Geotermikus projektek UNFC-2009 kód szerinti besorolása és alkalmazása a sarkadi koncessziós mintaterületen

Szanyi J.[1]*, Madarász T.[2]*
[1] Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, szanyi@iif.u-szeged.hu
[2] Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, tamas.madarasz@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Tanácsa (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE) felismerve az igényt, a fosszilis energiahordozó- és ásványi nyersanyagkészletre és vagyonra vonatkozó osztályozási keretrendszert dolgozott ki UNFC-2009 kód néven (The United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009), majd ezt kiterjesztette a megújuló energia fajtákra is (UNECE 2016). Segítségével harmonizálhatók és összevethetők az ásványvagyon-gazdálkodási tevékenységek, üzleti folyamatok, továbbá a keretrendszer megfelel a pénzügyi jelentések sztenderdjeinek. Jelen dolgozatban a UNFC-2009 kód módszertanát kívánjuk röviden bemutatni és egy hazai koncessziós területre alkalmazva elősegíteni a UNFC-2009 kód használatának elterjedését a magyar geotermikus szektorban.

1 Bevezetés

A geotermikus energia megbízható, időjárás-független, helyben rendelkezésre álló, részlegesen megújuló energiaforrás. A geotermikus energiát a kőzetváz és a fluidum együttesen tartalmazza. Bár a geotermikus energia a kéregben mindenütt jelen van, kitermelése olyan hordozó közeghez kötött, amely könnyen felszínre hozható, nagy fajlagos energia tartalmú, olcsó és nagy mennyiségben rendelkezésre áll (Szanyi 2019). A geotermikus energia használatához jelentős gazdasági és környezeti előnyök társulnak, különösen fűtés-hűtés terén. Ugyanakkor nemzetközi szinten is megfigyelhető tendencia, hogy a geotermikus energia szektor növekedése elmarad a többi megújuló energiától, különös tekintettel a nap és szél energiára (RYBACH 2010). Kimondható, a különböző energiafajták versenyeznek egymással, beleértve a fosszilis és a megújuló energiákat egyaránt, így egyre nagyobb igény mutatkozott, hogy a különböző típusú energiakészletek és vagyonosztályozási rendszerek összemérhetők legyenek. Az Egyesült Nemzetek Európai Gazdasági Tanácsa (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE) felismerve az igényt, a fosszilis energiahordozó- és ásványi nyersanyagkészletre és vagyonra vonatkozó osztályozási keretrendszert dolgozott ki UNFC-2009 kód néven (The United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009), majd ezt kiterjesztette a megújuló energia fajtákra is (UNECE 2016). Segítségével harmonizálhatók és összevethetők az ásványvagyon-gazdálkodási tevékenységek, üzleti folyamatok, továbbá a keretrendszer megfelel a pénzügyi jelentések sztenderdjeinek. Jelen dolgozatban a UNFC-2009 kód módszertanát kívánjuk röviden bemutatni és egy hazai koncessziós területre alkalmazva elősegíteni a UNFC-2009 kód használatának elterjedését a magyar geotermikus szektorban.

2 UNFC-2009 kód

A UNFC-2009 kód használatának elsődleges célja az adott geotermikus projektekhez kapcsolódó erőforrások osztályozása. Az osztályozási folyamat egy geotermikus energiaforráshoz kapcsolódó projekt vagy projektek

meghatározásáról, az egyes projektekben a geotermikus energiatermékekként kinyerhető és átadható energiamennyiségek becslésére vonatkozik, beleértve a regenerációs potenciált. A geotermikus energiával összefüggésben a projekt magában foglalja az összes rendszert és berendezést, amely a geotermikus energiaforrást összeköti azzal a referenciaponttal, ahol a végső geotermikus energiatermékeket értékesítik, felhasználják, átadják vagy ártalmatlanítják. A projekt magában foglalja az energia kinyeréséhez és/vagy átalakításához szükséges összes berendezést és rendszert, ideértve például a termelő és visszasajtoló kutakat, a talaj vagy a felszíni hőcserélőket, az összekötő csővezetékeket, az energia átalakító rendszereket és a szükséges kiegészítő berendezéseket. A tervezés korai szakaszában lévő projektet csak koncepcionálisan lehet meghatározni, míg az érettebb projekteket, ahol már bizonyos beruházások megtörténtek nagyobb részletességgel kell meghatározni. A referenciapont egy meghatározott hely a termelési láncban, ahol a geotermikus energiatermék mennyiségét mérik vagy becsülik, ez általában az a pont, ahol az energiát harmadik személyeknek értékesítik, vagy ahol átkerül a gazdálkodó egység hasznosító részlegébe. Ha egy projekt több geotermikus energiaterméket állít elő, az egyes termékfolyamokhoz különböző referenciapontok tartozhatnak.

2.1 Projekt élettartama

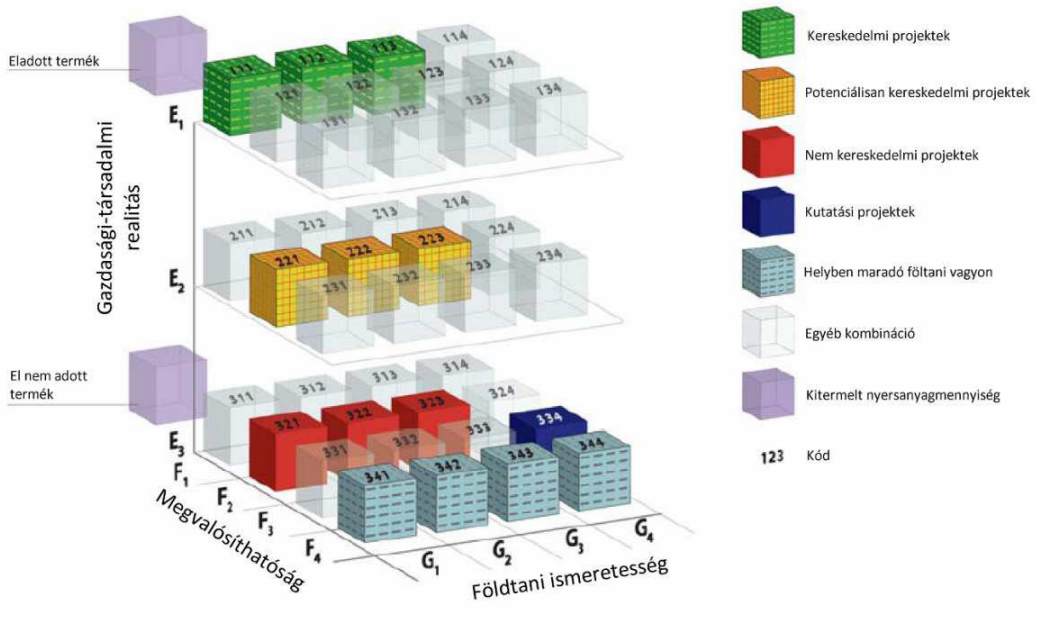
A projekt becsült geotermikus energiaforrása a projekt élettartama alatt előállítható mennyiséget jelenti. A projekt élettartama az alábbiakban meghatározott gazdasági korlát, tervezett élettartam, szerződéses időszak, illetve jogosultsági időszak minimuma. A projekt élettartamát és meghatározásának alapját a jelentett energia mennyiségekkel együtt közzé kell tenni. A gazdasági korlát az az idő, amikor a projekt eléri azt a pontot, amelyen a Projektből következő, halmozott diszkontált nettó működési cash flow-k negatívak lennének. Geotermikus projektek esetében a gazdasági határ az az időpont, amikor a várható kitermelési arány olyan szintre csökken, amely a projektet gazdaságtalanná teszi, vagy amikor nem gazdaságos további kitermelési infrastruktúrába, például további kutakba fektetni. A projekt műszaki és gazdasági értékelése során a projekt tervezési élettartama a fő fizikai infrastruktúra várható élettartama. A jelentős projektkomponensek cseréje (pl. új kút fúrása vagy turbina cseréje) új projektet jelent, így a geotermikus energiaforrások értékelését és becslését újra el kell végezni. A geotermikus energiaforrás várhatóan sokkal hosszabb ideig rendelkezésre áll, mint a projekt élettartama, ilyenkor a jövőben kinyerhető mennyiségek meghaladják a projektre becsült mennyiségeket. Ez esetben az így megmaradó geotermikus erőforrást mellék- vagy egy későbbi új projektekként tekintik. Ha egy projekt egynél több geotermikus energiaterméket (például hő- és villamos energiát) termel, az előállítható geotermikus energia termékeket becsüljük külön-külön, de egy jelentésében közöljük.

