjtése rendkívül időigényes és költséges. Segítendő az ilyen típusú modellszámításokat, szükség lenne a hazánkban napjainkig fúrt közel 1500 kút (fúrás) adatainak összegyűjtésére. Ezeket az adatokat magyar geotermikus kincsként kezelve az adatbázis kincstárként működne. A kutaknak kettős szerepe lenne, a vízadás mellett ún. kontroll kútként adatokat szolgáltatna a kincstárba. A kincstár adatai segíthetik a felszín alatti folyamatok modellezésének numerikus kezelését, segítségükkel a valóságos természeti folyamatokat jobban megközelítő eredmények születhetnek (Pálné Schreiner, 2010b, 2010c).

Az alacsony hőmérsékletű, folyadék domináns geotermikus rendszerek vizsgálatára legjobban használható az úgynevezett *koncentrált paraméterű modell* (Lumped Parameter Model, röviden LPM), amelyet először 1989-ben Axelsson (Axelsson, 1989) alkalmazott. A koncentrált paraméterű geotermikus rendszermodellezés a numerikus modellezés leegyszerűsített változatának tekinthető. A koncentrált paraméterű modell esetén a geotermikus rezervoárt, mint egy egyszerű vagy kevés, homogén rácspontot tartalmazó rendszert vizsgálják. A modell használatával egy adott geotermikus rendszer fluidum és/vagy energiatermelési potenciálja határozható meg különböző feltételezett rezervoár menedzsment forgatókönyvek esetére. Így például előjelezhető a nyomásváltozás (vízszintváltozás) a jövőbeni használat olyan különböző alapeseteire, mint a természetes állapot, a kiaknázási állapot visszainjektálás nélkül és a kiaknázási állapot visszainjektálással. A koncentrált paraméterű modellt sikerrel alkalmazták a világ számos országában, így

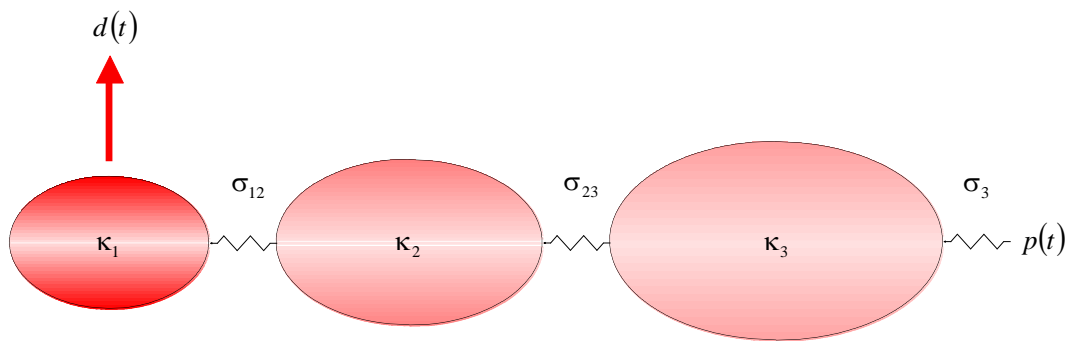
Izlandon, Kínában, a Fülöp-szigeteken, Törökországban, Kelet-Európában és Közép-Amerikában is az elmúlt negyedszázadban.

Mivel a dinamikusan utánpótlódó, megújuló geotermikus energiavagyon csak konkrét tározókra, kutakra határozható meg, ezért a vizsgálatot is a kúthoz közel, helyi szinten kell megoldani (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011). Minél közelebb vannak a kutak egymáshoz, annál nagyobb az egymásra hatás, ezért a regionális szinten használatos végeelem módszer nem köthető a lokális kutakhoz extrapolálással, azaz a véges elem módszerre nincs lehetőség. Előbbiek alapján megállapítható, hogy alacsony hőmérsékletű folyadék alapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatakor lokálisan, helyi szinten a koncentrált paraméterű modell írja le a valóságot (Pálné Schreiner, 2011; Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011).

3.4.3. A koncentrált paraméterű modell

A koncentrált paraméterű modell a jövőbeni történéseket írja le analitikus válaszfüggvényeket alkalmazva, nemlineáris úton. A modell képes kellő pontossággal előjelezni a hosszú távú nyomásváltozást, a tározó kapacitásváltozását, a hosszú távú termelési potenciált, ha a múltból kellő számú megfigyelés, adat áll rendelkezésre.

A koncentrált paraméterű modellvizsgálatban a geotermikus rendszert egy olyan folyékony fázisú hidrotermális rendszernek tekintjük, amelyben a rezervoár három, egymással összefüggő, egymáshoz kapcsolódó tartályok sorozatából áll. A tartályok közötti kapcsolatot az 10. ábra mutatja. A tározók úgy csatlakoznak egymáshoz, hogy a folyadék áramolhat közöttük. Az áramlást a tartályok közötti nyomáskülönbség szabályozza. A legkisebb tartályt tekintjük a geotermikus rendszer belsejének, központi részének. Ezen belül méri és rögzíti a kitermelést és a visszatáplálást, valamint a nyomásváltozást. A második tartály a rezervoár külső részét, a harmadik pedig a külső, utántöltési környezetet szimbolizálja. A második tározóban sem kitermelés, sem pedig visszatáplálás nem történik, szerepe csak annyi, hogy összeköti a rendszer központi részét az utántöltési környezettel. Az újratöltési rész hidegebb, mint a geotermikus rendszer többi része.



10. ábra: Háromtartályos (soros) geotermikus rendszer részei és a közöttük lévő kapcsolat a koncentrált paraméterű modellben

Forrás: Saját szerkesztés Axelsson (1989) alapján

A modellben

- $\kappa = \{\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3\}$ a rezervoár kapacitása [$m \cdot s^2$],
- $\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_3$ az áramlási ellenállások [$m \cdot s$],
- $\mathbf{p} = [p_1(t), p_2(t), p_3(t)]$ a tározók nyomás vektora [Pa],
- $p(t)$ a környezet külső nyomása,
- $d(t)$ a kútból történő kitermelés [$\frac{kg}{s}$].

Mivel a tartályok közötti áramlást a nyomáskülönbség szabályozza, ezért felírható mind a három tartályra külön-külön egy-egy differenciálegyenlet.

$$\begin{aligned}\kappa_1 \frac{dp_1}{dt} &= \sigma_{12} (p_1 - p_2) + d \\ \kappa_2 \frac{dp_2}{dt} &= \sigma_{12} (p_1 - p_2) - \sigma_{23} (p_3 - p_2) \\ \kappa_3 \frac{dp_3}{dt} &= \sigma_{23} (p_2 - p_3) - \sigma_3 (p_t - p_3)\end{aligned}$$

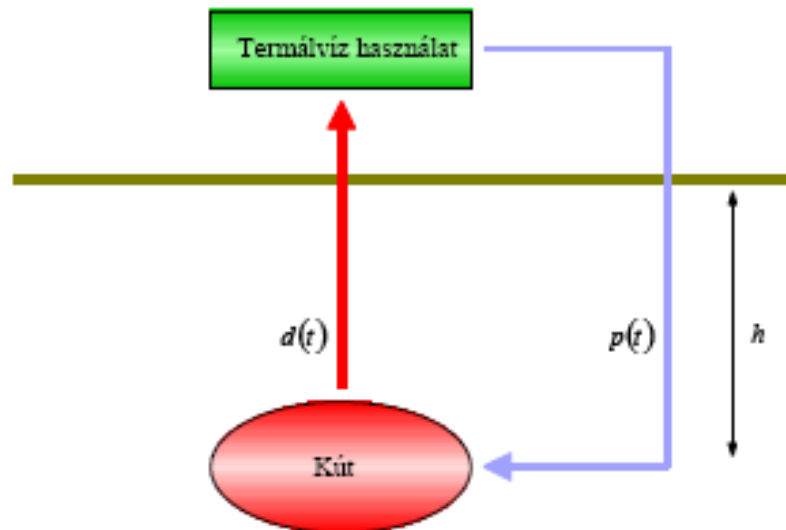
A differenciálegyenletet mátrix formában felírva:

$$\mathbf{K} \dot{\mathbf{p}} = \mathbf{S} \mathbf{p} + \mathbf{u}, \quad (3.1)$$

ahol

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \kappa_1 & & \\ & \kappa_2 & \\ & & \kappa_3 \end{bmatrix}, \mathbf{S} = \begin{bmatrix} -\sigma_{12} & \sigma_{12} & \\ \sigma_{12} & -\sigma_{12} - \sigma_{23} & \sigma_{23} \\ & \sigma_{23} & -\sigma_{23} - \sigma_3 \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} d(t) \\ 0 \\ \sigma_3 p(t) \end{bmatrix}$$

A folyadék kitermelése nyomáscsökkenést okoz a tározóban, ami folyadék beáramlást indukál a rezervoár külső részeiből a központi tározóba. Amikor a tározó külső része a geotermikus rendszer utántöltési forrását adja, akkor úgynevezett nyitott modellről beszélünk (11. ábra). E nélkül a kapcsolat nélkül a modell zárt lenne.



11. ábra: Egy tározós nyitott modell utántöltési forrással

Forrás: Saját szerkesztés, 2011

Nyitott modell esetén a rendszer egyensúlyban van, mert az utántöltési forrás a víz visszapótlásával állandó nyomást biztosít, ami stabilizálja a vízszintet. Ennek következtében a termelés és az újratöltés hosszú távon egyensúlyba kerül. A nyitott modell ezért egy optimista szcenáriónak tekinthető. Ezzel ellentétben, a zárt modellt pesszimista előrejelzésnek lehet tekinteni, mivel az ilyen modellnél nincs visszapótlás és a víz szintje folyamatosan csökken az idővel, a hosszú távú termelési következtében.

3.4.4. A koncentrált paraméterű modell szimbolikus megoldása

Az LPM modell klasszikus numerikus megoldása időigényes, költséges és nagy mennyiségű, drágán beszerezhető terepi adatot igényel. A numerikus közelítés hátránya még, hogy a halmozó hibák félrevezető információt adnak a hosszú távú termeléspotenciálra és a beavatkozás (például visszainjektálás) várható hatására vonatkozóan is (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011).

A szimbolikus kezelés kiiktatja a numerikus számítás problémáit, megszünteti a hibalehetőségeket. Kezelése egyszerű, gyors, pontos és a kapott eredmény szemléletes. Annak illusztrálására, hogy a hosszú távú döntéstámogató rendszerek esetén a legfontosabb módszertani probléma a koncentrált paraméterű modellek kezelése, egy akadémikus példán keresztül mutatjuk be a számítási eredményeket. Természetesen ez nem tükrözi a valóságot, de segít elképzelni a problémát.

Axelssonhoz (Axelsson, 1989) hasonlóan feltételezzük, hogy a példa fizikai paraméterei empirikusan nyert, nem lineárisan illeszkedő vagy szakértők által meghatározott adatok. Feltételezzük, hogy az időhorizont ötven év, az idő mérésének egysége hónap, így a teljes időhorizont ábrázolható a skálán. A természettől elrugaskodott fizikai paraméterek alkalmazásával hangsúlyozzuk, hogy a két emberöltőnyi időhossz túl hosszú ahhoz, hogy bemutassuk az alapvető módszertani problémákhoz kapcsolódó hosszú távú előrejelzést, a szezonális figyelembevételével (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011). A példában az adatok a következők:

- $\{\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3\} = \{1000, 10000, 50000\} [m \cdot s^2]$
- $\{\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_3\} = \{30, 60, 90\} [m \cdot s]$
- $q = 20 [Pa]$
- $p_i(0) = q, i \in \{1, 2, 3\}$, ahol q a bemenő paraméter,
- $p(t) = v(t)$, és
- $d(t) = w(t)$,

ahol $v(t)$ és $w(t)$ a trend függvények szezonális és véletlenszerű variációja.

A legfontosabb módszertani eredmény az, hogy ha a vizsgált probléma fizikai paramétereit amelyek:

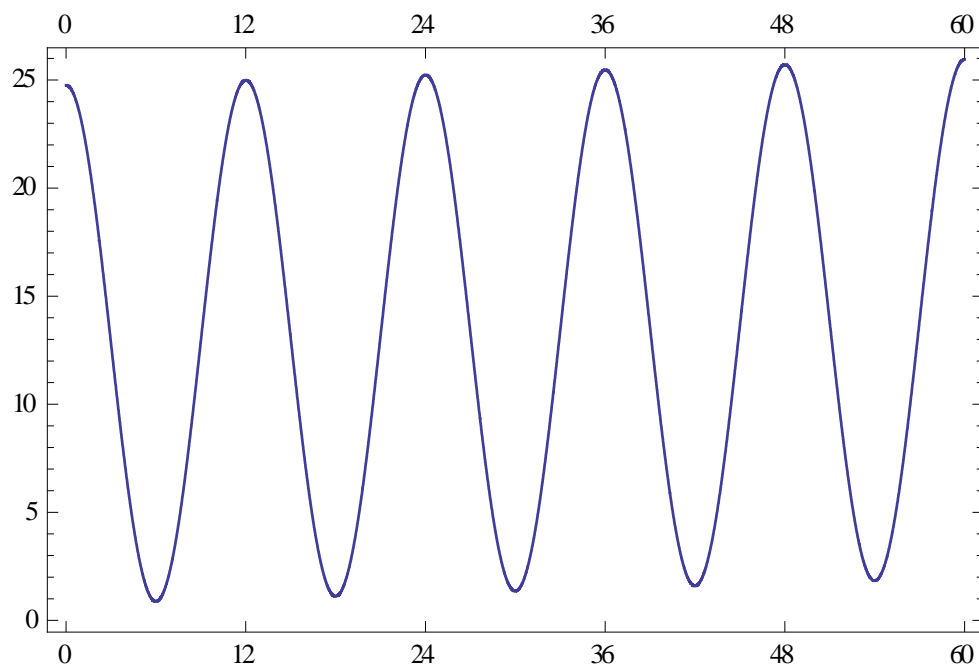
- $\{\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3\}$ (rezervoár kapacitása),
- $\{\sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_3\}$ (áramlási ellenállások) és
- q (nyomás) rögzítjük,

akkor az (3.1) differenciálegyenletet meg lehet oldani a *DSolve statement of Mathematica 8.0.* szoftverrel (Pálné Schreiner, 2011). Így, ezzel a megoldással egy forgatókönyv vizsgálata gyors és pontos, és a differenciálegyenlet megoldása helyett, már értékelni lehet a kapott eredményeket (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011).

Példaként definiálva a $v(t)$ keresleti függvényt a következő formában:

$$v(t) = 12 + \frac{1}{50} * t + 12 * \text{Cos}\left(\frac{\pi}{6}\right) * t + \text{Uniform}(-1, +1) \quad (3.2)$$

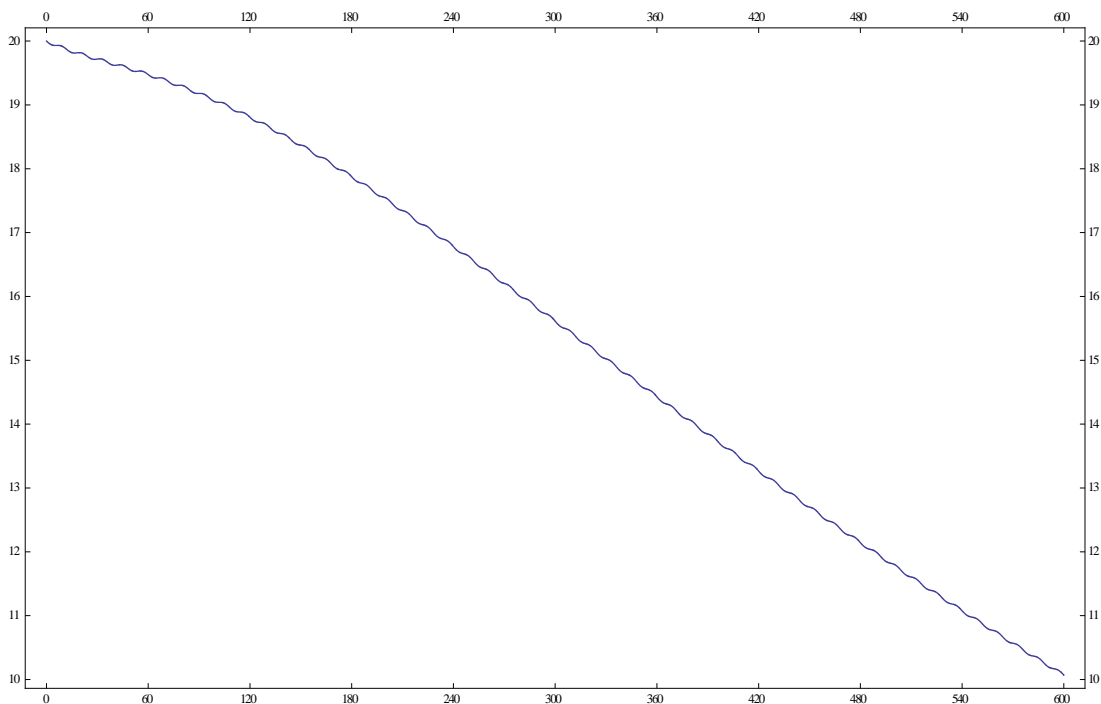
A képlet szerint a hő kereslete pozitív tendenciát és reális szezonális ingadozást mutat. Az utolsó tag néhány véletlen perturbációt határoz meg a fő áram körül, ami ebben a példában egy véletlen számot képvisel $[-1, +1]$ között. A 12. ábrán az első öt év (60 hónap) futtatása látható a keresleti függvény szerint.