2.2 Az értékelő rendszer tengelyeinek bemutatása

A UNFC-2009 osztályozás alapja egy háromdimenziós rendszer, melynek tengelyei az adott projekt gazdasági-társadalmi életképességét, illetve a szabályozási környezetet és a környezeti aspektusokat (E tengely), a projekt állapotát és megvalósíthatóságát – a technológia rendelkezésre állását is beleértve – (F tengely), valamint a földtani ismeretesség megbízhatóságát (G tengely) jellemzik (1. ábra). E tényezők alapján a meghatározott (számszerűsített) nyersanyagmennyiség egy háromjegyű kóddal jellemezhető (E, F, G kategóriák), amely egzakt módon használható bárhol a világon (Nádor 2016). Az egyes kategóriák és al-kategóriák meghatározásait a 1. táblázat foglalja össze. A UNFC-2009 szándékosan kerüli a „vagyon" és „készlet" fogalmakat, mivel azok meghatározása nem egyértelmű. Tekintve, hogy a vonatkozó G-kategóriába besorolt vagyonmennyiség az értékelés időpontjától a projekt befejezéséig rendelkezésre álló / kitermelhető vagyonra vonatkozik, ezért az E, F, G kategóriák besorolása az értékelés időpontjától függően értelemszerűen változik.

Mindhárom tengely esetében kategóriák (pl. E1, E2, E3), esetenként alkategóriák határozhatóak meg (pl. E1.1). Az osztály a három tengely kategóriáinak, illetve alkategóriáinak vagy ezek csoportjának adott

kombinációiként határozható meg (1. táblázat). Mivel a kódszámok mindig ugyanabban a sorrendben követik egymást (EFG) a betűk elhagyhatók, így pl. az 121 jelentése: E1, F2, G1. (Sári et al. 2013).



1. ábra. UNFC rendszer felépítése (Nádor 2016)

1. táblázat. Osztályok és alosztályok a UNFC-2009 kód szerint (Sári et al. 2013)

Kategóriák és alkategóriák által meghatározott osztályok						
Teljes kezdeti földtani vagyon	Ki-termelt	Eladott				
		El nem adott				
	Osztály		Alosztály	Kategóriák		
				E	F	G
	Ismert telepek	Kereskedelmi projektek	Termelés alatt álló	1	1.1	1, 2, 3
			Jóváhagyott fejlesztés	1	1.2	1, 2, 3
			Igazolt fejlesztés	1	1.3	1, 2, 3
		Potenciálisan kereskedelmi projektek	Fejlesztés folyamatban	2[j]	2.1	1, 2, 3
			Felfüggesztett fejlesztés	2	2.2	1, 2, 3
		Nem kereskedelmi projektek	Tisztázatlan fejlesztés	3.2	2.2	1, 2, 3
			Nem megvalósítható fejlesztés	3.3	2.3	1, 2, 3
		Helyben maradó földtani vagyon		3.3	4	1, 2, 3
	Lehetséges telepek	Kutatási projektek	(Nincsenek alosztályok)[k]	3.2	3	4
		Helyben maradó földtani vagyon		3.3	4	4

A hagyományos geotermikus energiaforrások kinyerése jellegénél fogva leginkább a fluidum kitermeléshez áll közel, ezért alapvetően a szénhidrogénekre kidolgozott (és az UNFC-2009- hez áthidaló dokumentum segítségével illesztett) PRMS (Petroleum Resources Management System) rendszer szempontjai kerültek alkalmazásra.

2.2.1 E-tengely

A tengely három alkategóriában adja meg a projekt gazdasági-társadalmi életképességét, illetve a szabályozási környezetet és a környezeti aspektusokat, összefoglalóan a társadalmi és környezeti elfogadottságot, fenntarhatóságot. Ennek 3 kategóriája lehetséges. Ismert tény, hogy világszerte számos politikai támogatási mechanizmus, szabályozási eszköz és pénzügyi ösztönző létezik (pl. zöld-tarifák, prémiumok, támogatások, adójóváírások stb.). Fontos, hogy az adott projektben tükröződjön az az érték, amelyet az eladók vagy az állam megújuló energiára (vagy kifejezetten a geotermikus energiára) fordít. (Az nem számít, hogy az energiatámogatások projektenként érhetők el, vagy általánosan, minden megújuló, így a geotermikus energia projekt hozzájut a piacon). Jellemző, hogy az energia-támogatásokat általában idővel fokozatosan megszüntetik, vagy akkor számolják fel, ha a minősített megújuló energiaforrások elérték a teljes energiatermelés bizonyos részét.

Az E-kategóriák tekintetében a legnagyobb problémát az jelenti, hogy ebben a kategóriában számos olyan szempontot kell figyelembe venni egy projekt besorolásakor, amelyek együttes értékelése szinte lehetetlen. Geotermikus energia vonatkozásában (a teljesség igénye nélkül) az adott projekt típusától (pl. közvetlen hőhasznosítás, áramtermelés) függően ezek az alábbiak (Nádor 2016): környezetvédelmi szempontok, terület kizárási szempontok, bányaművelés, szükséges engedélyek, gazdasági szempontok, társadalmi elfogadottság, pénzügyi feltételek.

2.2.2 F-tengely

A második tengely ábrázolja a projekt állapotát és megvalósíthatóságát – a technológia (know-how) rendelkezésre állását is beleértve, ennek 4 kategóriája lehetséges. A kutatási projekthez kapcsolódó geotermikus energiaforrást (az UNFC-2009, II. Rész, I. melléklet meghatározása szerint) F3 besorolásúként kell besorolni. Az F3 kategóriának három alkategóriája van (lásd az UNFC-2009 II. Részének VI. R szakaszát). Az F3.3 alkategória a „kutatási tevékenységek legkorábbi szakaszaira" vonatkozik. Ezek magukban foglalhatják a geotermikus energiaforrások elméleti becsléseit a nemzeti erőforrás-jelentésekhez.
Ha az első fúrás eredménye „száraz", „sikertelen" vagy „nem meggyőző", a geotermikus energiaforrás becslését továbbra is F3-kategóriába kell besorolni, annak ellenére, hogy legalább egy feltáró kút létezik. (A meghatározás szerint ilyen esetben – a kutatási projektek – a kapcsolódó energiabecslést G4 kategóriába kell besorolni a „G" tengelyen).
A projektek osztályozása az F tengelyen függ a „fejlesztés alatt álló technológiától". Az ilyen projekteket az F tengelyen F4 osztályba kell sorolni, kivéve, ha a technológia technikailag életképesnek bizonyult analóg geotermikus energiaforrásokban, vagy a technológia technikailag életképesnek bizonyult más, nem analóg geotermikus energiaforrásokban, és egy kísérleti projektet terveznek e geotermikus energiaforrás életképességének bizonyítására. A véges erőforrásokkal összefüggésben a „helyben lévő mennyiségek" alkotják az anyagmérleget a kinyert mennyiségek és a helyben lévő összes kezdeti mennyiség között. Noha ezeknek a mennyiségeknek egy része a jövőben hozzáférhető lehet, mivel a technológiai fejlődés megtörténik, e mennyiségek egy részét vagy egészét soha nem lehet visszanyerni. A geotermikus energiával összefüggésben azonban a helyben lévő teljes kezdeti mennyiség nem megfelelő, mivel:

- a geotermikus energiaforrás fizikai határai, különösen a mélysége, rosszul vannak meghatározva;
- a geotermikus energiaforrás pótlódásának mértéke szintén gyakran rosszul meghatározható; és,
- a „küszöbparaméter" (például hőmérséklet), amely alatt a hőelvonás már kereskedelmi szempontból nem életképes, a projektben alkalmazott technológiától függ.

Előfordulhatnak olyan helyzetek, amikor további mennyiségek bejelentése szükséges egy geotermikus projekthez. Ilyenkor, definíció szerint, a kiegészítő referenciapontig a helyben lévő mennyiségek in situ

vannak. A geotermikus energiaforrás feltételezett fizikai korlátait, utánpótlódási sebességét és küszöbértékeit minden jelentésben fel kell tüntetni, amely a helyben lévő további mennyiségekre vonatkozik.
A helyben lévő kiegészítő mennyiségeket (F4) csak akkor kell jelenteni, ha az alábbi három F4 alkategória egyikébe sorolhatók:

- F4.1: ezen mennyiségek egy részének vagy egészének kinyeréséhez szükséges technológia jelenleg aktív fejlesztés alatt áll, az egyéb energiaforrásokra vonatkozó sikeres kísérleti tanulmányok eredményeként, de még bizonyítani kell, hogy technikailag megvalósíthatók az energiaforrás típusa és jellege szempontjából;
- F4.2: ezen mennyiségek egy részének vagy egészének kinyeréséhez szükséges technológiát jelenleg kutatják, de még nem fejeződtek be sikeres kísérleti tanulmányok;
- F4.3: ezen mennyiségek egy részének vagy egészének kinyeréséhez szükséges technológiát jelenleg nem vizsgálják és nem is fejlesztik.

2.2.3 G-tengely

A harmadik tengely célja, hogy az összes lényeges bizonytalanságot tükrözze, amely a becsült kitermelendő geotermikus energiaforrások mennyiségét befolyásolja. A G-tengelynek 4 kategóriája van. Az ismert geotermikus energiaforrás az, ahol egy vagy több kút tesztelés, mintavétel és/vagy kútgeofizikai vizsgálat útján jelentős mennyiségű potenciálisan utánpótlódó hőmennyiséget igazolt. Ebben az összefüggésben a „jelentős" azt jelenti, hogy van bizonyíték elegendő mennyiségű utánpótlódó hő jelenlétére a bemutatott geotermikus energiaforrások becslésének igazolásához és gazdasági potenciáljának értékeléséhez. A „utánpótlódó" azt jelenti, hogy a geotermikus energiaforrás mennyiségét, mélységét, termikus-, áteresztőképesség- és folyadék tulajdonságait bizonyították, vagy olyan sebességű utánpótlódás várható, amely elegendő egy gazdaságos projekt megalapozásához.

Az ismert geotermikus energiaforrásokhoz kapcsolódó becsült geotermikus energiaforrásokat a G1, G2 és G3 kategóriák szerint kell osztályozni és jelenteni, amelyek adott valószínűség szerinti kitermelhető hőmennyiséget jelentik. A földhőszivattyú (GSHP) projektek kapcsán a geotermikus energiaforrást ismertnek kell tekinteni, ám az utánpótlódást és az ezt lehetővé tevő geotermikus energiaforrásokat ugyanúgy kell értékelni, mint más (mély) geotermikus projektek esetében.

Potenciális geotermikus energiaforrás az, amelyben jelentős mennyiségű utánpótlódó hőenergia meglétét még nem bizonyították közvetlen bizonyítékokkal (pl. fúrás, bizonyos esetekben kút-tesztelés, mintavétel és/vagy kútgeofizika), hanem becsülték mint potenciálisan létezőt, elsősorban a geofizikai mérésekből, geokémiai mintavételből és más felszíni vagy levegőben végzett mérésekből vagy egyéb módszerekből származó bizonyítékok alapján. A potenciális geotermikus energiaforrásokhoz kapcsolódó becsült geotermikus energiaforrásokat a G4 kategória vagy annak G4.1, G4.2 és G4.3 alkategóriái szerint kell osztályozni és jelenteni. Ez esetben a becslés valószínűségét is meg kell adni. Ez annak esélyét mutatja, hogy a további feltárás, fúrás és kútvizsgálat az ismert geotermikus energiaforrás megerősítését milyen valószínűség eredményezi. Ezt általában a földtani megismeréshez szükséges kulcsfontosságú tényezők figyelembevételével értékelik, amelyek magukban foglalhatják a hőmérsékletet, a permeabilitást és a folyadék kémiai tulajdonságait, vagy más releváns paramétereket, amelyek fontosak a tervezett energiatermeléshez.

2.3 Bizonytalanságok

Mivel a fenti számításokhoz szükséges adatokat pontosan nem ismerhetjük meg, nem mellőzhető az adatok bizonytalanságának becslése és számbavétele. A hőmennyiség (készlet) becslésének bizonytalansága a számítási paramétereinek becslési bizonytalanságaiból ered. Legyen szó akár szilárd ásványi

nyersanyagokról, akár fluidumokról, a készletbecslés alapja mindig térfogat-számítás. A felületek térképeit felszíni észlelések során vagy fúrásokban mért adatok (lyukgeofizika), illetve azok földtani szelvények mentén végzett korrelációja segítségével szerkesztjük meg. A korrelációt gyakran geofizikai mérések értelmezésére alapozzuk. A felszínen vagy fúrólyukakban vett mintákon elvégzett mérések, a geofizikai adatgyűjtés, az adatfeldolgozás és az értelmezés, ideértve a különböző térfogatszámítások alapjául szolgáló térképek szerkesztését is, mind hibákkal terheltek. Ilyen módon minden egyes adat valószínűségi változónak tekinthető, beleértve a térfogatot is. Az ásványvagyonbecslés kőzettérfogat számítást követő lépése – mind szilárd ásványi nyersanyagok, mind fluidumok esetén – a térfogaton belüli, a vagyonmennyiséget meghatározó valamilyen „minőségi" paraméter eloszlásának a meghatározása. A geotermikus energia esetében ilyen paraméter a tároló effektív porozitása, valamint a kitermelhető hozam és hőmérséklet értéke. Hőmennyiség (készlet) számításkor e paraméterek átlagértékeinek becslésére törekszünk (Szilágyi 2016).