12. ábra: Az első öt év néhány trendje a szezonális és néhány véletlen variáció figyelembevételével alacsony hőmérsékletű, folyadék alapú geotermikus rendszerben

Forrás: Saját szerkesztés, 2011

Ha $w(t) = 0$, ami a pesszimista forgatókönyvet (zárt modell) jelenti természetes vagy mesterséges visszainjektálás nélkül, akkor a nyomás az első (központi) tartályban a 13. ábra szerint csökken.

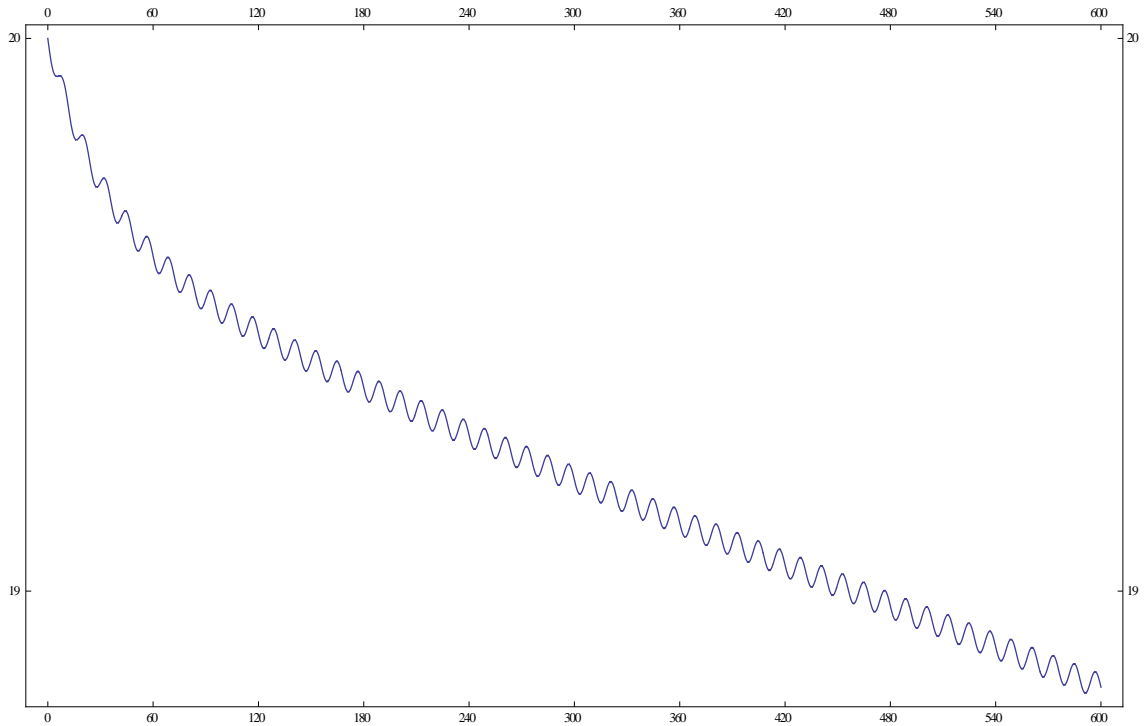


13. ábra: Zárt modell, pesszimista forgatókönyv esetén a nyomás csökkenés folyamata az idő függvényében

Forrás: Saját szerkesztés, 2011

Ha $w(t) = 20$, ami az optimista forgatókönyvet (nyitott modell) példázza, akkor egy erős természetes-, vagy mesterséges (és ezért költséges) visszainjektálás következtében, akkor az első (központi) tartályban a mérsékelt nyomásváltozás alakul ki, ami gyakorlatilag megfelel a fenntarthatóság kritériumának. A nyomásváltozást ebben az esetben a 14. ábra mutatja. Ez a forgatókönyv üzletileg teljes kudarccal lehet, mivel a visszasajtolás költségét nem biztos, hogy az árban érvényesíteni lehet.

A *DSolve statement of Mathematica 8.0.* szoftver segítségével az 1. táblázat szerint történt a koncentrált paraméterű modell (LPM) szimbolikus megoldása.



14. ábra: Nyitott modell, optimista forgatókönyv esetén a nyomás csökkenés folyamata, az idő függvényében

Forrás: Saját szerkesztés, 2011

DSolve[{*equations*},{*functions*},*variable*]

DSolve

[

{

p1[0] == 1,

p2[0] == 1,

p3[0] == 1,

k1 p1'[t] == s12(p1[t]-p2[t])+d0[t],

k2 p2'[t] == s12(p1[t]-p2[t])-s23(p3[t]-p2[t]),

k3 p3'[t] == s23(p2[t]-p3[t])-s3(p0[t]-p3[t])

}

,

{p1[t],p2[t],p3[t]}

,

t

]

2. táblázat: Az LPM megoldása DSolve Statement of Mathematica 8.0.-cal

Az előbbiekből látható, hogy az alacsonyhőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatakor a koncentrált paraméterű modell numerikus megoldását szimbolikus megoldással lehet helyettesíteni. Előnye a megoldásmódnak, hogy kevesebb a módszertani probléma és ezért egyszerűbb, gyorsabb a kezelése. A szimbolikus megoldás további pozitív hatása, hogy vele kibővíthető a modell, mivel az idő sík nyújtható.

A kutatás további részében a termálvíz használatok hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának meghatározásával foglalkozunk. Ahogy arról a későbbiekben szó esik, az optimális kitermelési mód meghatározását segítik a döntéstámogató rendszerek (Decision Supporting System - DSS). Az LPM szimbolikus megoldása kezeli a döntéstámogató rendszerek (DSS) legfontosabb módszertani problémáját az optimalizálás hosszú távú vizsgálatát (Pálné Schreiner, 2011).

3.5. Új tudományos eredmények: 1., 2., 3. és 4. tézis

1.Tézis

(Pálné Schreiner, J. 2010b; Pálné Schreiner, J.2010c, Pálné Schreiner, J. 2012a)
Tekintettel arra, hogy minden fúrási eredmény magyar geotermikus kincs, javasoltam egy magyar geotermikus kincstár (adatbázis) létrehozását:

1.1. Definiáltam a magyar geotermikus kincs és magyar geotermikus kincstár fogalmát.

1.2. Javasoltam, hogy a kincstárba a Magyarországon napjainkig fúrt közel 1500 geotermikus kút adatai is kerüljenek be. Ezeknek a kutaknak kettős szerepe lesz, a vízáadás mellett ún. kontroll kútként adatokat szolgáltatnak a kincstárba.

1.3. Megállapítottam, hogy a magyar geotermikus kincstár adatai segítik a felszín alatti folyamatok modellezésének numerikus kezelését.

1.4. Megmutattam, hogy a kincstárban összegyűjtött adatok segítségével a valóságos természeti folyamatokat jobban megközelítő eredmények születhetnek.

2.Tézis

(Pálné Schreiner, J. 2011; Csébfalvi, A. - Pálné Schreiner, J. 2011)

Bemutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatakor lokálisan, helyi szinten a koncentrált paraméterű modell (LPM) megfelelően írja le a valóságot, optimalizáláskor.

2.1. Rávilágítottam, hogy az állami, regionális szinten használatos végeselem módszer nem köthető lokális kutakhoz extrapolálással.

2.2. Kimutattam, hogy minél közelebb vannak a kutak egymáshoz, annál nagyobb az egymásra hatás, ezért végeselem módszerre nincs lehetőség.

2.3. Rávilágítottam, hogy optimalizálás a kúthoz közel, helyi szinten szükséges.

3. Tézis

(Pálné Schreiner, J. 2011; Csébfalvi, A. - Pálné Schreiner, J. 2011)

Bebizonyítottam, hogy az alacsonyhőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatakor a koncentrált paraméterű modell numerikus megoldását szimbolikus megoldással lehet helyettesíteni.

3.1. Bemutattam, hogy a szimbolikus megoldás előnye az egyszerűbb előállítás, kezelés.

3.2. Rávilágítottam, hogy a szimbolikus megoldásnál kevesebb a módszertani probléma.

3.3. Példával bebizonyítottam, hogy a koncentrált paraméterű modell (LPM) szimbolikus megoldásával a modell idősíkjá nyújtható.

4. Tézis

(Pálné Schreiner, J. 2011; Csébfalvi, A. - Pálné Schreiner, J. 2011)

Bebizonyítottam, hogy a LPM szimbolikus megoldása kezeli Sigurðardóttir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepció legfontosabb módszertani problémáját az optimalizálás hosszú távú vizsgálatát, mivel az idősík nyújtható.

4. AZ ALACSONY HŐMÉRSÉKLETŰ TERMÁLVÍZ HASZNÁLATÁNAK FENNTARTHATÓSÁGA

4.1. A geotermikus készletek fenntarthatósága

A hosszú távú fenntarthatóságot a geotermikus készletek esetén az határozza meg, hogy a megújulás és a termelés milyen kapcsolatban áll egymással. A World Commission on Environment and Development (WCED) Brundtland Bizottsága 1987-es meghatározása fenntarthatóként kezeli a termelést mindaddig, amíg az *„a jelenlegi generáció igényeit úgy elégíti ki, hogy ezzel nem rontja az utána következő generációk lehetőségeit”*. A Brundtland-jelentésnek nevezett *„A közös jövőnk”* című zárójelentés meghatározta a fenntartható társadalom legfontosabb alapelveit. Ezek az életközösségek tisztelete és védelme, a Föld vitalitásának és diverzitásának megőrzése, a nem megújuló erőforrások felhasználásának minimalizálása, a Föld eltartó képességének határain belül maradó növekedés, az egyéni magatartás és szokások megváltoztatása, a közösségek feljogosítása arra, hogy saját környezetükről gondoskodjanak. Az előbbi alapelveket figyelembe a fenntartható fejlődés három alappilléren, a gazdasági-, társadalmi- és környezeti pilléren nyugszik a jelentés szerint. A pillérek elválaszthatatlanok egymástól, így kölcsönhatásaikat is figyelembe kell venni.

A fenntartható termelés definíciójára az Orkustofnun munkacsoport tagjai 2001-ben tettek a gyakorlatban is megvalósítható javaslatot. Ennek értelmében *„minden termelési módra létezik egy olyan maximális energiatermelési szint, amely alatt maradv a folyamatos energiatermeléssel a rendszerből hosszú időn (100-300 éven) keresztül fenntartható”*.

A világ különböző részein évszázadok óta hozamcsökkenés nélkül működő, víz- és hő szolgáltató termálforrások igazolják, hogy egyensúly áll fenn a felszíni megcsapolás és a mélybeli fluidum- és hő után pótlódása között (Stefansson, 2000). A geotermikus készletek regenerációja az idő függvénye, melynek hossza a technológiai megoldás típusától és nagyságától, a kitermelés intenzitásától, és a készlet geológiai jellemzőitől függ. A földhő fenntartható módon használható, azaz hosszútávon üzemeltethető termeléscsökkenés nélkül, ha a kitermelés optimális szinten folyik. Mesterséges víz visszasajtolással a hosszú távú fenntarthatóság még fokozottabban megvalósítható. A termelési szint a helyi geotermikus készlet

adottságainak a (telepnagyságának, természetes után pótlódásnak) függvénye, az optimálisan hasznosított geotermikus energia viszont természeti, társadalmi, műszaki és gazdasági feltételek által meghatározott, időben változó kategória.

4.2. A geotermikus készletek hasznosítási lehetőségei

A hőforrások közvetlen hasznosítása szinte az emberiséggel egyidős, az erre vonatkozó archeológiai bizonyítékok közel 5000 évre visszamenően állnak rendelkezésre. A geotermikus adottságok áramfejlesztési célú hasznosítása ezzel szemben, csak 110 éves múltra nyúlik vissza. Az olaszországi Toscanában, Landerelloban 1904-ben tettek elsőként kísérletet arra, hogy a geotermikus gőzből elektromos áramot fejlesszenek (Mádlné Szőnyi, 2006). A Föld belső hőjéből származó energia felhasználása iránti érdeklődés világszerte a második világháborút követően élénkült meg. Azok az országok, ahol erre reális lehetőség kínálkozott, úgy képzelték, hogy a geotermikus energia lehetővé teszi a kizárólagosan belföldi forrásra támaszkodó energiatermelést. Azt remélték, hogy ezzel csökkenthetik a nagy mennyiségű fosszilis energiával rendelkező hatalmaktól való függőségüket.

A geotermikus energiaforrások hasznosítás szerinti osztályozására több módszer létezik, ezek közül a leggyakrabban alkalmazott a hő a felszínre szállító fluidum entalpiája szerinti osztályozás. A módszer lényege, hogy a termálvíz hőmérséklete alapján adják meg a geotermikus készlet értékét és hasznosságát, ez utóbbit energiahasznosítás szempontjából.

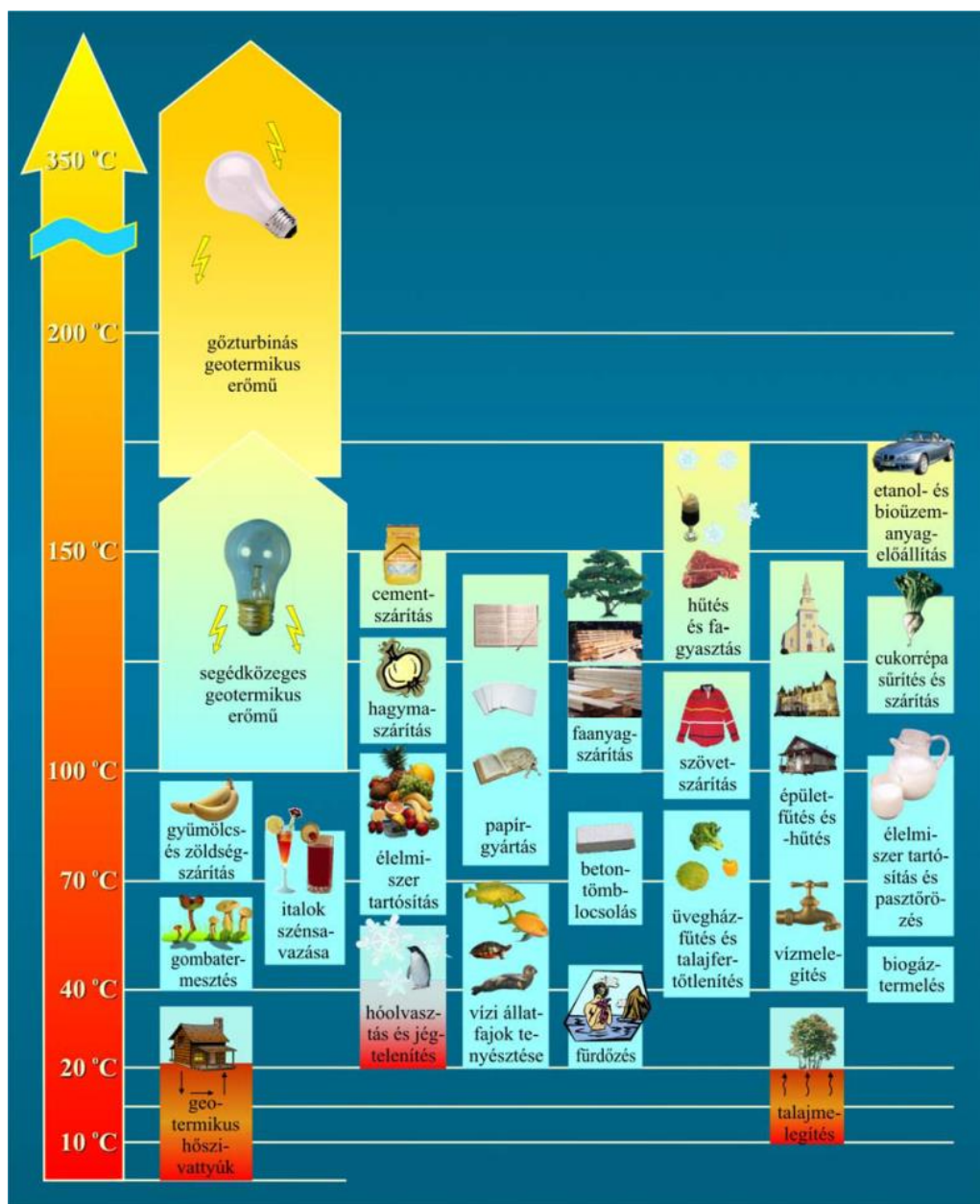
Készlet típus (entalpia)	Muffler és Cataldi (1978)	Hochstein (1990)	Benderitter és Cormy (1990)	Nicholson (1993)	Axelsson és Gunnlaugsson (2000)
kis	< 90(°C)	< 125(°C)	< 100(°C)	≤ 150(°C)	≤ 190(°C)
közepes	90-150(°C)	125-255(°C)	100-200(°C)	-	-
nagy	> 150(°C)	> 225(°C)	> 200(°C)	> 150(°C)	> 190(°C)

3. táblázat: Geotermikus rendszerek osztályozása hőmérséklet alapján

Forrás: Mádlné Szőnyi, 2006, alapján saját szerkesztés, 2014

A fluidum entalpiája szerinti osztályozás az energiaforrásokat kis, közepes és nagy entalpiájú (hőmérsékletű) rendszerekbe sorolja. Az 3. táblázatból látható, hogy a kutatók igen eltérő hőmérsékleti intervallumokat jelölnek meg a kategóriákban.

Mivel az elnevezés téren nincs nemzetközi egységesítés, ezért hasznosításkor célszerűen a tényleges hőmérsékleteket szokták feltüntetni. Hazánkban a sajátos medenceszerkezet és porózus, ill. hasadékos hévíztartó rezervoárok kategorizálásához mind genetikai, mind energetikai szempontokból a Muffler és Cataldi (Muffler és Cataldi, 1978) felosztás felel meg legjobban.



15. ábra: Lindal diagram a geotermikus energia hasznosítására

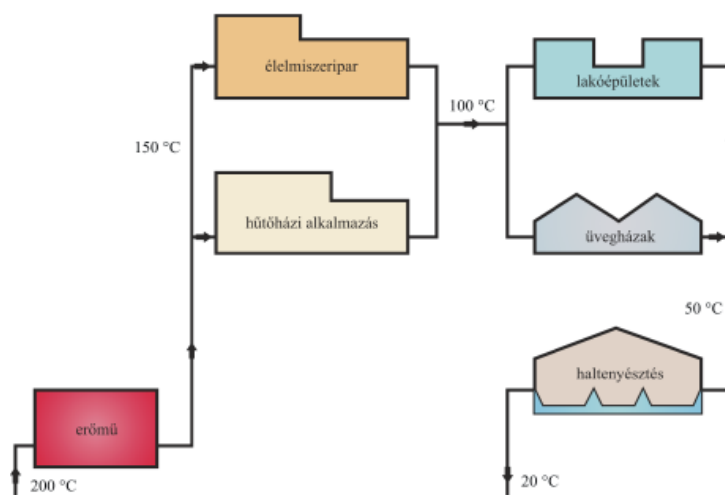
Forrás: Lindal, 1973 In: Mádlné Szőnyi, 2006

A geotermikus energia hasznosítási módját, technológiáját a geotermikus fluidum hőmérséklete határozza meg. A technológiák két fő csoportba sorolhatók, a geotermikus hőenergiát közvetlenül hasznosítóakra és az

áramfejlesztési célúakra. A szakirodalomban ennek illusztrálására azt a Lindal-féle diagramot használják, mely a geotermikus energia széles skálájú alkalmazási lehetőségeit vázolja fel. Az 1973-ban kidolgozott diagram a geotermikus fluidum hőfoklépcsőire ajánl különböző hasznosítási célokat (15. ábra). Áramfejlesztés ma, a Lindal diagramtól eltérően, már 75-80 °C-os alsó vízhőmérsékleti határtól lehetséges.

A Lindal diagram által bemutatott sokféle felhasználási lehetőség arra hívja fel a figyelmet, hogy a geotermikus készlet hőmérséklete korlátozza a lehetséges hasznosítást, valamint, hogy a leggazdaságosabb az úgynevezett kaszkád rendszerű, többlépcsős felhasználás. A kaszkád rendszerű hasznosítás során, a termálvíz első használata után visszamaradó hőt (energiát) tovább hasznosítják, lehetőség szerint több lépcsőben (helyen), egészen addig a legalacsonyabb hőfokig, ameddig az lehetséges. A földhőszivattyúk alkalmazásával az alsó hőmérsékleti határ mára már 0°C-ra lecsökkent. Ez az úgynevezett kapcsolt energiatermelés számottevően javítja a geotermikus energiaforrás kihasználtságát, gazdaságosságát.

A 16. ábrán Rybach és Kohl egy többlépcsős, kaszkádos geotermikus energia használatára mutat példát. Az ábrán jól láthatóak a hőmérsékleti lépcsők valamint a geotermikus energia használati helyei is.



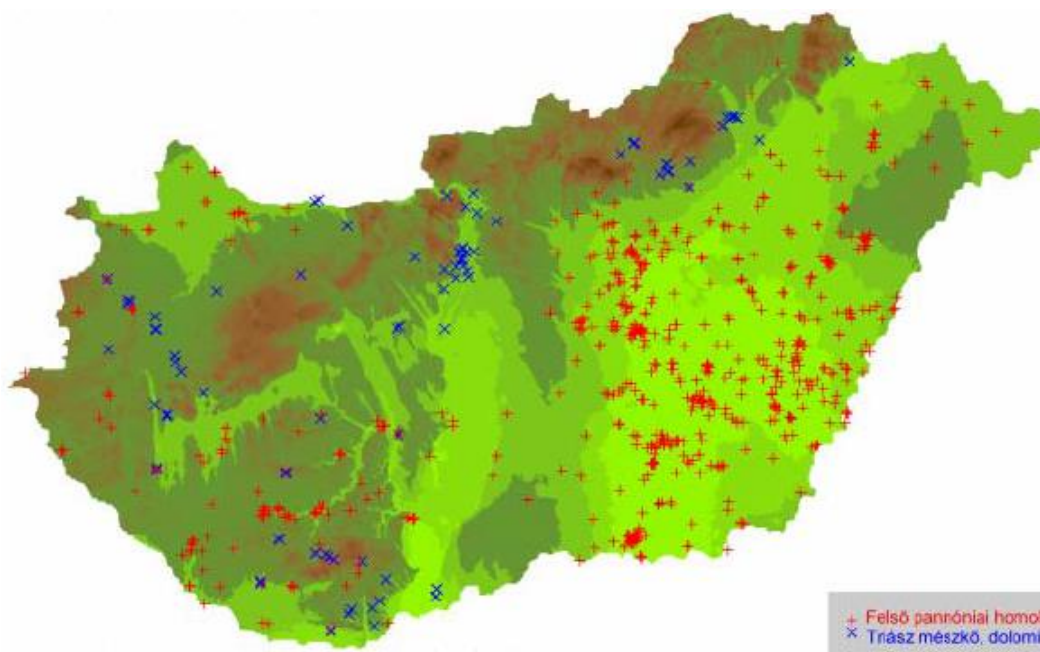
16. ábra: Kaszkád rendszerű hőhasznosítás

Forrás: Rybach - Kohl, 2004 In: Lenkey - Mádlné Szőnyi J, 2009

4.3. Az alacsony hőmérsékletű termálvizek hasznosítása Magyarországon

Ahogy az eddigiekből már kiderült, Magyarország természeti adottságai rendkívül kedvezőek a geotermikus energia hasznosítására. Hazánkban 2010-ben 788² termálkút működött 654,6 MW_{th} beépített teljesítménnyel (Tóth, 2010). 2012-ben 68 Mm³ termálvizet termeltek ki (Árpási, 2014). A 17. ábra a 2008-ban Magyarországon működött termál kutak elhelyezkedését mutatja.

Az előbbi hiányosságok ellenére, a geotermikus energia mezőgazdasági célú felhasználásában Magyarország a világ élmezőnyében tartozik. 2010-ben Magyarországon 193 működő termálkúttal, 67 hektár területű üvegház és 232 hektár fóliasátor fűtését oldották meg, évi 2572 TJ energiával (Tóth, 2010). Az állattartás területén, 52 helyszínen hasznosítják a geotermikus energiát halastavak, baromfikeltetők, istállók temperálására (Bobok és Tóth, 2010). A szentesi Árpád - Agrár Zrt. 65 MW kitermelt hő teljesítményével a legnagyobb koncentrált fogyasztó, de a rendelkezésre álló hőlépcső kihasználása itt is jelentősen javítható lenne.



17. ábra: Működő termál kutak Magyarországon 2008-ban

Forrás: Szanyi, 2008

² Árpási 2014-es tanulmánya szerint 2012-ben 1227 lefúrt termálkútból 805 működött Magyarországon, kb. 700 MW_{th} teljesítménnyel. Előadásában Árpási utalt rá, hogy a pontos termál statisztika hiánya miatt a számok becslés értékűek.

A balneológiai célú termálvíz felhasználást 2010-ben 289 termálkút és 120 termálforrás biztosította hazánkban. A fürdőkbe beépített 272 MW_{th} teljesítmény, 5356 TJ energiát szolgáltatott egy év alatt (Tóth, 2010).

2010-ben Magyarországon negyven³ településen több mint 9000 lakást fűtöttek geotermikus energiával. A 118,6 MW_{th} beépített teljesítmény 1162 TJ/év energiát nyújtott, melynek 80%-a a távfűtő rendszerekben, 20%-a egyedi fűtőrendszerekben hasznosult (Tóth, 2010). Magyarország legkorszerűbb, 10 MW_{th} hőteljesítményű geotermikus távfűtő rendszere Hódmezővásárhelyen üzemel jó hatásfokkal és gazdaságosan. A sikeresen megoldott vízvisszasajtolás tetemes költségei ellenére a távfűtés költsége a gáztüzelésű távfűtéséhez képest 40%-kal kisebb.

A Magyar Állami Földtani Intézet 2012-ben publikált jelentése szerint 2007-ben 58⁴ millió m³ termálvizet termeltek ki Magyarországon, melynek a 35%-a balneológiai, 29%-a ivóvíz célú felhasználás volt. A balneológiai célú vízkivétel jelentős része zárt rendszerű hőhasznosítás, ezért elvileg visszasajtolható lenne. Energetikai (fűtés) célra 12 millió m³ termálvizet (a teljes kivétel 21%-át) használták, melynek 11%-át injektálták vissza. Az energetikai célra kitermelt és nem visszasajtoló vízmennyiség közel 11 millió m³ volt 2007-ben.

2004-től kezdődően élénkülés volt tapasztalható a hazai geotermikus fejlesztésekben, melyek az utóbbi években sajnos alábbhagytak. Akkor az olajipar elkötelezte magát a geotermikus energiából villamos energiát termelő első kísérleti erőmű megépítésére, s a magántőke is érdeklődést mutatott az önkormányzatokkal együttműködve villamos erőművek és városi távfűtő rendszerek létesítésére (Bobok és Tóth, 2010).

Jelenleg geotermikus alapú, villamoserőművi energiatermelés nincs még Magyarországon. Ennek oka, hogy a nagy hőmérsékletű túlnyomásos tározók termelésbe állításának műszaki feltételei nem minden részletükben megoldottak még napjainkban. Az extrém nagy nyomás és oldott anyag tartalom további kutatásokat tesz szükségessé. A hosszú távú tervekben Magyarországon gondolni kell a Délkelet-alföldi medencealjzat nagy hőmérsékletű zónáinak feltárására. Ezek energiatartalmának hasznosítására csak EGS módszerek alkalmazásával kerülhet sor. Külföldi szakértők is egyetértenek abban, hogy Magyarország a nagymélységű EGS rendszerek létesítésére Európa legalkalmasabb helyszíne, s ez akár uniós vagy más

³ Árpási 2014-ben 2012-re vonatkoztatva 26 települést becsül.

⁴ Árpási 2014-es kutatásában 2012-re évi 68 millió m³ mennyiséget becsült.

külföldi tőke számára is vonzó adottság lehet. A nagyobb mélységű mesterséges tározókból akár víz, vagy szuperkritikus állapotú széndioxid is lehet a hőt szállító, egyúttal munkavégző közeg. A mélység és ezzel a hőforrás hőmérsékletének növekedése a távolabbi jövő geotermikus erőműveinek hatásfokát javítja majd jelentősen (Árpási, 2008).

4.4. Az alacsony hőmérsékletű termálvíz fenntartható használatának meghatározása döntéstámogató rendszerrel

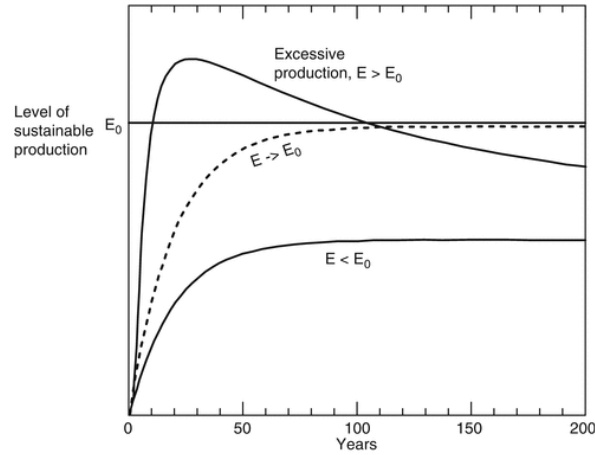
4.4.1. Az alkalmazott döntéstámogató rendszer (DSS) bemutatása

Az alacsony hőmérsékletű termálvizek fenntartható kitermelési módjának meghatározásakor cél, hogy olyan stratégiát lehessen alkotni, ami segíti a geotermikus készlet hosszú távú, fenntartható hasznosítását. A fenntartható kitermelési stratégiát úgy kell meghatározni, hogy optimalizálja a geotermikus erőforrásokat környezet barát módon, és e mellett a társadalmi-gazdasági fejlődés is teljesüljön. A hosszú távú fenntarthatóság eléréséhez a negatív hatásokat minimalizálni, a pozitívokat pedig maximalizálni kell.

Napjainkban a hosszú távú tervezést nehezíti, hogy a közgazdasági változók nem determinisztikusak, a természeti adottságok folyamatos változása miatt sok a lágy paraméter, ezért a tervezésnél a bizonytalanságot is figyelembe kell venni. Az optimális kitermelési mód meghatározását és a bizonytalanság kezelését segítik a döntéstámogató rendszerek (Decision Supporting System - DSS) (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011). A döntéstámogató rendszer az alacsony hőmérsékletű geotermikus rendszer esetén megoldásokat ad, figyelembe véve a hosszú távú piaci feltételeket, egy lehetséges időintervallumon belül, a költséghatékonyság lehetséges módjaira, a felhasználókhöz és a piaci igényekhez alkalmazkodva. A vizsgálat a Sigurðardóttir és társai (Sigurðardóttir et. al, 2010) által publikált DSS koncepción alapul.

Sigurðardóttir (Sigurðardóttir et. al, 2010) kutatása szerint egy geotermikus rendszer használatának fenntarthatóságát az határozza meg, hogy a megújulás és a termelés milyen kapcsolatban áll egymással. Minden geotermikus rendszerre és minden termelési módra létezik egy olyan maximális energiatermelési szint (Level of sustainable production, E_0), amely alatt maradva a folyamatos energiatermeléssel, a rendszer hosszú időn

keresztül (100-300 év) fenntartható. Ha kitermelés intenzitása nagyobb (Excessive production, $E > E_0$), mint E_0 , akkor nem tartható ez az időhossz (18. ábra).



18. ábra: A geotermikus rendszer energiájának változása az idő függvényében (E_0 a fenntartható kitermelés szintje)

Forrás: Sigurðardóttir et. al, 2010

Sigurðardóttir döntéstámogató rendszere a geotermikus rendszert akkor tekinti fenntarthatónak, ha a kitermelés egyenlő vagy kevesebb, mint E_0 , és nem fenntartható a rendszer, azaz túltermelés történik akkor, ha nagyobb, mint E_0 .

$$S_t = \frac{E_x \cdot d}{P} \quad (4.1)$$

ahol, a fenntarthatóságot (S_t), a víz kitermeléséhez szükséges energia (E_x) és a kereslet (d) szorzata, valamint a vízben található specifikus energia (P) hányadosa határozza meg.

$$E_x = c \left((T_h - T_0) - T_0 \ln \frac{T_h}{T_0} \right) \quad (4.2)$$

Ha c (J/kg,°K) a víz fajhője, T_h (°K) a hőforrás hőmérséklete és T_0 (°K) a lecsökkent hőmérséklet, akkor a fenti egyenlet írja le az egy egységnyi termékre jutó kitermeléshez szükséges energia nagyságát [E_x (J/kg)].

Ha a vizet (vagy a hőt) gyorsabb ütemben termelik ki a tározóból, mint amennyire feltöltődik, akkor üzemi tevékenység már nem nyereséges, és

ekkor a tározót pihenni kell hagyni addig, amíg a rendszer újra felmelegszik, vagy feltöltődik és felmelegszik. Az optimális működési stratégia határozza meg, a kitermelhető energia nagyságát és azt is, hogy a termelés folyamatos vagy szakaszos legyen.

A fenntarthatósági stratégiát megalkotó döntéstámogató rendszer megalkotásához egy olyan modellt kell létrehozni, ami utánozza a geotermikus rezervoár viselkedését. Mivel az optimalizálási stratégiák számítás igényesek, ezért fontos hogy a tározó modell kellően pontos és hatékony legyen. A modell paraméterek a teoretikai következtetések és empirikus megfigyelések különbségeinek négyzetének minimalizálásával becsültek.

$$\min \frac{1}{2} \|h_e - h(h_0, K, S)\|_2^2 = \frac{1}{2} \sum_j (h_{e,j} - p(h_0, K, S, t_j))^2 \text{ ahol,} \quad (4.3)$$

- $h_{e,j}$, egy empirikus megfigyelés a j időpontban,
- $p(h_0, K, \sigma, t_j)$ egy teoretikus következtetés ugyanabban a j időpontban meghatározható, megoldva a (3.1) egyenletet.