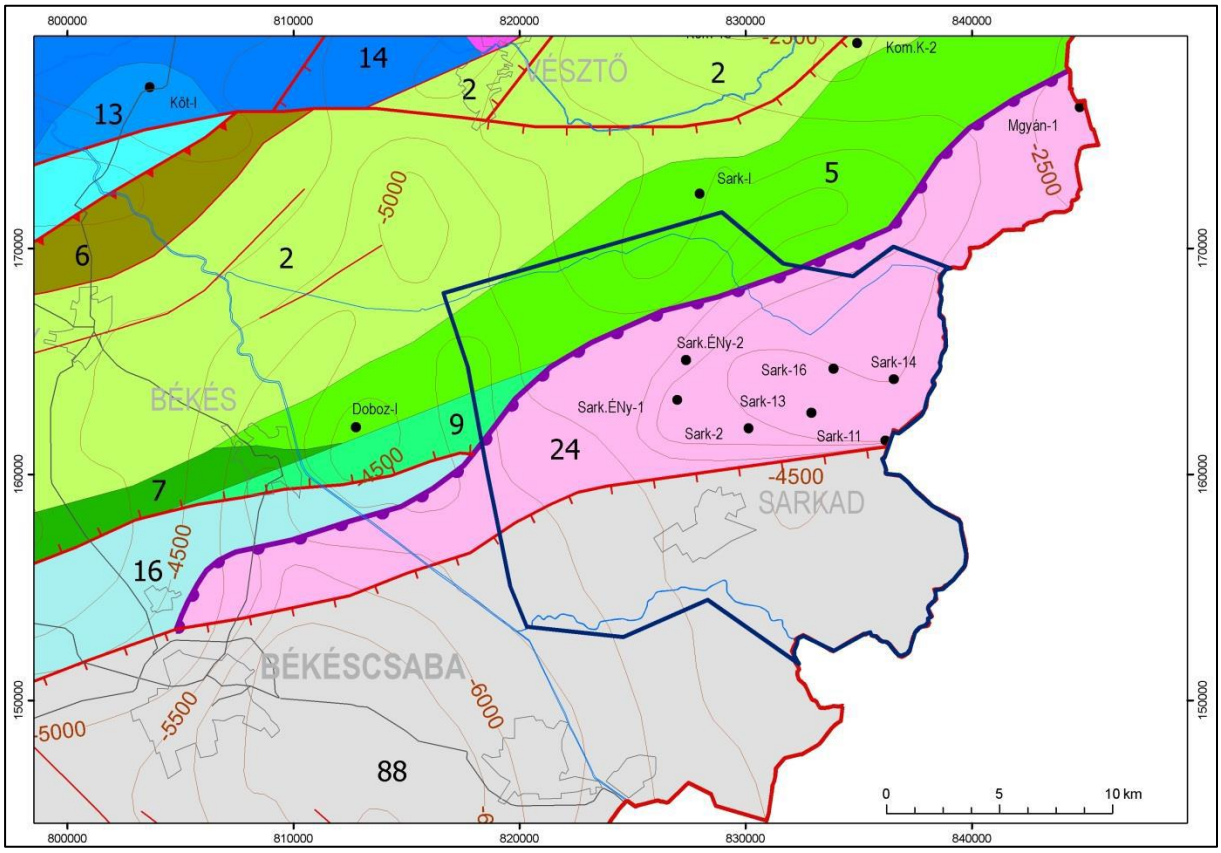
Adott kőzettérfogat által tartalmazott hőmennyiség számításához szükséges paraméterek, mint porozitás, kőzetmátrix ill. víz fajhője, sűrűsége, valamint hőmérséklete nem határozható meg egyértelműen, mert az adatok különböző mértékű bizonytalansággal terheltek. Ennek vizsgálatát el lehet végezni valószínűség elméleti alapon. Jelen tanulmányban geotermikus volumetrikus készletet számolunk. Az UNFC-2009 kód útmutatása alapján a becslés megbízhatóságát fuzzy aritmetikával becsüljük úgy, hogy a különböző paramétereket háromszög alakú fuzzy számokkal adjuk meg (a víz vajhőjét konstansnak tekintjük 4200 J/kg*K). Ebben az esetben a végeredményül kapott fuzzy háromszög kezdő nulla tagságértékéhez tartozó száma adja a magasan megbízható, egy tagságértékhez tartozó száma a legjobb, míg a záró nulla tagságértékéhez tartozó száma az alacsony megbízhatóságú becslést (a 3. ábra szerinti, p, q, r értékek). A fenti közelítésünk során csak a póruskitöltő vízzel számoltunk. Mivel az adott térrész teljes hőmennyiségének 98%-át a kőzetváz képviseli (Nádor, Zilahi-Sebess 2016), így nem várható a hőmérséklet csökkenése feltételezve, hogy a teljes kőzettérfogat egyformán aktív, és nincs kitüntetett konvekciós áramlás, ami miatt rövidzár jönne létre a termelő és visszasajtoló kút között. A fenntartható módon kivehető energiát a visszatöltődési tényezővel (recovery factor=R) vesszük figyelembe. A kivehető energia mennyiségét (Q) az alábbi összefüggéssel számoljuk:

$$Q[J] = Ter\ddot{u}let * Vastags\acute{a}g * porozit\acute{a}s[kg] * v\acute{i}z\ fajh\ddot{o}[J/kg * K] * \Delta T[K] * R$$

3 Sarkad térségi geotermikus rendszer értékelése

3.1 A mintaterület bemutatása

Tanulmányunkban Sarkad térségének geotermikus energiavagyonának valószínűségi alapú számítását végeztük el úgy, hogy egy elképzelt geotermikus projektet definiáltunk és megadtuk ennek UNFC-2009 kód szerinti besorolását. Az értékeléshez a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat által a koncessziós pályázatokhoz készített, adott területre vonatkozó koncessziós jelentését (MBFSZ honlap), illetve a tanulmány elkészítéséhez a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálattól megvásárolt adatokat (MBFSZ Adattár) illetve irodalmi adatokat használtuk fel.



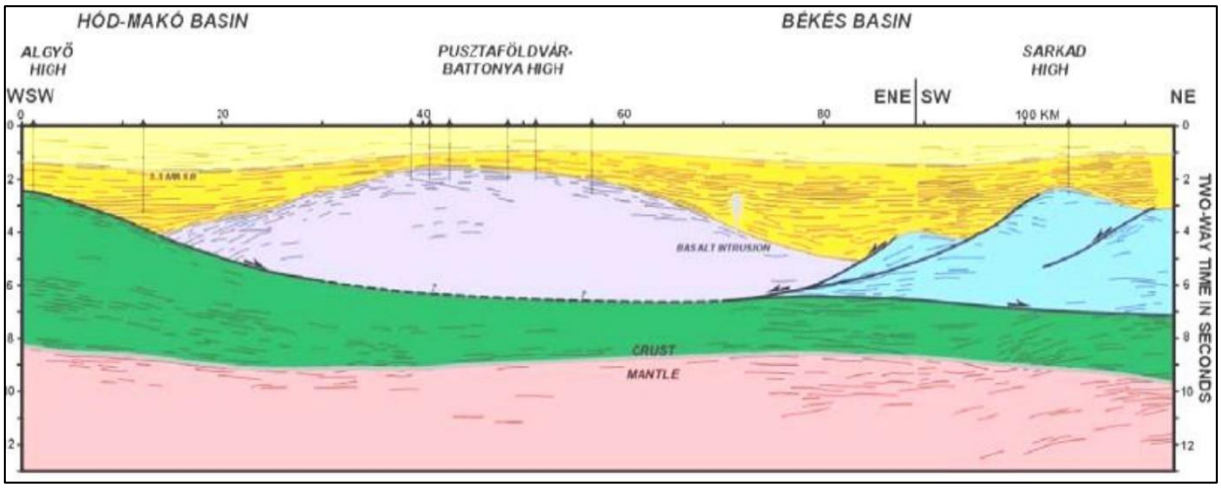
2. ábra. Sarkad térségének prekainozoos térképe; kék vonal: geotermikus koncesszió javasolt területe (Haas et al. 2010)
TISZAI-Főegység: 2 – szenon flis (Körösi F.); 5 – alsó-kréta platform fáciesű mészkő (Nagyharsányi Mészkő F.); 6 – alsó-kréta bázisos vulkanitok és ezek áthalmozott tengeri üledékei; 7 – alsó-kréta pelágikus márga, mészkő; 9 – középső-jura–alsó-kréta pelágikus mészkő, tűzköves mészkő (Óbányai Mészkő F., Fonyászói Mészkő F., Kisújbányai Mészkő F., Márévári Mészkő F.); 13 – középső-triász sekélytengeri sziliciklasztos és karbonátos összlet; 14 – alsó-triász folyóvizi és delta fáciesű sziliciklasztos képződmények, 16 – mezozoos képződmények tagolás nélkül; 24 – kristályos kőzetek tagolás nélkül (Sarkadke-resztúri Komplexum); 88 – nem megfelelően értékelhető vagy ismeretlen medencealjzat; Vastag lila vonal, pontokkal: első-rendű mezozoos takaró; vastag piros vonal, tüskékkel: másodrendű kainozoos normálvető