A vektorok visszaadják mindegyik tározónak a leszívás megkezdését (a termelést) megelőző állapotban meglévő, kezdeti értékeit.

- h_0 a tárolási koefficiens,
- κ (K-ból) és a vezetőképesség σ (S-ből) a geotermikus rendszerjellemező paraméterei.

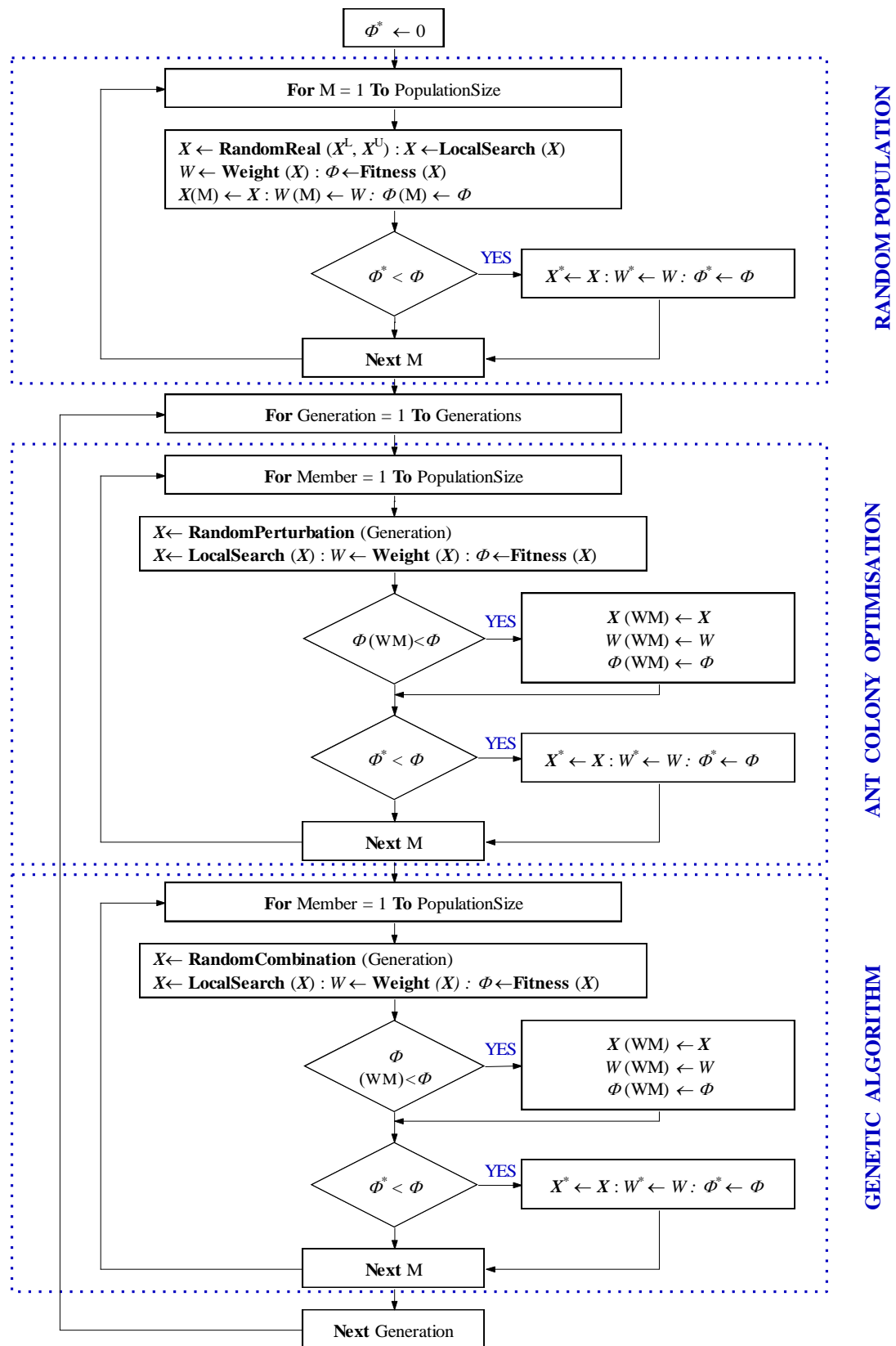
DSS klasszikus megoldása a *Matlab (CVX,2009)* programmal történik, mely rendszer hiányossága, hogy az optimalizálást csak rövidtávon, maximum három év időtávban tudja kezelni. Ez a rövid távú megoldás a geotermikus rendszerek hosszú távú fenntarthatósági vizsgálatánál nagy hiányosság (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011). A vizsgálat újdonsága, hogy az optimalizálási probléma megoldása az eredetitől eltérően, Csébfalvi 2007-ben publikált „ANGEL” hibrid meta-heurisztikus módszerével történt.

4.4.2. A DSS számítása az ANGEL hidrid meta-heurisztikus módszerrel

Előbbiekből látható, hogy a megoldandó feladat rendkívül összetett, ezért hagyományos módszerekkel történő megoldása bonyolult. Az optimalizálási probléma jellegéből adódó nagyméretű implicit egyenletrendszerek megoldása, valamint a gradiens meghatározása a hagyományos optimalizálási algoritmusok alkalmazásakor rendkívül költséges. A probléma megoldása nagymértékben függ a kiindulási feladat megválasztásától, vagyis az így kapott eredmény csupán a kiindulási feladat lokális környezetében vett optimális megoldásnak tekinthető.

A hagyományos módszerek előbb említett hátrányai késztették a kutatókat a heurisztikák, illetve a hibrid heurisztikák kidolgozására. Napjainkban számos heurisztikus eljárást ismert, és hatékonyan alkalmazható optimalizálási feladatok megoldására. A kutatásban alkalmazott ANGEL módszeren belül a hangyaboly és a genetikus algoritmus felváltva, egymás eredményeit hasznosítva keresik az optimális megoldást. A hangyaboly eljárás (ant colony optimization - ACO), illetve a genetikus algoritmus (genetic algorithm - GA) eredményeit egy linearizáláson alapuló helyi keresési eljárás (local search strategy - LS) segítségével javítja. Az ANGEL név a módszerben szerepet játszó elemek angol nyelvű elnevezéséből képzett betűszó. A módszer csupán három operátort tartalmaz, melyek szelekció (ACO+GA), *perturbáció* (ACO) és *kombináció* (GA).

Az ANGEL algoritmusban (19. ábra) a hagyományos mutációs operátor helyett, azaz a származtatott megoldások (utódok) hagyományos véletlenszerű *perturbációja* helyett egy linearizált, gradiens alapú helyi keresési eljárást alkalmaznak a heurisztikával adódó megoldások javítására. Tehát, a szülők génkészletéből adódó megoldás véletlenszerű *perturbációja* helyett egy „irányított” *perturbációt* alkalmaznak, vagyis az utódot a lokális környezetben található „lehető legjobb” utóddal helyettesítik.



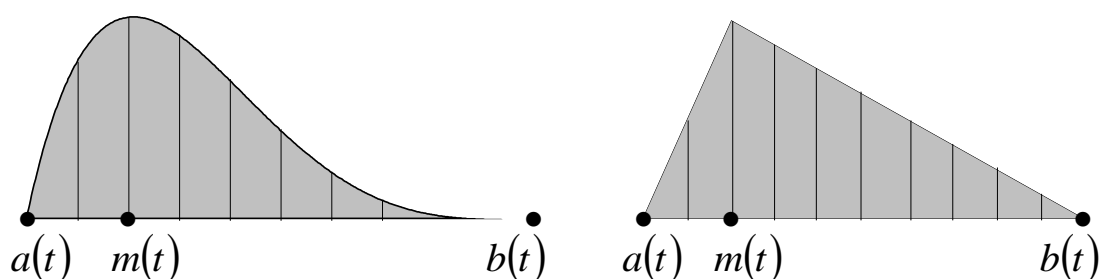
19. ábra: A folytonos ANGEL algoritmus lépése

Forrás: Csébfalvi, 2007

Az ANGEL módszer egy teljesen véletlenszerűen generált kezdeti populációból kiinduló iterációs eljárás, amely az alábbi két alaplépést váltakozva és egymásra épülve ismétli: 1. Hangyaboly eljárás (ACO) helyi keresési eljárással kiegészítve; 2. Genetikus algoritmus (GA) helyi keresési eljárással kiegészítve. A keresési folyamatban a „szabadság diverzifikációja” csökken, de szabadság foka nő lépésről lépésre.

A numerikus eredmények azt mutatják, hogy az ANGEL hatékonyabb és robusztusabb lehet, mint a hagyományos populáció alapú heurisztikus módszerek a nagy implicit optimalizálási problémákban, ezért az ANGEL teljesen megfelelő a Sigurðardottir DSS követelményeire.

A Sigurðardottir kutatócsoportja által közzétett részleges adatok sajnálatos módon nem teszik lehetővé, hogy az eredményeket az ANGEL-lel ellenőrizni lehessen, így a kutatásban egy akadémikus példán keresztül történik az eredmények bemutatása. A geotermikus rendszereknél figyelembe véve a sztochasztikus vagy fuzzy elemeket, a bizonytalan környezet azt jelenti, hogy az „optimális terv” túl lágy lesz, ezért meg kell becsülni a „konfidencia intervallumot” vagy variabilitását (Pálné, Schreiner, 2011). A DSS-ben a környezeti- és gazdasági tényezők, és ezek a hosszú távú változása írja le a valószínű vagy lehetséges megoldást az idő függvényében. A szabad paraméterek száma függ az alkalmazott bizonytalanság ábrázolásától.



20. ábra: Probabilisztikus- (valószínű) és possibilisztikus (lehetséges) eloszlás az idő függvényében

Forrás: Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011

A 20. ábra egy valószínű és egy lehetséges megoldást mutat. Minden tényező leírható az idő függvényeként az alábbi formában:

- $\{a(t), m(t), b(t)\}$
- $t \in \{0, \dots, T\}$, ahol
- $\{a(t), m(t), b(t)\}$ T jelöli a tervezés idő intervallumát.

Tekintettel a szokásos elnevezésekre, a 20. ábra szerinti triplet (érték hármas) meghatározza az optimista, a legvalószínűbb, illetve a pesszimista forgatókönyvet.

Az ANGEL-ben (Csébfalvi, 2007) a bizonytalanság kezelése független az alkalmazott megközelítés bizonytalanságától, azaz, az ANGEL semmit nem tud a „hármassok” igazi jelentéséről. Amikor megpróbálja maximalizálni a nem determinisztikus célfüggvényt egy olyan nem determinisztikus rendszerben, mint a geotermikus rendszer, akkor az ANGEL - amennyire csak lehet - megpróbálja mozgatni a potenciális megoldások konfidencia intervallumát. A keresés logikája szerint a legpesszimistább megoldás lehet a legoptimálisabb megoldás a menedzsment számára (Pálné Schreiner, 2011). Az ANGEL tehát megmutatja, hogy egy innovatív matematikai modellel, a szabályozók (természeti, társadalmi, gazdasági, műszaki) által korlátozva, hogyan lehet egyszerűen végrehajtani, a geotermikus készletek kitermelésének és hasznosításának hosszú távú optimalizálását az idő függvényében (Csébfalvi és Pálné Schreiner, 2011).

4.5. Új tudományos eredmények: 5. tézis

5. Tézis

(Pálné Schreiner, J. 2011; Csébfalvi, A. - Pálné Schreiner, J. 2011; Pálné Schreiner, J. 2012a; Pálné Schreiner, J. 2013a; Pálné Schreiner, J. 2013b; Pálné Schreiner, J. 2014)

Bemutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú fenntartható kitermelési módjának bizonytalanság kezelését a döntés támogató rendszerek (DSS) megoldják.

5.1. Rávilágítottam, hogy a hosszú távú tervezést nehezíti a sok lágy paraméter (természeti adottságok), valamint az, hogy a közgazdasági változók nem determinisztikusak, ezért a tervezésnél a bizonytalanságot is figyelembe kell venni.

5.2. Példával bizonyítottam, hogy a bizonytalanság kezelésére megfelelő a Sigurdardottir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepció.

5.3. Bemutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának meghatározását segíti a Sigurðardóttir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepció.

5.4. Bebizonyítottam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú fenntartható üzemelésének időbeli változáskezelését segítik a döntéstámogató rendszerek (DSS). A fenntarthatóság paraméterei (mérőszámai) folyamatosan változnak az idő függvényében. Rávilágítottam, hogy a DSS az üzemelési adatok időbeli változását figyelembe véve adhat megoldást.

5. ESETANULMÁNYOK

Baranya megye gazdasága a rendszerváltás óta képtelen új fejlődési pályára állni. Ennek a következménye főleg a vidéki térségekben - az általános elszegényedés, az egyre súlyosabbá váló munkahelyhiány és a fiatal képzett szakemberek tömeges elvándorlása a megyéből. Az elmúlt évtizedek kedvezőtlen tapasztalatai azt igazolják, hogy külső fejlesztési forrásokra csak korlátozott mértékben lehet számítani, ezért meghatározó jelentőségűek a térség belső, főleg a természeti adottságokból adódó erőforrásai. Az elmúlt években több olyan geotermikus energiát hasznosító üzem kezdte meg működését Baranya megyében, amelyeknek működési tapasztalatait értékelni lehet.

A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0002, „A Dél-dunántúli régió egyetemi versenyképességének fejlesztése” projektben megismert két geotermikus rendszeren (Bólyi Termálprojekt és a Szigetvári Gyógyfürdő) keresztül vizsgálja, hogy a kutatási eredményei milyen módon segíthetik a területfejlesztési program intézkedéseit, és ezzel igazolva a tézisek helyességét, gyakorlati alkalmazhatóságát is. Mivel mindkét geotermikus rendszer Baranya megyében helyezkedik el, ezért fontosnak tűnt, hogy a fejezet eleje röviden bemutassa a projektek természeti-, társadalmi- és gazdasági környezetét.

5.1. Baranya megye természeti-, társadalmi- és gazdasági erőforrásai

Baranya megye Magyarország délnyugati részén helyezkedik el, az ország legdélebbi fekvésű megyéje. Természeti határát keleten a Duna, nyugaton és délen részben a Dráva, északon pedig a Mecsek képezi. Felszíne rendkívül változatos, a Mecsek és a Villányi hegység, a Dunántúli dombvidék, a Duna és Dráva menti síkság határozza meg a táj karakterét. Éghajlata kiegyenlítettebb és csapadékosabb, mint az ország keleti térségéé, a Mecsek hegységtől délre eső térségekben a szubmediterrán jelleg már erősen érvényesül. A csapadék mennyisége a nyugati határától, a Dráva síkságától a keleti határa, a Duna felé haladva csökken. Felszíni- és felszín alatti vízkészlete is jelentős, a megyében a felszín alatti vizek gyakran hévíz formában nyerhetők ki. Vannak már hosszú ideje feltárt és hasznosított termálvíz források (Harkány, Sikonda), de a legtöbbet a múlt század közepén folyó olajkutatások során tártak fel (Magyarhertelend, Szigetvár), újabban

viszont kommunális fűtési célokra végeztek mélyfúrásokat a térségben (Bóly, Szentlőrinc) (Buday-Sántha et. al, 2013).

Baranya megye településhálózata alapvetően aprófalvas szerkezetű, jelentős számú városi funkció hiányos járással. Viszonylag kevés számú olyan város van a megyében, amely legalább a közvetlen térségére gazdaságilag dinamizáló hatást képes kifejteni. A megyében a vándorlási különbözettől növekvő népességű települések többsége a Pécsi agglomerációs térségben⁵, és a Siklós, Harkány és Villány környéki falvakban koncentrálódik. Ezen túl pontszerűen található növekvő népességű települések, mint például Bóly vagy az Ormánság elcigányosodó falvai. A megye lényeges sajátossága a lakosságon belül a nemzetiségek (cigány, német, horvát) magas aránya (Buday-Sántha et. al, 2013).

Baranya megye központjának, Pécsnek a jelentőségét a középkorban az határozta meg, hogy a Balkánon keresztül menő hadi- és kereskedelmi útvonal fontos állomását alkotta és erre épült rá igazgatási- és vallási központ rangja is. Ezt a szerepét a török hódoltság és a kelet-nyugati kereskedelem kialakulása szüntette meg. A kereskedelmi útvonalak iránya a megyétől északabbra tolódtak és ezzel egyidejűleg a balkáni kapcsolatot biztosító útvonalak is az Alföldre helyeződtek át. A megye elzártsága a trianoni határok meghúzásával vált teljessé.