Sarkad térségének 2500 méternél mélyebb potenciális geotermikus rezervoárjait a variszkuszi aljzat granitoid, vagy metamorf kőzeteinek, illetve a mezozoos (elsősorban alsó-kréta) képződmények repedezett, zúzott, karsztos zónáiban találjuk. EGS technológia alkalmazása esetén az aljzatban különböző mélységben várható metamorfitok, és egyéb természetes állapotban alacsony porozitású kőzetek is alkalmasak lehetnek geotermikus energia termelésére. A prekainozoos medencealjzat-mélység változékony, várhatóan kb. -2500 és -5500 m körüli (4. ábra). A terület egy részét alkotó kristályos aljzat belső szerkezete, és így a variszkuszi szerkezetalakulás jellege, a tágabb környezetben mélyült fúrások alapján csak nagy vonalakban rekonstruálható. Az alpi szerkezetalakulás folyamán lejátszódó takaróképződés és pikkelyeződés eredményeképpen alakult ki a nagyszerkezeti egység északkelet–délnyugati irányú övezetes elrendeződése. Az alpi orogenezis neoalpi fázisa során keletkezett a mai szerkezeti rendszer. A vizsgált területet is érintő utolsó markáns kollízióra a középső-kréta végén, késő-kréta elején került sor, amikor a Tiszai-nagyszerkezeti egység déli részén a Békés–Codrui egység dél felől takaróként rátolódott a Villány–Bihari egységre. Ez a takaróhatár (4. ábrán vastag lila vonallal jelölve) a vizsgált terület ÉNy-i részén húzódik, ahol a variszkuszi kristályos komplexum rátolódik az alsó-kréta Nagyharsányi Mészkő Formációra. Egy kainozoos szin-rift tektonika elem – egy nagyjából K–Ny-i irányú másodrendű nor-málvető – húzódik keresztül a terület középső részén. Ettől a vetőtől D-re az alaphegységi képződményekről nincsenek adatok, nem mélyült prekainozoos képződményeket elérő fúrás.

Az DNy–ÉK-i irányú PGT–4 (5. ábra) mélyszeizmikus szelvény bemutatja a koncesszióra javasolt terület tágabb környezetét, a szelvény K-i végén keresztezi a koncesszióra javasolt területet: a Sarkadi-(Sarkadkeresztúri)-maximumot képezi le (Tari et al. 1999). A terület meghatározó szerkezeti képének kialakulása a Pannon-medence miocén kori képződésének szin-rift fázisában kezdődött. A több ezer méteres süllyedés jelentős része azonban már később, az ún. poszt-rift fázisban zajlott le. Ennek eredményeképpen keletkeztek a Pannon-tóban lerakódott nagy vastagságú, jelentős részben turbiditekből álló összletek.

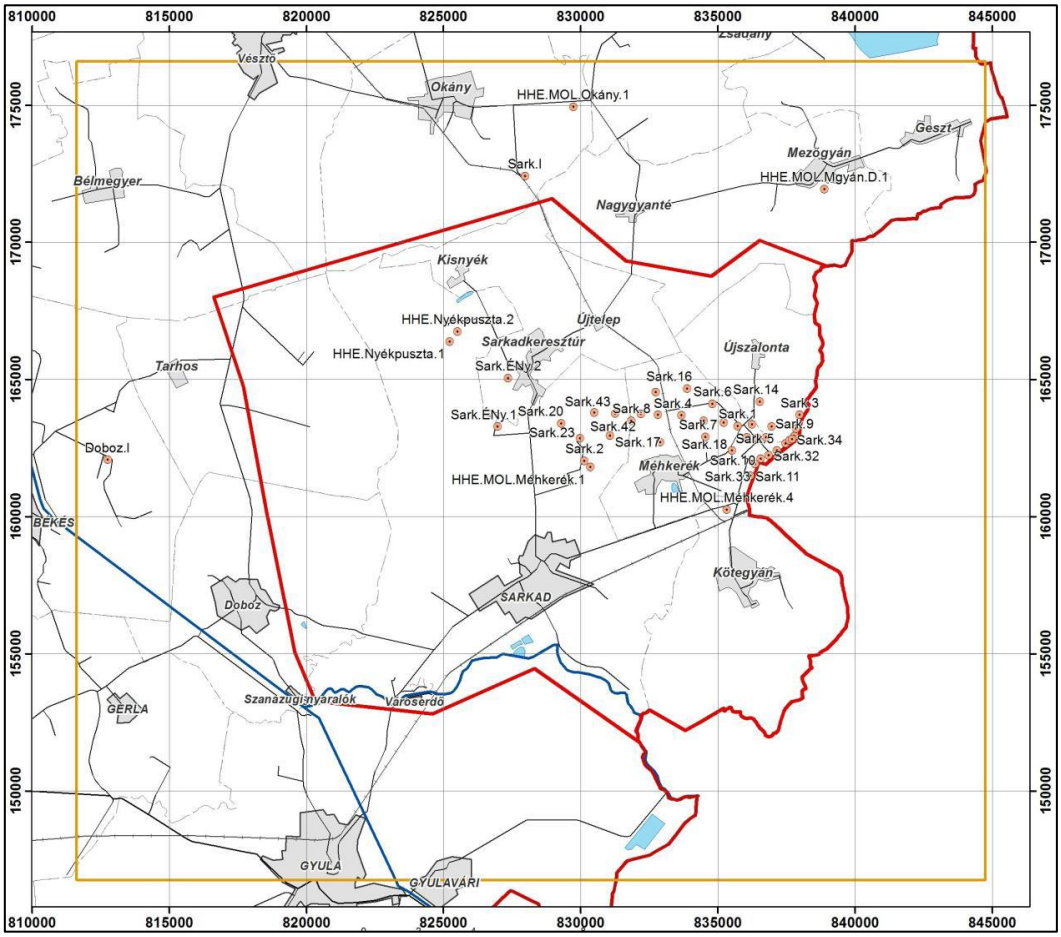
A tanulmányozott terület tágabb térsége földrengés szempontjából kis-közepes veszélyeztetettségű. A koncesszióra javasolt területtől kb. 20 km-re NyDNy-ra fekvő Békés városa környékén 1978. június 22-én észlelt, a Richter-skála szerint 4,5 erősségű földrengés volt ezen a vidéken az eddigi legnagyobb földrengés, melyet számos utórezgés (legerősebb 3,8) követett még heteken, hónapokon át (Szegfű 2013)

A vizsgált terület környezetében található 2500 métert meghaladó mélységű fúrások a 4. ábrán láthatók. A továbbiakban csak azokkal a képződményekkel foglalkozunk, amelyek a tárgyi területen alkalmasak lehetnek legalább 130°C-os termálvíz termelésre, a rendelkezésre álló Doboz-I, Sark-5, Sark-ÉNy-1, Sark-ÉNy-2 kutak adatai alapján.