Ezt követően Baranya megye gazdaságát az ismertté vált szénkészlet sem tudta önmagában dinamizálni. Kitermelése csak jelentős külső tőke bevonásával indulhatott el, nagyobb nehézipari fejlesztést nem tudott kiváltani. A kialakult helyzeten a szocialista iparosítás sem tudott lényegesen változtatni, annak fő irányát is a nyersanyag kitermelés, a szén- és uránbányászat, valamint a mezőgazdasági termékek, mezőgazdasági nyersanyagok feldolgozása határozta meg. Egy 1972-1973-ban végzett, Baranya megye gazdasági helyzetére vonatkozó vizsgálat mutatott rá először annak a veszélyére, amit a bányászat egyoldalú túlsúlya jelentett. Ennek a hatására került sor Pécssett a Mechlabor és a Tunsgam beruházásokra, amelyek – ugyan később – megalapozták az elektronikai ipari fejlesztéseket (Nokia, Elcoteq), de ez megkésett volt, mert a kibontakozó válság miatt (1972-1973) a beruházási tervek nem teljesültek, így Baranya megye az '50-es, '60-as években kialakult egyoldalú gazdasági szerkezettel élte meg a rendszerváltást (Buday-Sántha et. al, 2013).

⁵ KSH 2010-es adat

A rendszerváltást követő gazdaságpolitikai környezet nem kedvezett a megye gazdasági fejlődésének. Az ásványi nyersanyagok (szén, urán), és a mezőgazdasági termékek egy része jelentősen leértékelődött, a mezőgazdasági nyersanyagokra épülő iparok bőr-, cipő-, kesztyűipar, pezsgógyártás is jelentősen visszaszorult, vagy megszűnt. Több esetben a termelési központok más megyékbe, régiókba helyeződtek át. Baranya megye annyira kiesik a gazdasági fejlődés fő irányából, hogy jelentősebb nemzetközi cégek telephelynek már nem választják. Csak olyan kisebb cégek választják a megyét, amelyek a jelentős munkaerő kínálatra támaszkodva elsősorban a térségi ellátást tűzik ki célul. Ezt bizonyítja a térség gazdaságának feltűnően alacsony exporthányada is. A kedvezőtlen gazdaságpolitikai helyzetet jól mutatja az is, hogy a térségben nincs egyetlen nemzetközi jelentőségű logisztikai központ sem (Buday-Sántha, et. al, 2013).

Baranya megye ásványkincsére, a mészkőre alapozott a térség rendszerváltás utáni legnagyobb ipari fejlesztése Beremenden és Királyegyházán. A jelenlegi kutatások szerint az urán- és szénkészlet kitermelése jelentheti az egyik lehetséges fejlesztési irányt a megyében. A térség sajátos geológiai helyzete az atomerőművi hulladék (Bátaapáti, Boda) elhelyezésére nyújt lehetőséget. A megye egyik sajátos potenciálját a gyógyászat és a gyógyvizek összehangolt hasznosítására alapozott gyógy- és egészségturizmus jelentheti. Ennek lehetőségét több helyen meg lehet teremteni a megyében. Baranya megye egyik legnagyobb gazdasági potenciálját a képzett szakemberek jelentik. Ebben jelentős szerepe volt a színvonalas közép- és felsőoktatást nyújtó intézményeknek. A helyzet azonban ellentmondásos, még egyes esetekben a gazdaság képtelen a képzett szakemberek fogadására (közgazdászok, jogászok, bölcsészek), addig más területeken a szakemberhiány a gazdaságfejlesztést fékezi.

5.2. Bólyi Termálprojekt

5.2.1. Bóly bemutatása

Bóly város Dél-Baranya 3 974⁶ lakosú települése. A város történelme folyamán meghatározó gazdasági, kulturális, oktatási szerepet töltött be a térségben. Bóly a közvetlen vonzáskörzetébe tartozó 14 településnek,

⁶ 2013.01.01-i adat

körülbelül tizenegy ezer fő lakosú járás központja, 1997 óta város. Mikrotérségi szerepéből adódóan oktatási, kulturális, szociális és egészségügyi, közigazgatási szempontokból szerteágazó tevékenységet folytat. Az önkormányzat bölcsődét és kétnyelvű óvodát működtet. Magas színvonalú német nemzetiségi oktatás mellett kéttannyelvű magyar-német oktatás folyik az általános iskolában. Az iskola keretein belül működő alapfokú művészeti és zeneiskola a mikrotérség tanulóinak is biztosít képzési lehetőséget. Az Egészségügyi Centrum a házi, felnőtt és gyermekorvosi szolgáltatáson kívül szakrendeléseket és fogorvosi ellátását is biztosítja.

Az elmúlt évtizedben az önkormányzat a településen teljes infrastruktúrát alakított ki - víz, szennyvíz, gáz, úthálózat, kerékpárút hálózat - a településen. A 2007-ben befejezett minden ingatlant bekapcsoló optikai hálózaton triple play szolgáltatást nyújt. Az önkormányzat tagja a Mecsek Dráva Hulladékgazdálkodási Rendszernek, hulladékudvarat biztosítva Bólyban, gesztorja és üzemeltetője a 14 településen működő szelektív hulladék gyűjtési rendszernek.

A település vállalkozásai a helybelieken kívül számos környékbeli családnak biztosítják a megélhetést. Bóly Város Önkormányzata folyamatos fejlesztést hajtott végre a település déli részén, az ipari terület kialakításával. A területek megvásárlásával majd folyamatos infrastruktúra kiépítésével, marketing tevékenységgel vállalkozások betelepítésével Ipari Parkot hozott létre. A jelenleg több mint 40 hektár területen nagy-középnomású gázvezeték, gravitációs és nyomott szennyvízvezeték, 20 kV elektromos hálózat 4 db transzformátorral, belső úthálózat, valamint belső út- és optikai hálózat biztosítja a működés feltételeit. A 15 éves Bólyi Ipari Parkban tevékenykedő 6 külföldi érdekeltségű vállalkozás és a kitelepült helyi vállalkozók mintegy 641 főt foglalkoztatnak Bólyból és térségéből, nagyban segítve a munkanélküliséggel hátrányosan érintett térség foglalkoztatottságát.

5.2.2. A Bólyi Önkormányzat nagyobb projektjei

Az önkormányzat "A Bólyi Ipari Park fejlesztése" pályázata 174.035.113 Ft vissza nem térítendő támogatásban részesült. A beruházáshoz szükséges saját forrás összege 175.503.173,- Ft, a beruházás összköltsége 349.538.286,- Ft. A projekt keretében 10 hektár ipari terület alapinfrastruktúra építése, valamint két darab 800 m²-es bérelhető csarnok építését valósították meg.

Az önkormányzat „Állati hulladék feldolgozó rendszer kialakítása a mohácsi és a pécsváradi kistérségekben” elnevezésű pályázatának tervezett költségvetése nettó 203.500.000,- Ft. A projekt hatvankét településen keletkező állati hulladékok, hullák gyűjtését feldolgozását, komposztálását biztosítja.

A „Bóly-Szederkény kerékpárút” című pályázattal 73.742.000 Ft vissza nem térítendő támogatásban részesült az önkormányzat. A beruházáshoz szükséges saját forrás összege 26.611.686 Ft, a beruházás összköltsége 100.353.686 Ft. A tervezett projekt a két település közti 5,5 km közötti távolságot kerékpárúttal hidalja át, bekapcsolva az autópálya építésekor megszüntetésre került 5701 sz. út 3,5 km szakaszát.

Az önkormányzat Bóly és Villány között „Kerékpárral a borutakon” elnevezésű pályázata 78.036.580,- Ft vissza nem térítendő támogatásban részesült, a teljes költség 82.943.769,- Ft volt. A projekt keretében épült kerékpárút 2007. november 31-én került átadásra. A Bólyt és Villányt összekötő 14 km kerékpárút a két borvidéket kapcsolja össze, zsáktelepüléseken keresztül.

A „Bóly történelmi városközpont megújulása” című pályázat 278.663.002,- Ft vissza nem térítendő támogatásban részesült. A beruházáshoz szükséges saját forrás összege 134.914.184,- Ft, a beruházás összköltsége 413.577.186,- Ft. A projekt keretében a megvásárlásra került kiskastélyban közösségi funkciók (fitness klub) épülnek, a Hősök terei új buszmegálló mellett infrastruktúra fejlesztés, burkolat javítások, köztéri szobrok felújítása, zöldfelület rehabilitáció történik.

5.2.3. A bólyi geotermikus közmű rendszer

Bóly önkormányzatának energetikai fejlesztési elképzelése volt, hogy az 1983-ban ércbányászati kutatófúrásakor megtalált termálvíz hasznosítását a települési intézményeknél fűtési- és melegvíz előállításra hasznosítsa. A település különböző pályázati támogatásokkal 1996-97-ben hasznosítási, megvalósítási tanulmányokat készítettett a meglévő, rendelkezésre álló adatokra alapozva. A tanulmányok rendkívül kedvező hasznosítási lehetőségeket mutattak be, azonban kevés adat volt a hosszú távú tervezéshez. A térségben csak egy furat adatai álltak rendelkezésre, ráadásul ez a kutatófúrás nem is geotermikus célú volt. Ezért az önkormányzat úgy döntött, hogy megvásárolja a MÉV tulajdonában lévő kutatófúrást és a furatot kitisztítva, majd teljesen lecsövezve, kúttá alakítva

biztosítja a szükséges geológiai adatokat. Mindezt tette annak tudatában, hogy az így kialakított kút energetikai célra csak minimális mértékben hasznosítható, mivel csövezése, a kút átmérője, szűrőzése alkalmatlan nagyobb projekt termálvíz igényének biztosítására. A kút termeltetéséből szerzett adatok alapján igen kedvező paraméterű, könnyen kitermelhető termálvíz állt tervezési alapadatként rendelkezésre.

A geológiai szaktanulmányok alapján a település önkormányzata 2003-ban úgy döntött, hogy kihasználva a Sapard támogatás lehetőségeit, termál kutat fúr a kutatófúrástól 2,5 km-re a település központjában. A döntés mellett a rövidebb távvezeték, a biztonságos villamos energiaellátás és a könnyű üzemeltetés szólt. Az **Termálprojekt I. ütemben** egy új -1500,0 méteres termálkút fúrását, a fogyasztókat ellátó távvezeték rendszert, hozzá tartozó hőközpontokat, valamint az automatikus vezérlés megvalósulását tervezték. A termálvíz hasznosítása a helyi vállalkozások energia ellátására, intézmények térfűtésére, illetve HMV ellátására irányultak. A tervezett vízkivétel napi 1000,0 m³ volt. A termálkutat a tervezett -1500,0 méterig lefűrték, azonban nem találták meg a termálvizet tartalmazó repedezett mészkő réteget. Tervezői, szakértői, hatósági egyeztetések után a kutat továbbmélyítették -1800,0 méterig. A lemélyített kút tömör mészkő rétege azonban nem adott vizet, annak ellenére, hogy a talphőmérséklet 86,0 °C fokos volt. Az ismételt egyeztetés után a fúrás abbahagyása, leállítása mellett döntött az önkormányzat. Szakmai javaslatok alapján kútfúrás közben 650-750,0 méter között harántolt, úgynevezett szarmata vízadó mészkőréteg feltárását végezték el. A vízadó réteg megnyitását követően a kifolyó víz hőmérséklete 40,2 °C, a termálkútból állandó üzemen kitermelhető vízmennyiség -74,9 méter üzemi szint mellett 500 liter volt percenként. Az alacsony hőmérsékletű fűtési rendszerrel (padlófűtés) kialakított könyvtár, Ifjúsági ház valamint az erre átalakított, felújított iskolai objektum fűtése 2005 évtől 2 éven keresztül e kút vizét hasznosította. E fűtési rendszer nem hozta a kívánt eredményeket, mivel a lemezes hőcserélő után a 30 °C körüli távozó víz kevés energiát tudott leadni. A távozó víz terhelte a szennyvíztelepet, valamint az olyan járulékos költségek, mint a vízkészlet járulék, a bányajáradék és a villamos energia, jelentős mértékben csökkentették a fűtés gazdaságosságát.

Az önkormányzat e kedvezőtlen tapasztalatok ellenére úgy döntött, hogy megvalósítási tanulmányt, majd pályázati tervet készített egy új termelő kút kiépítésére a meglévő kutatófúrás mellett. A cél, a teljes intézményrendszer fűtésének termálvizes fűtési rendszerrel való megoldása volt. A sikeres Klop pályázat segítségével 2008 októberére elkészült a **termálprojekt II. üteme**. A

2004-2005. években megvalósított geotermikus rendszerhez képest egy magasabb entalpiájú (72-80 °C; 60,0 m³/h) geotermikus energiát hasznosító távfűtési rendszert alakítottak ki. A fejlesztés nyolc újabb intézmény teljes bekapcsolását tette lehetővé. A termelőkútból búvárszivattyúval kitermelt termálvíz 20 m³-es kiegyenlítő gáztalanító tárolóba kerül, ahonnan a továbbító szivattyúk távvezetéken keresztül juttatják el a termálvizet a hőközpontokba. Ezt követően a lemezes hőcserélőkön lehűtve a visszasajtoló kút előtti tárolóba áramlik a víz. Innen a visszasajtoló gépházban lévő szivattyúk szűrőn keresztül ugyanazon vízadó rétegbe juttatják vissza a termálvizet a visszasajtoló kúton keresztül. A projekthez kapcsolódóan 2,5 km-es 20 kV-os elektromos hálózat épült ki transzformátorral, valamint az összes hőközpont DDC típusú automatikával és központi vezérlő irányító szoftverrel és gyengeáramú összekötő kábellel került megépítésre. A településen belül külön hálózat épült a termálvíznek; a radiátoros hőcserélőkben radiátoros fűtési rendszerekhez kapcsolódó lemezes hőcserélővel lehűtött szekunder víznek; és az alacsony fűtési rendszerekhez kapcsolódó lemezes hőcserélők utáni, már visszasajtolásra kerülő terciér víznek.

A 2008-ban elkészült termál-fűtési rendszer több fejlesztési lehetőséget kínált, többlet kapacitással rendelkezett. A megépült termelőkút a tervezetthez képest 20 % többlet kapacitással bírt, a kivehető vízmennyiség 60 m³/óra volt csúcsidőben. Tapasztalatok alapján 48-50 m³/h csúcskivételre volt csak szükség mínusz 15 °C esetén is. A kút talphőmérséklete 84 °C és az intenzív vízkiemelés hatására tervezett 75 °C foknál 5 °C - kal magasabb vízhőmérséklettel, azaz 80 °C vízhőmérséklettel számolhattak a termelő kútnál, a továbbító szivattyúk utáni osztónál. A kiváló rendszertechnika és a csővezeték kiváló hőszigetelésnek köszönhetően a hálózati hőmérsékletesés 1,8 °C-nál nem nagyobb. A távfűtőrendszer legtávolabbi fogyasztójánál is 77-78 °C volt az érkező termálvíz. A távfűtő rendszer kihasználtsága még mínusz 10 fokos külső hőmérsékletnél is csak 85 %-os volt, ráfűtést nem igényelt (Pálné Schreiner, 2013a)

A 2010-es Termálprojekt III.-ban a cél, a fentiekben bemutatott többletkapacitási lehetőségek kihasználása volt. A III. ütemben a Bólyi Ipari Park önkormányzati tulajdonú három bérbe adott csarnokának (2 db 800 m²-es és egy 6800 m²-es) padlófűtési rendszerei, HMV előállító-, valamint technológiai (festőüzem) hőigényű rendszereinek hőenergiával való kiszolgálása történt meg. A III. ütem további feladata volt az önkormányzat valamennyi saját intézményének és a tanműhelyek (Kolping tanműhelyek, malom tanműhelyek) fűtési hőenergiájának biztosítása. 2013-ban újabb

létesítmények, a buszmegálló várója, valamint a kiskastély folyamatosan benépesülő épülete kapcsolódott rá a rendszerre.

A bólyi geotermikus közműrendszer kifejezetten a település külső energia függésének és a fűtési költségeknek a csökkentésére szolgál egyértelműen gazdaságosan és környezetkímélő módon. A beruházás keretében kiváltásra kerül 658200 m³/év földgáz és ez által az önkormányzat jelentős fűtési költségétől, a levegő pedig nagy mennyiségű CO₂ terheléstől mentesül. A geotermikus közmű rendszer környezeti fenntartását biztosítja az is, hogy a kitermelt termálvíz ugyanazon rétegbe kerül visszasajtolásra, így gyakorlatilag csak hőhasznosítás történik semminemű környezeti terhelés nélkül. Az üzem működéséhez szükséges villamos energia előállítása ugyan közvetetten terheli a környezetet azonban a kivett hőmennyiség mindössze 5%-nyi villamos energiát igényel (Pálné Schreiner, 2013a).