3. ábra. PGT–4 mélyszeizmikus szelvény, a szelvény jobb oldalán található Sarkad high – Sarkadkeresztúri-maximum (Tari et al. 1999)

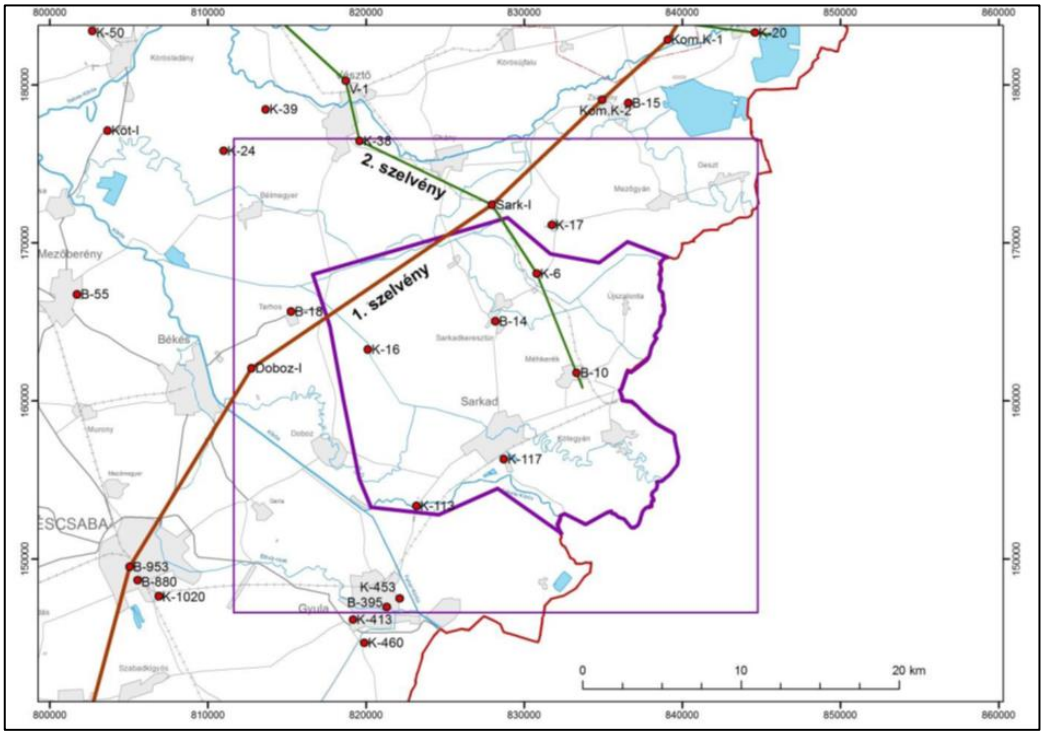
.



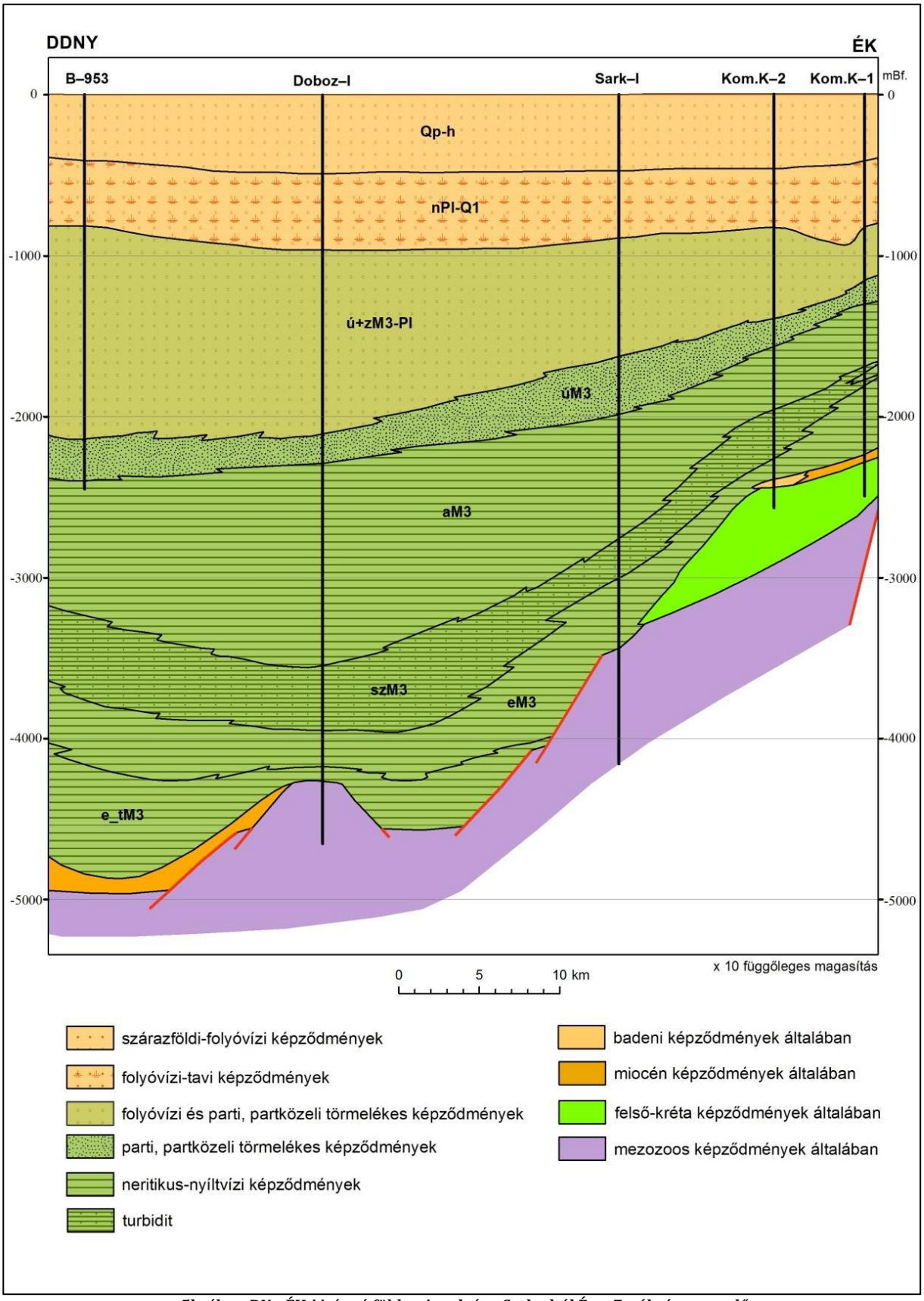
4. ábra. Sarkad környezetében a 2500 méternél mélyebb fúrások helye (MBFSZ Adattár)

Sarkad tágabb környezetében korábban nagy volumenű szénhidrogén kutatás történt, így Sarkadkeresztúr, Méhkerék és Újszalonta települések közötti területen (Kőrőssy 2005), melyek során a geofizikai mérések mellett számos fúrás mélyült. A fúrásokat a gravitációs és szeizmikus mérések adatai alapján a sarkadkeresztúri kutatási terület gravitációs maximummal jelentkező körzetére telepítették és a fúrások közül számos el is érte az alaphegységet, mindegyik a variszkuszi kristályos aljzatot tárva fel. Ezeken kívül még 2 fúrás (Doboz–I, Sark–I). tárt fel fiatalabb aljzati képződményt a Nagyharsányi Mészkő Formációt.

A vizsgált terület középső részén, nagyjából K–Ny-i csapásban található a Békés–Codrui egységhez tartozó Sarkadkeresztúri Komplexum. Legnagyobb vastagságban a Sarkadkeresztúr, Sark–2 fúrás harántolta 3244–3601 méter között, 357 méter hosszan. A Sarkadkeresztúri Komplexum a legkisebb kiterjedésű variszkuszi komplexum az Alföld kristályos aljzatában, K–Ny-i csapású, 20 km hosszúságú, 5 km szélességű gerinc, amelyet minden oldalról 4000 m-t meghaladó mélységű mélymedencék vesznek körül (Szederkényi 1998). Kőzettanilag különböző szintekig fejlődött migmatitokból, kevés ortoklász–mikroklingránitból, közbeékelődött staurolitos csillámpalából és blasztomilonitos gneiszből áll, amelyekben staurolit és andaluzit együttesen fordul elő, jelezve a kétütemű variszkuszi metamorfózis itteni meglétét. A másik, geotermikus energiatermelés szempontjából fontos képződmény a Nagyharsányi Mészkő Formáció, amely alsó-kréta platform fáciesű mészkő. ÉK–DNy-i irányú pásztáját két fúrás támasztja alá: a Doboz–I fúrás mely harántolta 4263–4387 méter között, valamint a vizsgált területtől É-ra a Sarkadkeresztúr Sark–I fúrás 3431–4102 méter között tárta fel. A formációra a területen szenon flis települ (5a. és 5b ábrák).



5.a. ábra. Az 5b. ábrán szereplő DNy-ÉK-i szelvény nyomvonala (MBFSZ honlap)



5b. ábra. DNy-ÉK-i irányú földtani szelvény Sarkadtól É-ra 7a. ábrán szereplő nyomvonal mentén (MBFSZ honlap)

A Nagyharsányi Mészkő alapvetően két részre tagolható: az alsó 50 méteres szakasza tarka (a domináns szürke mellett sárga, vörös, barna), néhány cm-es, dm-es agyagos-márgás betelepülésekkel tagolt mikrites alapanyagú, árapályövben képződött mészkő. E fölött települ a rétegsor uralkodó része, mely végig szürke színű, rudistás, orbitolinás, rosszul rétegzett, karbonát platformon keletkezett mészkő (Császár 1996). Vastagsága pontosan nem ismert, a Dunántúlon lévő Beremenden legalább 600 méter; a vizsgált terület 5 km-es környezetében a Doboz–I fúrás 124 méter hosszan tárta fel, míg a Sark–I fúrás 671 méter haladt a formációba sorolt képződményekben (7a. és 7b. ábra). A formáció kora a gazdag ősmaradvány tartalom alapján alsó–középső-kréta.

Rezervoárként leginkább a karbonátos formációk (Nagyharsányi Mészkő) jöhetnek számításba amennyiben hosszabb ideig felszíni hatásnak, tehát mállásnak és karsztosodásnak voltak kitéve. Ilyen helyzetekben néhányszor tíz, esetleg száz méteres vastagságban is lehet megnövekedett pórus- és repedés-térrel, valamint permeabilitással számolni. Másrészt a tektonikai hatások következtében kialakult repedezett, mállással nem érintett „üde" karbonátos részek, repedezett sziliciklasztos, vagy granitoid és metamorf képződmények rendelkezhetnek magasabb porozi-tás és permeabilitás értékekkel, illetve válhatnak rezervoárokká. A fúrások adatai szerint a metamorf összlet felső 150–200 m-es zónája sok esetben erősen repedezett, breccsásodott is.

Geotermikus projekt szempontjából a Nagyharsányi Mészkő felső repedezett, karsztosodott része jó vízadó képződménynek tekinthető. A miocén képződményekig bezárólag, azaz az aljzat tetőzónájáig, többnyire hidrosztatikus nyomás, míg alatta többnyire túlnyomás tapasztalható. A kristályos aljzat vizei többnyire NaCl-osak, az össz-sótartalom 7500-21500 mg/l között változik (Sark-5, Sark-ÉNy-1). Az alzati karbonátok vizének kémiai összetétele kedvezőbb $NaHCO_3$-os míg össz-sótartalma csak 2400-5400 mg/l közötti (Doboz-I).

A hőmérséklet is megfelelően magas, A Doboz-I fúrásban 4400 m-es mélységben 218°C-ot mértek. A geotermikus gradiens, a koncessziós jelentésben a területre eső fúrások hőmérséklet adatai alapján, átlagosan 44°C/km.

Fontos adat még a porozitás. A terület döntő részének aljzatát alkotó kristályos összlet jellemzően csak másodlagos repedésporozitással rendelkezik. 1%-nál nagyobb pórustérfogat csak a mállási kéregben van. Ez azonban a rátelepülő alapkonglomerátummal együtt viszonylag jelentős térfogatú és jó permeabilitású tárolóképződmény lehet. A tényleges mállási kéreghez kapcsolódóan a mélységgel csökkenő mértékben repedezett zónára lehet számítani. Ez alatt az üde kőzetben a permeabilitás szempontjából fontos repedésporozitás többnyire tektonika hatására jöhet létre. Nagy valószínűséggel az üde kőzetben a tektonikus zónák közelében 1% körüli természetes repedezettség feltételezhető.

A gránitot fedő karbonátok esetében nagyobb potenciálisan kioldható pórustérre akkor számíthatunk ha a kőzet szövet típusa szemcsevázú (grain-supported) azaz a nagyobb szemcsék olyan szerkezetet alkotnak, ami a rétegterhelést az üledékképződés folyamán hordozza és így tehermentesíti a póruskitöltő anyagot. Ilyen szövetnek számítanak az alábbi típusok (Haas 1998):

- törmelékes durvaszemcsés mészkő (kalcirudit)
- zátonymészkő (reef)
- ablakporozitás vagy madárszem szerkezet (fenestral porosity).

A mezozoos (elsősorban triász) platform fáciesű mészkövek általában potenciálisan porózus kőzetek, ami azt jelenti, hogy elvileg kioldható pórusterük van (gyakran biozátony porozitás). A platform mészkősorozatot lezáró mésziszap alapú üledék (kalcilutit) szöveti típusa ugyanakkor rendszerint iszapvázú (mud-supported), ami azt jelenti, hogy az iszap frakció korlátlanul tömörödhet, ami tömött porozitásmentes kristályos mészkő kialakulásához vezet. A tényleges porozitás nagysága attól is függ, hogy a kőzettest milyen távol van az aktív tektonikai zónáktól, illetve migráció útvonalába esett-e. A tektonizált zónáktól távol 2500 m alatt várhatóan jóval kisebb, 0–1% körüli mátrixporozitással25 számolhatunk.

Ez mesterséges eszközökkel fokozható. A porozitás mesterséges növelésénél figyelemmel kell lenni arra, hogy a feszültségviszonyok megváltoztatása kisebb, főként mikrorengéseket generálhat.

A triász karbonátos képződményre tervezünk egy potenciális geotermikus projektet Sarkad városától É-ra, a Sark-I fúrástól D-re. A rendelkezésre álló információk alapján a triász összlet várható mélysége 4000 m, a réteg hőmérséklete hozzávetőleg 185°C, így a kifolyó víz hőmérséklete 175 °C körül alakulhat.

3.2 A Sarkadi projekt UNFC-2009 kód szerinti készletszámítása

Olyan projektek esetén melyek előkészítési fázisban vannak és az adott rezervoárban még egyetlen projekt sem valósult meg csak E3 kategóriájú lehet. Mivel Sarkad térségében a jövőbeli piaci helyzetre vonatkozó reális feltevések alapján jelenleg nincs kilátás a gazdaságos kitermelésre és értékesítésre belátható időn belül, ill. a kitermelés gazdaságossága még nem határozható meg a szükséges információk hiánya miatt, ezért E3.3 kategóriába sorolandó.