Az üzem működés során a hosszú amortizáció idejű és a projekt esetleges befejezésekor a beépített anyagok közvetlenül nem terhelik a környezetet. A termálvíz gáztartalma miatt évente 1,88 tonna CO₂ és 0,13 tonna CH₄ kibocsátást eredményez. A 0,13 t/év metán kibocsátás, az üvegházhatás szempontjából évi 3,5 tonna CO₂ kibocsátással egyenértékű, azaz a gázmentesítés hatására 5,42 t/év CO₂ kibocsátással egyenértékű terhelés éri a környezetet. Ugyanakkor a geotermikus energia hasznosításával a projekt keretében 17 590 GJ energia tartalmú fosszilis energiahordozót nem tüzelnek el évente. A projekt alapvető környezeti előnye az üvegházhatást CO₂ kibocsátás csökkentése, az üzemeltetés során egyéb környezeti hatás (sem negatív, sem pozitív) nem keletkezik, így azok nem is számszerűsíthetők (Pálné Schreiner, 2013a).

5.2.4. Bóly lehetőségei a területfejlesztésben

Ahogy az előbbiekből látható, Bóly esetében gyakorlatilag már egy több ütemben megvalósult, komplex projektről lehet beszélni. Mégis érdemes megvizsgálni, hogy milyen további fejlesztésekben, prioritásokban lehet feladata a meglévő geotermikus rendszernek.

5.2.4.1. Prioritások, intézkedések

A bólyi rendszernek a területfejlesztési prioritásokban betölthető szerepének bemutatása, a dolgozat 2.3.4. alfejezetében már használt számozás alapján történik.

1.2. Mezőgazdasági termékek helyben történő feldolgozásának és értékesítésének ösztönzése – az Ipari Parkban megfelelő hely és a lehűtött, de az üvegházaknak éppen megfelelő hőmérsékletű termálvíz is rendelkezésre áll.

4.3. A lakosság egészségmagatartásának fejlesztése – a meglévő Bólyi Uszoda, melyet szintén a kihűlt hévízre alapozva hoztak létre, alkalmas helyszíne lehet a sportolásnak, rekreációnak.

5.4. Helyi energiaforrások felhasználására alapozott energiatermelés- és ellátás – megvalósult Bólyban. A további fejlesztések irányát a termálvíz megújulásának, hosszú távú fenntarthatóságának kérdése határozza meg.

5.5. Tájhasználatból eredő konfliktusok mérséklése, táji- és természeti értékek hosszú távú megőrzése - halgazdálkodási célú tavak kialakításánál szerephez juthat a kihűlt termálvíz.

5.2.4.2. Kiemelt programcsomagok

„Vállalkozói környezet fejlesztése, vállalkozási feltételek javítása Pécs - Bóly - Mohács térségében” – a Bólyi Ipari Park szerepe tovább nőhet, a kiemelt programcsomagnak köszönhetően.

„Egészségipari és egészségturisztikai fejlesztések Dél-Baranyában (Villány-Siklói Borút gasztró-turisztikai fejlesztése; Villány-Siklós és Mohács-Bóly fehérborút együttműködéseinek támogatása; Harkányi Gyógyfürdő fejlesztése)” – a termálvízhez kapcsolódó tevékenység nem valószínű, mert a harkányi gyógyvíznek ilyen tekintetben nagyobb a múltja, hírneve.

5.2.5. A tézisek gyakorlati alkalmazhatósága Bóly példáján

Bóly esetében 1996-97-ben, az egy kutatófúrásra alapozott tanulmány rendkívül kedvező termálvíz hasznosítási lehetőségeket mutatott úgy, hogy a kutatófúrás nem is geotermikus célú volt. Az önkormányzat, hogy biztosabb eredményre jusson megvásárolt még egy kutatófúrást. Az így szerzett adatok alapján is igen kedvező paraméterű, könnyen kitermelhető termálvizet prognosztizáltak, amit a 2003-as kútfúrás nem igazolt.

Fentiekből, a gyakorlatból igazolható az 1. tétel, amely szerint szükség van egy magyar geotermikus adatbázisra, mert az így keletkező nagyobb számú mérési adattal lehetőség nyílik arra, hogy a valóságos természeti

folyamatokat jobban megközelítő eredmények születhessenek, és ez a fúrások bizonytalanságát csökkentené. A vizsgálatban szintén a bolyi példán igazolható a 2. tézis helyessége, amely szerint az állami szinten használatos végeselem módszer nem írja le megfelelően a valóságot helyi szinten, amikor a kutak közel vannak egymáshoz és kevés mérési adat áll rendelkezésre. Ilyen esetben a koncentrált paraméterű modell megfelelőbb, mivel ez a modell, mint egy kevés homogén rácspontot (mérési adatot) tartalmazó rendszert vizsgálja a rezervoárt, és ad a természetes állapotokhoz legjobban közelítő eredményeket. Ha a 3. tézisnek megfelelően a numerikus számolás során halmozódó hibák elkerülhetőek a modell szimbolikus kezelésével a numerikus megoldás helyett.

Bolyi Termálprojekt I. ütemében az alacsony hőmérsékletű víz kevés energiát tudott leadni, így a távozó víz plusz költségeket (vízkészlet járulék, bányajáradék) okozott, ami jelentős mértékben csökkentette a fűtés gazdaságosságát. A 2008-ban elkészült II. ütemben az üzemelés során kiderült, hogy termál-fűtési rendszer többlet kapacitással rendelkezett, ezért a 2010-es Termálprojekt III.-ban a cél többletkapacitási lehetőségek kihasználása volt. Ha a termálprojekt kezdetekor alkalmaztak volna döntéstámogató rendszert, akkor jelentős mennyiségű időt és költséget csökkentve jutottak volna el a jelenlegi (vagy jobb) optimális használathoz. Ez a példa is igazolja azt a megállapítást, hogy a geotermikus projektek körüli bizonytalanság jelentős többlet beruházást és költséget eredményez.

Boly lehetőségeit megvizsgálva a Baranya Megyei Területfejlesztési Programban megállapítható, hogy mielőtt a prioritásokban megfogalmazott intézkedések megvalósításának nekiállnának, ajánlott lenne a most már közel tíz évre visszamenőleg rendelkezésre álló mérési adatok felhasználásával a rezervoár megújulásának vizsgálata a koncentrált paraméterű modellel. Az LPM szimbolikus megoldásával gyorsan látható lenne, hogy az elmúlt évek kitermelése milyen változást hozott a tározóban, illetve a következő években, évtizedekben milyen prognózis várható a kitermelés függvényében. A dolgozatban bemutatott DSS az ANGEL hibrid meta-heurisztikus modellel kiegészülve (4. és 5. tézis szerint), a természeti-, gazdasági- társadalmi- és műszaki korlátokat (szabályozókat) figyelembe véve adhat a menedzsment részére valószínű- vagy lehetséges megoldásokat a hosszú távú fenntartható kitermelésre, használatra.

5.3. Szigetvári Gyógyfürdő

5.3.1. Szigetvár bemutatása

Szigetvár múltjának alakulása szorosan összefügg a vár történetével. A település az Almás-patak árterületén fekszik. Ezen az évezredek óta lakott, vizenyős területen, mindenkor fontos közlekedési-, kereskedelmi út haladt át. Az ősök a patak szigetén és a mocsaras övezet szélén telepedtek le. A kutatók a keltákat leigázó rómaiak Limosa nevű települését sejtik a környéken. A honfoglalás korában Botond törzse élt erre felé, a városias település kialakulása a szerzetesrendiek tevékenységének köszönhető. A XV. századra a középkori fogalmaknak megfelelő város alakult ki, melyet biztonságot nyújtó védőművekkel erősítettek meg és vízzel öveztek. A mai vár területét, a várostól északra fekvő szigetet egy kismemesi család birtokolta, amelynek első ismert tagját, Szigeti Anthimiust gondolják a vár alapítójának. Egyik utóda a XV. század első harmadában háromemeletes téglatornyot építtetett, amely a mai vár alapjának szolgált. 1473-ban a Gara család, majd az enyigi Török család birtokában volt a környék.

A mohácsi csata (1526) után mind a várat, mind a várost megerősítették és a tóvá duzzasztott Almás-patakkal vették körül a szigeteket. Buda ostroma után, 1541-ben Szigetvár királyi birtok lett. Az uralkodó felismerve a vár jelentőségét állandó őrséggel látta el. Ennek ellenére a várat 1566-ban elfoglalták a törökök, akik átépítették a ma is látható formájába. A város magyar lakosságát elhurcolták vagy elűzték és török, bosnyák családok szolgálták ki a hamarosan 700 fő fölé emelkedő török várkatonaságot. A török terjeszkedésével Szigetvárnak egyre nagyobb katonai és közigazgatási szerep jutott. A mai Baranya megye területén itt tartott legtovább a török uralom. 1689 februárjában a várvédők kiéheztetésével és szabad elvonulásuk árán foglalták el Vecchi ezredes csapatai a várat.

A XVIII. század közepére Szigetvár elvesztette hadászati fontosságát, Mária Terézia eladta a várost, a lakosságot jobbágysorba juttatva. A vár is földesúri kézbe került, birtokosai között volt Tolnai Festetich Lajos, a Wenckheim és az Andrássy család. A XIX. század végén a Pécs-Barcs vasútvonal megépítése után a város bekapcsolódhatott az ország vérkeringésébe, megalakultak a nagyüzemei. 1881-ben a gőzmalom, 1884-ben a cipőgyár, 1937-ben a konzervgyár. Az évszázados fejlődésnek köszönhetően az egykori hősi helytállás 400. évfordulóján, 1966-ban Szigetvár megkapta a városi rangot. Az Országgyűlés 2011-ben - Szigetvár védőinek tántoríthatatlan bátorságáért, a hazaszeretetből és áldozatvállalásból való

példamutatásáért – a „Civitas Invicta” (Leghősiesebb Város) címet adományozta Szigetvárnak. 2014. január 1-én a városban 10 728 lakos élt.

5.3.2. A szigetvári termálrendszer

1966-ban egy olajkutató fúrás során, a szigetvári vár közelében hévízre bukkantak a szakemberek. Az úgynevezett I. sz. termálkút 790 méter mély, és 62°C-os víz tör fel belőle. Mivel ez egy pozitív kút - a víz közel 1 bar nyomással érkezik - a víz felszínre kerülése természetes úton megoldott, csupán a továbbításhoz szükséges szivattyú. A kút 2011-ben, vizsgálatunk időpontjában a Sziget-Víz Kft. üzemeltette. Ugyanezen a vízbázison további két kút található. A III. számúnak nevezett kút a Szigetvár területén működő Szeszico Kft. üzemelteti. A vállalat az üvegházaiban egy igen figyelemre méltó technológia alkalmazásával paradicsomot termeszt. A vizet az üvegházak fűtésére használják, majd az úgynevezett II. számú kúton keresztül visszasajtolják a földbe.

1997-ben az I.sz. termálkútból származó víz elemzése során derült ki, hogy a szigetvári termálvíz Magyarország egyik leghatékonyabb, legnagyobb gyógyító erővel rendelkező gyógyvize. A víz összetétele szerint nátrium-kloridos, alkáli-hidrogénkarbonátos termálvíz, mely rendkívül kedvező hatású az ízületi, reumatikus és mozgásszervi megbetegedések kezelésére. Magas fluorid tartalma révén rendszeres használata lassítja az időskori csonttrikulást, továbbá kiválóan alkalmas operációk és csonttörések utáni rehabilitációs, valamint nőgyógyászati problémák kezelésére, prosztatata bántalmak megszüntetésére. A magas vérnyomásban, érrendszeri betegségekben szenvedők és a szívbetegek is bátran használhatják a gyógyfürdőt.

Az I. számú termálkútból kitermelt vizet két helyen hasznosítják. Egyrészt ezt a vizet használják melegvízként (HMV) a szigetvári Szent István lakótelepen. Régebben ezzel a vízzel történt a lakótelep fűtése is, de az agresszív víz szétmarta a vezetékeket. Jelenleg éves szinten körülbelül 35-40 ezer m³ minősített ásványvízzel fürdik, mos, főz a lakótelep közel 800 lakásában lakó szigetvári polgár. A másik ág a Szigetvári Gyógyfürdő vízfelhasználása, ahol 300-320 ezer m³ vizet használnak évente. A Szigetvári Gyógyfürdő a 2004-2007 között tartó építkezés eredményeként a régi termálfürdő helyén 2007 szeptemberében nyitotta meg kapuit. A gyógyfürdőben két gyógyvizes medence, egy termálvizes élménymedence, egy gitár-alakú strandmedence, egy sport medence, gyermekpancsoló és jacuzzi található. A fürdő wellness szolgáltatásokat is kínál, finn- és infrasauna, valamint gőzkabin áll a vendégek rendelkezésére. A

kiemelkedően jó minőségű gyógyvízre alapozva komplex gyógy-szolgáltatásokat nyújtó gyógyászati részleg is található a fürdőben. Az OEP-pel történt megegyezés eredményeként, számos gyógyászati szolgáltatást vehetnek igénybe a betegek, a TB által támogatva. A fürdő üzemeltetését a vizsgálat időpontjában a Sziget-Víz Kft. végezte (Pálné Schreiner, 2014).

A HMV és gyógyfürdő felhasználási területeken kívül, időszakosan elfolyó vízzel is számolni kell Szigetváron. Mivel a vízkivétel egyenletes, a vízfelhasználás viszont nem, ezért a veszteség elkerülhetetlen, annak ellenére, hogy azt puffer tartállyal próbálják mérsékelni. Lehetséges lenne a vízkivételt direkt módon szabályozni, de a kútban az egyenletes nyomásviszonyok megbolygatása hidrológia veszélyforrás, ami a termálkút hozamának csökkenését eredményezheti.

A gyógyfürdő üzemeltetéséhez az ideális hőmérséklet 40-41°C. Mivel az érkező víz 59 °C, ez azt jelenti, hogy a víz hűtése folyamatosan megoldandó feladat. Télen a hő elvétele több létesítmény fűtésével valósítható meg. A felhasznált víz szolgál egy tanműhely, egy sportöltöző, a Kumilla szálloda, a gyógyfürdő épülete, a tanuszoda épülete, valamint a gyógyfürdő szabadtéri vízforgató medencéjének fűtésére. Ezek az intézmények biztonsággal fűthetők ilyen formában mínusz 10-15°C -ig. Nagy hideg esetén (-25°C), a felfűzött létesítmények közül a tanműhely, sportöltöző és a szabadtéri medence kikapcsolásra kerülnek. Ennél nagyobb méretű beavatkozásra az intézmény fennállása alatt nem került sor. Nyáron a fenti hőelvételi lehetőségeket, csak korlátozottan tudják igénybe venni, ezért hűtővíz segítségével csökkentik a gyógyfürdőbe érkező víz hőmérsékletét. A hűtővízes kút szintén a termálkút területén található. A hűtővíz a várparkban található csónakázó tóba kerül kivezetésre (Pálné Schreiner, 2013a).

A gyógyfürdőben felhasznált és elfolyó melegvíz hőmérséklete 32 - 35°C. Ez, az úgynevezett hulladékvíz, részben a szennyvízcsatornába, részben az Almás-patakba kerül elvezetésre. A továbbhasznosítása sajnos nem megoldott (Pálné Schreiner, 2014).

5.3.3. Szigetvár lehetőségei a területfejlesztésben

A Szigetvári Gyógyfürdő esetében látható, hogy egy nem kellően előkészített, - megtervezett, alacsony hatásfokú rendszerrel van dolgunk. Ahhoz, hogy az alábbiakban felsorolt területfejlesztési intézkedésekben, kiemelt projekteknél szerepe lehessen a szigetvári termálvíznek, tovább vizsgálatok, döntések és beruházások szükségesek. A cél érdekében

szükséges változtatások áttekintése előtt célszerű megvizsgálni, hogy hol lehetne a szigetvári termálvizet felhasználni a területfejlesztési programban. A bólyi példához hasonlóan, itt is a 2.3.4. alfejezet számozási rendszerének alkalmazása történt a prioritásoknál.

5.3.4.1. Prioritások, intézkedések

1.2. Mezőgazdasági termékek helyben történő feldolgozásának és értékesítésének ösztönzése – üvegházak létesítéséhez a kellő hőfokú termálvíz rendelkezésre áll.

1.4. Turisztikai attrakciók és kapcsolódó szolgáltatások fejlesztése – az elkészült és működő gyógyfürdő kapcsolódhatna más turisztikai eseményekhez, így a fürdő gazdaságosabban üzemelhetne.

4.3. A lakosság egészségmagatartásának fejlesztése – a meglévő gyógyfürdő alkalmas helyszíne lehet a sportolásnak, rekreációnak.

5.3. Környezetvédelmi kommunális infrastrukturális rendszerek fejlesztése – az ivóvíz ellátás megoldott és tovább bővíthető a szigetvári termálvízből.

5.4. Helyi energiaforrások felhasználására alapozott energiatermelés- és ellátás – részben megvalósult (a fürdő épületeit fűtik, a lakótelep számára HMV-t szolgáltatnak), de nem jó határfokú, elavult a rendszer HMV része így további fejlesztések szükségesek, amihez ismerni kellene a rendelkezésre álló lehetőségeket (termálvíz megújulásának, hosszú távú fenntarthatóságának kérdése).

5.5. Tájhasználatból eredő konfliktusok mérséklése, táji- és természeti értékek hosszú távú megőrzése - halgazdálkodási célú tavak kialakításánál szerephez juthat a kihűlt termálvíz, amely jelenleg az Almás patakba kerül elvezetésre.