Sarkad térségében a kitermelés megvalósíthatósága a korlátozott műszaki adatok miatt nem értékelhető, és a térségben az adott célképződményt még nem próbálták feltárni, tehát még be kell mutatni a projekt technológiailag megvalósítható ezért az F tengelyen a 4. kategóriába tartozik a projekt. A kutatási területen regionális geológiai vizsgálatok kedvező feltételek tárták fel a kedvező geotermikus feltételeket így a végső besorolás az F4.1 kategóriát adja.

A G tengely meghatározása során figyelembe kell venni, hogy csak a Doboz-I és a Sark-I kutak érték el a triász karbonátokat, és termelés azokból sem történt. A projekt helyszínén a célképződmény pontos mélysége nem ismert, tehát elsősorban közvetett bizonyítékon alapul a kitermelhető geotermikus energia mennyiségének meghatározása, így a számított készletek csak G4 kategóriájúak lehetnek.

A továbbiakban a G4.1, G4.2, G4.3 szerinti hőmennyiségeket a 4. fejezetben megadott egyenlet szerint számoljuk úgy, hogy térfogatot (tömegfluxus), porozitást, hőmérsékletet visszatöltődési tényezőt fuzzy számokkal adjuk meg. A Számításokhoz szükséges adatokat a „Sarkad geotermikus koncesszióra javasolt terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentés" (MBFSZ honlap) adatai és fúrási adatok alapján határoztuk meg. Az így megadott alapadatokat és a számítások eredményét a 2. táblázat tartalmazza. Mivel magas hőmérsékletekről van szó, számításunk során a kivett fluidumot 60°C-ig tekintettük hasznosíthatónak.

2. *táblázat. A feltételezett projekt UNFC-2009 kód alapján valószínűségi kategóriák szerint meghatározott hasznosítható hőmennyisége, az alapadatok feltüntetésével.*

Fuzzy szám	terület [km²]	vastagság [m]	porozitás [-]	hőmérséklet [°C]	Recovery factor [-]	hőmennyiség [PJ]
p (G.4.1)	12	30	0,01	160	0,09	**0,136**
q (G4.2)	15	40	0,02	175	0,1	**0,580**
r (G4.3)	27	70	0,04	180	0,12	**4,572**

Az adatok alapján látható, hogy a G-kategória vonatkozásában a legnagyobb nehézséget az adott „projekthez" tartozó rezervoár térrész lehatárolása jelentette, amely alapvetően határozza meg a kivehető hőmennyiséget, ami jelen esetben ez az adatok bizonytalansága másfél nagyságrend eltérést jelent! A 3. táblázatban a sarkadi feltételezett projekt számított paramétereit és a tengelyek alkategóriáit adjuk meg.

3. *táblázat. A feltételezett sarkadi projekt UNFC-2009 kód szerinti értékelésének paraméterei*

Helyszín	E tengely	F tengely	G4.1 készlet	G4.2 készlet (G4.2-G4.1)	G4.3 készlet (G4.3-G4.2-G.41)
Sarkad	*E3.3*	*F4.1*	*0,136 PJ*	*0,444 PJ*	*3,992 PJ*

4 Összefoglalás

Jelen dolgozatunkban a UNFC-2009 kód módszertanát, különösen annak geotermikus rendszerekre való alkalmazhatóságának sajátosságait mutattuk be. Értelmeztük az UNFC-2009 osztályozás alapját képező háromdimenziós értékelő rendszer tengelyeit, és azok alkategóriáit geotermikus projektek esetére. Ezt követően a sarkadi koncessziós területre feltételezett geotermikus projekt értékelését és kitermelhető geotermikus energia mennyiségét különböző valószínűségi szinteken. A bemutatott esettanulmánnyal hazai geotermikus erőforrások esetére elsők között alkalmaztuk a UNFC osztályozási rendszert.

5 Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem „Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén” című, az Innovációs és Technológia Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projektje részeként valósult meg.

6 Irodalomjegyzék

CSÁSZÁR G. (szerk.) 1996: Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Kréta. Budapest, Föld. Int. kiadványa, 162p.

HAAS J. 1998: Karbonátszedimentológia. ELTE Eötvös Kiadó

HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD GY. 2010: Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. Földtani Intézet kiadványa.

HORVÁTH F., MUSITZ B., BALÁZS A., VÉGH A., UHRIN A., NÁDOR A., KOROKNAI B., PAP N., TÓTH T.& WÓRUM G. 2015: Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. – Geothermics 53, 328-352

KISS K., BUJDOSÓ I., MILANKOVICH A., PÁPA A., SOÓS S.R, SZENTGYÖRGYI K., TÓTH Z., TÓTHNÉ MEDVEI ZS., VARGÁNÉ TÓTH I., TIRPÁK I. et al. 1999: Zárójelentés a 27. Paleogén medence DNy-i része területen végzett szénhidrogén-kutatási tevékenységről. FGBA T.20132

MBFSZ Adattár: Fúrásadatok (Doboz-I; Sark-5; Sark-ÉNy-1; Sark-ÉNy-2; Tura-D-1; Dány-1; Isaszeg-1; Viszák-1; Zalabaksa-1; Ortaháza-Ny-1)

MBFSZ honlap: https://mbfsz.gov.hu/vizsgalati-jelentes

NÁDOR A. 2016: A geotermikus energiavagyon nemzetközi osztályozási és jelentési rendszerei, harmonizációs lehetőségek és a hazai adaptáció első lépései. Földtani Közlöny, 146/2,123–134

NÁDOR A., ZILAHI-SEBESS L. 2016: Entering geothermal energy into the UNFC-2009 classification system: case studies of direct-use projects from Hungary. European Geothermal Congress, Strasbourg, France, 19-24 Sept. 2016 (extended abstract).

REZESSY G., SZANYI J., HÁMOR T. 2005: Jelentés a geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának előkészítéséről. Kézirat, Magyar geológiai Szolgálat Adattár. 85p

RYBACH L. 2010: The future of Geothermal Energy and Its Challenges. – Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia 2010, 1-4

SÁRI K., HORVÁTH Z., FODOR B., TRÖMBÖCZKI S., BIHARI GY, 2013: Az ENSZ fosszilis energiahordozó- és áaványi nyersanyagkészletre és -vagyonra vonatkozó osztályotási keretrendszere 2009. MFGI – MFBH – MFT kiadvány EGB energia sorozat 39.sz. 23p

SZANYI J. 2019: Geotermikus energia komplex hasznosítása – Habilitációs Dolgozat, SZTE 20p

SZANYI J., KOVÁCS B., 2010: Utilization of geothermal systems in South-East Hungary. – Geothermics, 39, 357-364

SZILÁGYI I. 2016: A szénhidrogének és a szilárd ásványi nyersanyagok vagyon- és készletértékelési módszertanának összehasonlítása. Földtani Közlöny 146/2, 299-312.

SZEDERKÉNYI T. 1998: A Dél-Dunántúl és az Alföld kristályos aljzatának rétegtana. *In* BÉRCZI I., JÁMBOR Á. (szerk.): Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana, 93–106.

SZEGFŰ K. 2013: Az évszázad földrengése volt http://www.szegfukatalin.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=51:azevszazad-foeldrengese-volt&catid=35:kedvenc-cikkeim&Itemid=30

TARI G., DÖVÉNYI P., DUNKL I., HORVÁTH F., LENKEY L., STEFANESCU M., SZAFIÁN P., TÓTH T. 1999: Lithospheric structure of the Pannonian basin derived from seismic, gravity and geothermal data. *In*: DURAND B., JOLIVET L., HORVÁTH F., SÉRANNE M. (eds.) The Mediterranean Basins: tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications, 156, 215–250.

UNECE 2016: Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to Renewable Energy Resources

ZILAHI-SEBESS L., ANDRÁSSY L., MAROS GY. 2008: Petrofizikai módszerfejlesztés. – ELGI, FGBA Adattár