5.3.4.2. Kiemelt programcsomagok

„Agrár- és feldolgozóipari fejlesztések Szentlőrinc és Szigetvár térségében” – a bemutatott Szeszico Kft.-hez hasonló mezőgazdasági termelő és – feldolgozó üzemek települhetnek a termálvízre.

5.3.4. A tézisek gyakorlati alkalmazhatósága Szigetvár példáján

Szigetvár vizsgálatakor is, követve a kutatásnál alkalmazott módszert, külön vizsgáljuk a termálvíz készlet megújulását és a termálvíz használat hosszú távú fenntarthatóságát.

A geológiai tanulmányok szerint a szigetvári geotermikus rendszerben, az I. számú kútnál, a termálvíz megújulása hosszútávon biztosított. Ezek a tanulmányok, még a gyógyfürdő beruházás tervezésének kezdeti időszakában, a termálvíz gyógyvízzé nyilvánításakor készültek. Azóta a kút 300 méteres környezetében, ahogy a dolgozat 5.3.2. alfejezetében olvasható, három kutat fúrtak. Az így összesen négy kút közül kettőből (I. és III. kút) termálvíz kivétel történik egész évben, a II. számú kúton sajtolják vissza a Szeszico Kft. üvegházaiban felhasznált és lehűtött vizet folyamatosan, a fürdő területén pedig egy hideg vizes kutat használnak, jellemzően nyáron. Ebből a felsorolásból is látszik, hogy az elmúlt évek beruházásait követően egy nagyon összetett, minden valószínűség szerint egymást befolyásoló rendszer jött létre. Bármilyen további beruházás megkezdése előtt, szükséges ennek a bonyolult rezervoárnak a vizsgálata. Mivel a kutak közel vannak egymáshoz, ezért itt is az LPM modellt célszerű alkalmazni. A modell szimbolikus kezelése információkat nyújthat a rezervoár hosszú távú megújulásáról és a beavatkozások (visszasajtolás, nyári hidegvíz kivétel) várható hatásáról. A dolgozatban az akadémikus példánál alkalmazott, az extrém fizikai paraméterekkel is működő szimbolikus megoldás (2. és 3. tézis), csökkenthetné a jövőbeli beruházások bizonytalanságát.

A kutatás során végzett beruházás hatékonysági vizsgálatok (Pálné Schreiner, 2014) azt mutatták, hogy a szigetvári I. termálkútra épülő beruházásoknál (Szent István lakótelep HMV és Szigetvári Gyógyfürdő), hogy további kiegészítő beruházások szükségesek a hosszú távú fenntarthatóság biztosításához. Ilyen esetekben nyújthat megoldást a többlépcsős (kaszádós) vízhasználat kiépítése.

A többlépcsős vízhasználat megoldásának egyik helye a Szent István lakótelep lehetne. A használati HMV hálózat öreg, ezért gyakran érkezik panasz a fogyasztóktól a szolgáltatás minőségére. Erre a problémára az egyik megoldást lehetne a termosztatikus szelep beépítése. Ezzel a műszaki megoldással a végpontokon havonta több százezer m³ víz folyna el. Ezt a lehűlt vizet a Szeszico Kft. átvehetné, és az üvegházak fűtési rendszerében felhasználhatná, majd a többi kivett termálvízzel együtt visszasajtolná a vízadó rétegbe. Mivel ez egy közel 300 méter hosszú vezeték kiépítésével

megoldható, ez gyorsan megtérülő, a szolgáltatás minőségét javító beruházás lehetne. Ráadásul a visszasajtolás következtében a hosszú távú fenntarthatóság is biztosítható lenne (Pálné Schreiner, 2013b).

A használati HMV minőségjavításának egy másik megoldása lehetne a körvezetékes rendszer kiépítése a lakótelepen. Ebben az esetben a visszatérő (lehűlt) vizet a strandra szivattyúzva fel lehetne használni a gyógyfürdőben, külön hűtés nélkül. Így a nyári időszakban is megoldott lenne a víz hűtése, és nem lenne szükség a hideg vizes kútra.

Többlepcsős vízhasználatot lehetne megvalósítani a gyógyfürdőből elfolyó 32-35°C-os meleg vízzel is. A lehűlt víz továbbhasznosítására lehetőség lehetne a 300–400 méterre található önkormányzati épületek fűtésénél. Egy energetikai tanulmány szerint ez az elfolyó hőmennyiség a Vígadó fűtésére elegendő energiát biztosíthatna. A javasolt beruházások ugyan többlet költséget eredményeznének, de a rendszer hatékonyságát jelentősen növelnék és a jelenleg meglévő veszteségeket mérsékelnék.

Az előbbiekből látható, hogy a műszaki megoldások sora áll rendelkezésre ahhoz, hogy a hosszú távú fenntarthatóság biztosítható legyen Szigetváron. Emellett a döntéshozóknak még számtalan gazdasági-, társadalmi- és környezeti szempontot is figyelembe kell venni. Egy ilyen nem determinisztikus rendszerben segíti megtalálni a legoptimálisabb megoldást a dolgozatban bemutatott DSS, mely kiegészülve a hibrid meta-heurisztikus ANGEL módszerrel megoldást adhat a menedzsmentnek a döntések meghozatalához (4. és 5. tézis).

Bóly és Szigetvár példáján is látható, hogy a dolgozatban bemutatott LPM modell a szimbolikus megoldással, és a Sigurdardottir és társai által publikált DSS megoldása az ANGEL módszerrel milyen módon tudják segíteni egy-egy geotermikus projekt megvalósulásának sikerét. A részletesen bemutatott két projekten keresztül látható a disszertáció téziseinek gyakorlati alkalmazhatósága. A módszerek alkalmazása a későbbiekben segítheti a területfejlesztési intézkedéseknek azokat a területeit, amelyekben szerepe van a termálvíznek.

6. ÖSSZEĞZÉS

A disszertáció a területfejlesztés és a termálvíz készletek fenntartható és optimális használatának kapcsolatával foglalkozott. A kutatás azt vizsgálta, hogy a Magyarországon meglévő geotermikus potenciált milyen módon lehet felhasználni a területfejlesztési prioritásokban hosszú távon, fenntarthatóan.

A megújuló geotermikus készlet megismerése nehéz feladat, számtalan kérdés merült fel a vizsgálata során. A megújulás megismerésének problémájára adott egy lehetséges megoldást az a dolgozatban bemutatott módszer, amely a koncentrált paraméterű modellt (Lumped Parameter Model – LPM) szimbolikusan oldotta meg. A kutatás újdonsága, hogy az LPM modell szimbolikus kiértékelésével kiküszöbölte a klasszikus numerikus megoldás hibáit.

A területfejlesztés szempontjából a geotermikus projekteknél fontos, a termálvíz készletek hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának meghatározása. Az ilyen típusú feladatok megoldását segítik a döntéstámogató rendszerek (DSS). A disszertációban bemutatásra került egy új DSS, amely Sigurdardottir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepción alapul. A vizsgálat újdonsága, hogy az optimalizálási problémát a hagyományoktól eltérően, egy hibrid meta-heurisztikus módszerrel oldotta meg.

A kutatási eredmények alkalmazhatóságát a gyakorlatban, a területfejlesztésben a Bólyi Termálprojekt és a Szigetvári Gyógyfürdő gyakorlati példáján keresztül mutatta be a dolgozat. Az elért eredményeket a tézisek ismertetik.

6.1. Tézisek

T.1. Tekintettel arra, hogy minden fúrás eredmény magyar geotermikus kincs, javasoltam egy magyar geotermikus kincstár (adatbázis) létrehozását:

1.1. Definiáltam a magyar geotermikus kincs és magyar geotermikus kincstár fogalmát.

1.2. Javasoltam, hogy a kincstárba a Magyarországon napjainkig fúrt közel 1500 geotermikus kút adatai is kerüljenek be. Ezeknek a kutaknak kettős szerepe lesz, a vízadás mellett ún. kontroll kútként adatokat szolgáltatnak a kincstárba.

1.3. Megállapítottam, hogy a magyar geotermikus kincstár adatai segítik a felszín alatti folyamatok modellezésének numerikus kezelését.

1.4. Megmutattam, hogy a kincstárban összegyűjtött adatok segítségével a valóságos természeti folyamatokat jobban megközelítő eredmények szülehetnek.

T.2. Bemutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatakor lokálisan, helyi szinten a koncentrált paraméterű modell (LPM) írja le a valóságot, optimalizáláskor.

2.1. Rávilágítottam, hogy az állami, regionális szinten használatos végeselem módszer nem köthető lokális kutakhoz extrapolálással.

2.2. Kimutattam, hogy minél közelebb vannak a kutak egymáshoz, annál nagyobb az egymásra hatás, ezért végeselem módszer alkalmazására nincs lehetőség.

2.3. Rávilágítottam arra, hogy optimalizálás a kúthoz közel, helyi szinten szükséges.

T.3. Bebizonyítottam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek megújulásának vizsgálatakor a koncentrált paraméterű modell numerikus megoldását szimbolikus megoldással lehet helyettesíteni.

3.1. Bemutattam, hogy a szimbolikus megoldás előnye az egyszerűbb előállítás, kezelés.

3.2. Rávilágítottam arra, hogy a szimbolikus megoldásnál kevesebb a módszertani probléma.

3.3. Példával bebizonyítottam, hogy a koncentrált paraméterű modell (LPM) szimbolikus megoldásával a modell idősíkjá nyújtható.

T.4. Bebizonyítottam, hogy a LPM szimbolikus megoldása kezeli a Sigurðardóttir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepció legfontosabb módszertani problémáját az optimalizálás hosszú távú vizsgálatát, mivel az idősíkjá nyújtható.

T.5. Bemutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú fenntartható kitermelési módjának bizonytalanság kezelését a döntés támogató rendszerek (DSS) megoldják.

5.1. Rávilágítottam arra, hogy a hosszú távú tervezést nehezíti a sok lágy paraméter (természeti adottságok), valamint az, hogy a közgazdasági változók nem determinisztikusak, ezért a tervezésnél a bizonytalanságot is figyelembe kell venni.

5.2. Példával bizonyítottam, hogy a bizonytalanság kezelésére megfelelő a Sigurðardóttir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepció.

5.3. Bemutattam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának meghatározását segíti a Sigurðardóttir és társai által 2010-ben publikált DSS koncepció.

5.4. Bebizonyítottam, hogy az alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú fenntartható üzemelésének időbeli változáskezelését segítik a döntéstámogató rendszerek (DSS). A fenntarthatóság paraméterei (mérőszámok) folyamatosan változnak az idő függvényében. Rávilágítottam arra, hogy a DSS az üzemelési adatok időbeli változását figyelembe véve adhat megoldást.

6.2. Új eredmények

A disszertáció olyan új kutatási területet ölel fel, amely eddig nem képezte kutatás tárgyát. A dolgozat bemutatta, hogy a termálvizek optimális és fenntartható kitermelése miként segítheti a területfejlesztési tervekben meghatározott célok végrehajtását, és milyen módszerek segíthetik az ilyen típusú beruházásoknál jelenlévő bizonytalanság kezelését, valamint az optimális kitermelési mód meghatározását.

A kutatás igazolta, hogy hazánk geotermikus kapacitásának teljes mértékű kihasználásához egy kellő számú mérési adatot magába foglaló adatbázis létrehozása szükséges. Az így létrejövő adatok és a koncentrált paraméterű modell (LPM) alkalmazásával lokálisan, települési szinten kellő pontossággal lehet meghatározni a helyi geotermikus rezervoárok viselkedését, megújulását bizonyos prognózisokra. A dolgozat bemutatta, hogy a DSolve Statement of Mathematica 8.0. szoftverrel, szimbolikusan kiértékelve a LPM modellt, az mentesül a halmozódó hibák félrevezető információitól. Az LPM szimbolikus megoldása azt is bebizonyította, hogy kezelni tudja a döntéstámogató rendszerek legnagyobb problémáját, az idő hosszú távú figyelembevételét.

A dolgozatban bizonyítást nyert, hogy hazánkban jellemzően előforduló alacsony hőmérsékletű folyadékalapú geotermikus rendszerek hosszú távú, fenntartható kitermelési módjának bizonytalanságát a döntés támogató rendszerek (DSS) kezelik. A DSS-t egy olyan innovatív matematikai modellel kezelve, mint amilyen a hibrid meta-heurisztikus ANGEL, a külső természeti-, társadalmi- és gazdasági környezet által szabályozott, korlátozott rendszerben is egyszerű a geotermikus készletek kitermelésének és hasznosításának hosszú távú optimalizálása az idő függvényében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Hivatkozások

- Ádám** B. et al. (2009): Javaslat a geotermikus energia hazai hasznosításának növelésére. Szeged, 2009. 8 p. AMTC MK 2008., pp. 50.
- Armstead**, H. C. H. (1983): Geothermalenergy. E at F. N. Spon, London, 1983. 404 p.
- Árpási** M. (2008): A geotermális energiahasznosítás Magyarországon. Budapest, 2008. 54 p.
- Árpási** M. (2014): A geotermális energia kapcsolt rendszerű hasznosításának lehetőségei Magyarországon. http://www.mket.hu/alapanyagok/XVII_konferencia/eloadasok/dr_arpasi_miklos.pdf
- Aszódi** A. (2005): A megújuló energiaforrások helye a villamosenergia-ellátásban. Magyar Nemzet, 2005.11.12. p.15.
- Axelsson**, G. (1989): *Simulation of pressure data from geothermal reservoir by lumped parameters models*. 14th Workshop on geothermal Reservoir Engineering, Stanford, 1989.
- Axelsson**, G. et al. (2005): Sustainable Management of Geothermal Resources and Utilization for 100–300 Years. – Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey (24–29 April) 2. (CD-ROM) 8.
- Bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. Törvény** - http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99300048.TV (2014.09.19)
- Baranya Megyei Területfejlesztési Program 2014** – Stratégiai és Operatív Program <http://baranya.hu/wp-content/uploads/2013/08/BMTfP.pdf> (2014.10.20.)
- Baros** Z. - **Tóth** T. (2009): A megújuló energiaforrások társadalmi elfogadottságának mérése és szerepe a regionális tervezésben. [on-line] <http://www.agrarkutatas.net> (2011.05.03.)
- Bobok** E. – **Tóth** A. (2010): A geotermikus energia helyzete, perspektívái. = Magyar Tudomány, Budapest, 2010/8. pp. 926-936.
- Bobok** E. (1987): Geotermikus energiatermelés, Tankönyvkiadó, Hungary (1987)
- Bobok** E. (2012): A geotermikus energia hazai jövője - Lenyűgöző perspektívák http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/bobokelemer_cikk_lenyugozo_perspektivak.pdf (2014.09.12)
- Bohoczky** F. (2007): Megújuló energiaforrások helye, szerepe. Kisteleki Geotermális Konferencia. Kistelek, 2007. febr. 6–7.

- Böszörményi** L. (2008): Geotermikus energiát hasznosító technológiák időszerű problémái. Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 2008. 53 p.
- Buday-Sántha** A. (2003): Az alternatív energiahasznosítás gazdasági kérdései. In: Megújuló energiaforrások és a termálvíz többcélú hasznosítása. Mandulavirágzás Tudományos Napok, Konferenciakötet, Pécs, 2003. pp. 43-46.
- Buday-Sántha** A. (2009): Környezetgazdálkodás. 4., jav. kiad. Budapest ; Pécs : Dialóg Campus, cop. 2009. 240 p.
- Buday-Sántha** A. (2011): Környezetvédelmi Menedzsment. Kézirat, Pécs, 2011.
- Buday-Sántha** A. et. al (2013): Dél-Dunántúli régió fejlesztése I-II. kötet: TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0002 „A Dél-Dunántúli régió egyetemi versenyképességének fejlesztése” című projekt „Dél-Dunántúl gazdasági erőforrásainak feltárása és fejlesztési lehetőségek meghatározása” című alprojekt kutatást záró monográfia. Pécsi Tudományegyetem, Pécs 2013. pp. 466-505. ISBN: 978-963-642-538-8(ö)
- Csébfalvi**, A. (2007): Angel method for discrete optimization problems PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 51:(2) pp. 37-46. (2007)
- Csébfalvi**, A. (2009): A hybrid meta-heuristic method for continuous engineering optimization PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING 53:(2) pp. 93-100. (2009)
- Csébfalvi**, A. (2013): ANGEL: A simplified hybrid metaheuristic for structural optimization: Chapter 5 In: Dr Helio J C Barbosa Ozgur Baskan, Cenk Ozan, Soner Haldenbilen, Satoshi Kurihara, Mieczyslaw Drabowski, Edward Wantuch, Jaqueline Silva Angelo, Douglas Adriano Augusto, Helio J C Barbosa, Romdhane Rekaya, Anikó Csébfalvi, Kazuyuki Murase, Pierre Delisle (szerk.) ANT COLONY OPTIMIZATION. Rijeka: InTech Open Access Publisher, 2013. pp. 107-127. (ISBN:978-953-51-1001-9)
- Dickson**, M. H. – **Fanelli**, M. (2003): Geothermal Energy, Utilization and Technology. Renewable Energies Series. UNESCO Publishing, 205 p.
- Dinya** L. (2010): Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. Magyar Tudomány, Budapest, 2010. [http://www.matud.iif.hu/2010/08/03.htm#1. ábra](http://www.matud.iif.hu/2010/08/03.htm#1.ábra) (2014.09.19.)
- Dövényi** P. – **Tóth** Gy. (2008): A Kárpát-medence geotermikus és hévízföldtani adottságai (a hasznosítások szemszögéből) IV. kisteleki szakmai fórum, Kistelek, 2008. febr. 26.
- Dövényi** P. et al. (2002): Hungary. In: Hurter, S. – Haenel, R. (eds): Atlas of Geothermal Resources in Europe. Publication No. 17311 of the European Commission, Office For Official Publications of the European Communities. L-2985, Luxembourg, 38 p.

- Ekéné Zamárdi I. - Baros Z.** (2007): A megújuló energiaforrások felhasználásának társadalmi vonatkozásai a világban, Európában és hazánkban. MSZET kiadványai No 2. 2007. 11 p.
- Ertsey A. – Medgyasszay P.** (szerk.) (2006): Autonóm kistérség az Európai Unióban. Esettanulmány az Alpokalja kistérség vizsgálatával. Független Ökológiai Központ, Budapest, 2006. 252 p.
- Fridleifsson, I. B. et al.** (2008): The Possible Role and Contribution of Geothermal Energy to the Mitigation of Climate Change. Proceedings IPCC Climatic Scoping Meeting, Lübeck, 2008.
- GEOFAR** (2009): Pénzügyi eszközök a geotermális energia támogatására. Geothermal Finance and Awareness in European Regions, 2009. 45 p.
- Gudmundur S. - Bodvarsson – Pruess, K. – Lippmann, M.J.** (1986): Modeling of Geothermal Systems, Journal of Petroleum Technology, September 1986, p. 1007–1021.
- Gulyás L. – Virág S.** (2007): A geotermális energia. In: Mindentudás a megújuló energiaforrásokról 2007, Békéscsaba pp. 117-134.
- Horváth F.** (2008): A Pannon-medence geodinamikája. MTA doktori disszertáció, 2008. 227 p.
- Integrated Feasibility Study on Geothermal Utilization in Hungary.** Geothermal Power Project - Altener II 4.1030/Z/02-045, Budapest, 2005. 156 p. [on line] <http://www.geothermalpower.net/results/Integrated%20Feasibility%20Study.pdf> (2009.10.21.)
- Kontra J.** (2004): Hévízhasznosítás. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004. 66 p.
- Lemale, J. – Jaudin, F.** (1998): La géothermie, une énergie d'avenir. Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies, Ile-de-France ADEME, BRGM, 1998. 117 p.
- Lenkey L. – Mádlné Szőnyi J.** (2009): A földhőhasználat adottságai és lehetőségei Magyarországon. Az épületek felújításának hatása az energiafelhasználásra és a környezetre MTA konferencia, Budapest, 2009. nov.25.
- Liebe P.** (1982): Az ország egyes régióin, területrészein a geotermikus potenciál meghatározása. MFT tanulmány, OFGA T.17968
- Liebe P. et al.** (2001): Tájékoztató. Termálvízkészleteink, hasznosításuk és védelmük. Környezetvédelmi Minisztérium megbízásából készítette a VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete, Budapest. 2001. 29 p.
- Lorberer Á.** (2004): A geotermális energiahasznosítás hazai fejlesztési koncepciója 2010-ig. Jelentés a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium részére, VITUKI, Budapest, 2004. 97 p.
- Mádlné Szőnyi J.** (2006): A geotermikus energia. Grafon Kiadó, Nagykövácsi, 2006. 144 p.

- Mádlné Szőnyi J.** (2009): Fejlődési lehetőségek a geotermikus energia hasznosításában, különös tekintettel a hazai adottságokra In: Magyar Tudomány, Budapest, 2009/8. pp. 989-1003.
- Mádlné Szőnyi J.** et al. (2008): A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon. Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttér tanulmány. MTA, Budapest, 2008. 105p.
- Meggyesi T.** (2006): Településfejlesztés. egyetemi jegyzet,
<http://www.urbanisztika.bme.hu/segedlet/telepulesfejlesztes-jegyzet.pdf>(2014.09.19.)
- Muffler L. J. P.**(1979): Assessment of Geothermal Resources assessment: Geothermics (in press).
- Muffler, L. J. P.** (1973): Geothermal resources: U. S. Geol. Survey
- Muffler, L. J. P.** és **Cataldi, R.** (1978): Methods for regional of the United States—1978. GEOLOGICAL SURVEY CIRCULAR 790 p.163.
- Nádor A.** et al. (2012): Geotermális energiát hordozó vízkincsünk fenntartható hasznosításának vízgazdálkodási és energetikai kérdései
http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/nadoran_namaria_eloadasa_20120217.pdf
- Pokorádi, L.** (2008): Geotermikus rendszerek modellezése, kutatási jelentés, DE http://www.mfk.unideb.hu/userdir/pokoradi/08_07.pdf (2011.03.10.)
- Pollack** et al (1993): Heat flow from the earth's interior: analysis of the global data set. *Rev. Geophysics*, 31, pp. 267-280. Prof. Paper 820, p. 251-261.
- Rezessy G.** et al. (2005): A geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának előkészítéséről. I. Fázis. – Jelentés, Magyar Geológiai Szolgálat, Budapest, 2005.
- Rybach, L.** - **Mongillo, M.** (2006): Geothermal Sustainability – A Review with Identified Research Needs. In: Geothermal Research Council 2006 Annual Meeting, San Diego, California (2006.09.10-13.)
- Rybach, L.** (2005): Geothermal Energy for Electricity Generation Catching Up. The R and D Priorities. IEA Workshop, Paris, 2005.03.05.
- Rybach, L.** (ed) (1985): Heat flow and geothermal processes. In: Proceedings of IUGG Interdisciplinary Symposium No.10, Hamburg, Germany 1983. Journal of Geodynamics, Special Issue 4., 349 p.
- Rybach, L.** et al. (2000): At What Time scale Are Geothermal Resources Renewable? In: Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu, Tohoku, Japan. pp. 867-873.

- Sigurðardóttir, S. - Pálsson, H. - Valfells, A. - Stefansson, H.** (2010): *Optimizing Revenue of a Geothermal System with Respect to Operation and Expansion*. In: Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April, 2010.
- Stefansson, V.** (2000): The renewability of geothermal energy. In: Proceeding World Geothermal Congress 2000, Kyushu, Tohoku, Japan. 2000. pp. 879-883.
- Szanyi J. és Kovács B.** (2007): A Kárpát-medence geotermikus energiapotenciálja. Kisteleki Geotermális Konferencia. Kistelek, 2007. febr. 6-7.
- Szanyi J.** (2004): The influence of lower-boundary condition on the groundwater flow system. *Acta Geologica Hungarica* Vol.47. 1/2004. Akadémia Kiadó, Budapest 2004.
- Szederkényi T.** (2003): Délkelet-Dunántúl ismert és reménybeli termálvíz készletei. In: Megújuló energiaforrások és a termálvíz többcélú hasznosítása, Mandulavirágzás Tudományos Napok, Konferenciakötet, Pécs, 2003. pp. 29-32.
- Szlávik J.** (2005): Fenntartható környezet- és erőforrás-gazdálkodás. KJK-KERSZÖV Jogi és Üzleti Kiadó Kft., Budapest, 2005. 317 p.
- Területfejlesztésről és a területrendezésről szóló Törvény 1996. évi XXI. törvény**
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99600021.TV (2014.09.10)
- Tóth A.** (2010): Hungarian Country Update 2005-2009, World Geothermal Congress, Bali, 2010. <http://www.geothermalenergy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/0125.pdf> (2012.10.02)
- Tóth A. et al.** (2014): Methodology for Determining Geothermal Potential <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2014/Bobok.pdf>
- Török J.** (2007): A Kárpát-medence geológiai adottságai. Kisteleki Geotermális Konferencia. Kistelek, 2007. febr. 6-7.
- Vajda Gy.** (2001): Energetika és fenntartható fejlődés. [on-line] <http://www.termeszetvilaga.hu/tv2001/tv0108/vajda.html> (2009.05.06.)
- Vajda Gy.** (2004): Energia ma és holnap. Magyarország az ezredfordulón, Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 2004. 385 p.
- Vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. Törvény** -
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99500057.TV (2012.10.20)
- Völgyesi Lajos** (2002): Geofizika. Tankönyvkiadó, 1982; Műegyetemi Kiadó, 1999, 2002 [on-line]
<http://www.agt.bme.hu/volgyesi/geofiz/geofiz.htm> (2009.02.12.)

WCED (1987): Our Common Future. Brundtland Report, the UN World Commission for Environment and Development. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (2011.03.12.)

Tézisekhez kapcsolódó saját publikációk

Könyvfejezet:

Pálné Schreiner Judit (2013a): Alternatív energiák hasznosítási megoldásainak vizsgálata In: Buday-Sántha Attila (szerk.) Dél-Dunántúli régió fejlesztése II. kötet: TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010 0002 "A Dél-Dunántúli régió egyetemi versenyképességének fejlesztése" című projekt "Dél Dunántúl gazdasági erőforrásainak feltárása és fejlesztési lehetőségek meghatározása" című alprojekt kutatást záró monográfia. Pécs: Pécsi Tudományegyetem, 2013. pp. 466-505. (ISBN:978-963-642-537-1)

Folyóiratcikk angol nyelven:

Pálné Schreiner, Judit (2014): The Present and Future of Szigetvár Spa: An Economic Analysis of Geothermal Energy Investment DETUROPE: CENTRAL EUROPEAN JOURNAL OF TOURISM AND REGIONAL DEVELOPMENT 6:(2) pp. 94-107. ISSN 1821-2506

Pálné Schreiner Judit (2012a): Utilization of geothermal energy in Hungary with Bóly in the focus POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 7:(1) pp. 107-112. (2012)
Link(ek): [DOI](#), [Scopus](#)

Pálné Schreiner, Judit - **Csébfalvi**, Anikó (2011): Optimizing Geothermal Energy Utilization in Bóly In: B.H.V.Topping, Y.Tsompanakis (szerk.) Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing: Chania - Crete - Greece, 6-9 September 2011. Konferencia helye, ideje: Chania, Görögország, 2011.09.06-2011.09.09. Stirlingshire: Civil-Comp Press, 2011. pp. 1-9. (Civil-Comp proceedings; 96.) ISSN 1759-3433 (ISBN:978-1-905088-478)
Link(ek): [DOI](#), [Scopus](#)

Csébfalvi, Anikó - **Pálné Schreiner**, Judit (2011): A Net Present Value Oriented Hybrid Method to Optimize the Revenue of Geothermal Systems with Respect to Operation and Expansion In: B.H.V.Topping, Y.Tsompanakis (szerk.) Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil,

Structural and Environmental Engineering Computing: Chania - Crete - Greece, 6-9 September 2011. Konferencia helye, ideje: Chania, Görögország, 2011.09.06-2011.09.09. Stirlingshire: Civil-Comp Press, 2011. pp. 290-299.(Civil-Comp proceedings; 97.) ISSN 1759-3433 (ISBN:978-1-905088-47-8) Link(ek): [DOI](#), [Scopus](#), [Egyéb URL](#)

Konferencia kiadványban angol nyelven:

Pálné Schreiner, Judit (2010b): Possibilities of Cascade Thermal Water Utilization in Hungary In: Grizelj Branko, Cumin Josip, Šoškić Nikola, Seuček Ivan, Vujčić Branimir (szerk.) 8th Natural Gas, Heat and Water Conference, 1st International Natural Gas, Heat and Water Conference. Konferencia helye, ideje: Osijek, Horvátország, 2010.09.29-2010.10.01. Osijek: Strojarski fakultet, 2010. pp. 1-6. (ISBN:978-953-6048-58-8) Befoglaló mű link(ek): [Egyéb URL](#)

Tudományos konferencia előadások angol nyelven:

Pálné Schreiner, Judit (2013b): Use (application) of Geothermal Energy in Szigetvár In: Peter Ivanyi (szerk.) Architectural, Engineering and Information Sciences - 9th International PhD & DLA Symposium: Abstracts Book. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.10.21 2013.10.22. Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering, 2013. p.129. ISBN: 978-963-7298-54-7) Befoglaló mű link(ek): [OSZK](#)

Pálné Schreiner, Judit (2011): Sustainable Utilization of Geothermal Reservoir In: Iványi Péter (szerk.) Research conference on information technology: honoring volume on Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology: Seventh International PhD & DLA Symposium, october 24-25, 2011. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2011.10.24-2011.10.25. Komló: Rotari Press, 2011. p. 111. (BME PA közlemény 125716) (ISBN:978-963-7298-46-2) Befoglaló mű link(ek): [BME OMIKK](#), [autopszia](#), [BME PA közlemény](#)

Pálné Schreiner, Judit (2010c): Utilization of Geothermal Energy in Hungary In: Iványi Péter (szerk.) Conference on Engineering Research: Anniversary Volume Honoring Amalia and Miklos Ivanyi: Sixth International PhD & DLA Symposium : University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2010.09.25-2010.09.26. Pécs: PTE PMMK, 2010. p. C:78. (ISBN:978-7298-40-0)

Egyéb saját publikációk

Egyetemi jegyzet:

Pálné Schreiner Judit (2007a): Hidrológia Pécs: PTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar, 2007. 90 p. (ISBN:978-963-7298-22-6)

Pálné Schreiner Judit (2007b): Közművek Pécs: PTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar, 2007. 97 p. (ISBN:978-963-7298-24-0)

Pálné Schreiner Judit (2007c): Hidraulika Pécs: PTE Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar, 2007. 49 p. (ISBN:978-963-7298-23-3)

Pálné Schreiner Judit (2001): *Oktatási segédanyag műszaki ellenőr képzés számára - Komplex közművek témakör (M42 jegyzet)*. Pécsi Tudományegyetem Pécs, 2001. 38.p.

Folyóiratcikk magyar nyelven:

Pálné Schreiner Judit (2010a): A kistérségi léptékű geotermikus energiahasznosítási, fejlesztési projektek támogatási formái In: Buday-Sántha Attila, Gunszt Katalin, Horváth Márton, Milovecz Ágnes, Páger Balázs, Tóth Zsuzsanna (szerk.) Évkönyv, 2010: "Félidőben" : A közép-európai terület-, település-, vidék- és környezetfejlesztéssel foglalkozó doktori iskolák találkozója és konferenciája : IV. Országos Környezetgazdaságtani PhD-konferencia. 325 p. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2010.10.08-2010.10.09. Pécs: PTE KTK Regionális Politika és Gazdaságtan Doktori Iskola, pp.300-311.1. kötet ISSN: 1588-5348 Befoglaló mű link(ek): [OSZK](#), [BCE katalógus](#)

Pálné Schreiner Judit (2000): A lakossági ivóvízellátás változása a Dráva völgyében *KÖZLEMÉNYEK A JPTE FÖLDRAJZI INTÉZETÉNEK TERMÉSZETFÖLDRAJZI TANSZÉKÉRŐL* 2000/17.: pp. 1-14. ISSN: 1419-6638

Konferencia kiadványban magyar nyelven:

Hanyecz Lajos, **Pálné Schreiner** Judit (2013): A Szigetvári Gyógyfürdő gazdasági elemzése In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlósi Éva (szerk.) Régiók fejlesztése: Régiók fejlesztése" TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0002 projekt kutatászáró konferencia, Pécs, 2013. május 23-24. 390 p. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.05.23-2013.05.24.

Pécs: PTE, 2013. pp. 99-110. 3. kötet. (ISBN:978 963 642 531 9) Befoglaló mű link(ek): [OSZK](#), [BCE katalógus](#)

Danka Sándor, Pálné Schreiner Judit (2013): A biogázüzemek sajátosságai, a kaposszekcsői biogázüzem In: Buday-Sántha Attila, Danka Sándor, Komlói Éva (szerk.) Régiók fejlesztése: Régiók fejlesztése" TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0002 projekt kutatászáró konferencia, Pécs, 2013. május 23-24. 390 p. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2013.05.23-2013.05.24. Pécs: PTE, 2013. pp. 111-127. 3. kötet. (ISBN:978 963 642 531 9) Befoglaló mű link(ek): [OSZK](#), [BCE katalógus](#)

Tudományos konferencia előadások angol nyelven:

Pálné Schreiner, Judit (2012b): Use (application) of biogas in Kaposszekcső In: Peter Iványi (szerk.) Architectural, engineering and information sciences: 8th International PhD & DLA Symposium : University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology : october 29-30, 2012 : abstracts book. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2012.10.29-2012.10.30. Pécs: PTE PMMK, 2012. p. 115. (ISBN:978 963 7298 48 6)

Egyéb:

Pálné Schreiner Judit (2005): *Szakértői vélemény a 2003/HU/16/P/PE/019 kecskeméti agglomeráció szennyvízelvezetési és kezelési ISPA programmal kapcsolatban a csatornahálózat anyagára vonatkozóan.* Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar Pécs, 2005. 52.p.