

Geotermikus rezervoárok a Pannon-medence nyugati részén

Geothermal reservoirs in the western part of the Pannonian Basin

ROTÁR-SZALKAI ÁGNES¹, GÁL NÓRA¹, SZŐCS TEODÓRA¹, TÓTH GYÖRGY¹, ANDREJ LAPANJE²,
RADOVAN CERNAK³, GREGOR GOETZL⁴, GERHARD SCHUBERT⁴

¹Magyar Földtani és Geofizikai Intézet(MFGI),

²Geolosky Zavod Slovenie (GeoZS),

³Štátny Geologický Ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ),

⁴Geologische Bundesanstalt(GBA)

Kulcsszavak: geotermikus energia, rezervoár, termálvíz

Kivonat

A geotermikus energia- és a termálvíz-gazdálkodás alapja a potenciális geotermikus rezervoárok helyzetének és főbb jellegzetességeinek ismerete. A Transenergy projekt keretében végzett geotermikus kutatás során a Pannon-medence nyugati részén összegyűjtöttük az eddig leemlélyített termálkutak adatait, a jelenlegi hasznosításokat, valamint integrált földtani, vízföldtani és geotermikus modellezést végeztünk. A modellek eredményeinek figyelembe vételével meghatároztuk a, határokon átnyúló geotermikus rezervoárok elterjedését. A rezervoárokat kategorizáltuk, meghatároztuk főbb, elsősorban a hasznosítást befolyásoló jellemzőiket. Mindezen új eredmények elősegítik a kitermelhető hőkészletek becslését, a hasznosítások tervezéséhez további részletes kutatási területek kijelölését, valamint a mindennapi szakhatósági és döntéshozói munkát.

Keywords: geothermal energy, reservoir, thermal water

Abstract

The basis of geothermal energy- and thermal water management is the knowledge of the position and main characteristics of the potential reservoirs. In the frame of the Transenergy project all the data of the thermal wells and information about the present utilizations were collected. Geological, hydrogeological and geothermal models were developed to determine the position of the transboundary geothermal reservoirs. These reservoirs were classified in different categories and characterized mainly from utilization point of view. These new results support the better estimation of the geothermal potential, provide information for new research and utilization site delineations and help the everyday work of the authorities.

Bevezetés

A geotermikus energia — illetve annak hordozó közegei: a felszín alatti fluidumok — elhelyezkedését és részben mozgását a mozgató erők mellett elsősorban a földtani szerkezetek határozzák meg, függetlenül az országhatárok helyzetétől. Ezért a geotermikus energia-, illetve termálvíz-gazdálkodás során kiemelten kell kezelni az országhatárokkal osztott rezervoárokat.

A Pannon-medence nyugati részén, négy ország (Ausztria, Szlovákia, Szlovénia és Magyarország) területét érintve meghatároztuk és jellemeztük a geotermikus erőforrásokat,

hasznosítási lehetőségeiket, ennek jogszabályi kereteit, illetve ajánlásokat fogalmazunk meg a harmonizált geotermikus energia- és termálvíz-gazdálkodást érintő fontosabb kérdések megoldásaira. Mindezt az EU által támogatott, 2010–2013 között végrehajtott Transenergy projekt keretében, az érintett országok földtani intézetei közös munkájaként végeztük.

A Transenergy projekt keretében végzett integrált modellezés földtani-, vízföldtani és geotermikus modellek fejlesztését foglalta magába. Az egymásra épülő modellek közös vonása az országhatárok nélküli megközelítés, amely többszintű harmonizációs tevékenységen alapult. A modellek hozzájárultak a térség földtani, vízföldtani, és geoter-

mikus adottságainak pontosabb megismeréséhez és megértéséhez. Áttekintést adtak a teljes terület regionális földtani, vízföldtani és geotermikus adottságairól, jellemezték a regionális geotermikus, (összekapcsolt hő- és víz-) áramlási rendszereket, illetve ezek lehetséges kapcsolatait, bemutatták a végbemenő folyamatokat és lehetséges változásait.

A szomszéd országok szakembereivel közösen kialakított modelleredmények lehetővé tették az országhatárokon átnyúló 50 °C feletti hőmérsékletű geotermikus rezervoárok — termál víztartók — térbeli lehatárolását és jellemzését, amely a fenntartható, a szomszéd országokkal harmonizált geotermikus energia-, illetve termálvíz-gazdálkodás megvalósításához elengedhetetlen.

A kutatási terület bemutatása

Az úgynevezett szupreregionális modellek a projekt teljes területét magukba foglalták többek között a Pannon-medence nyugati részét, valamint a Bécsei-medencét is. A vizsgált részt az Alpok keleti pereme, a Kárpátok nyugati szegélye, a Dunántúli-középhegység, valamint Koralpe és Pohorje hegységek határolják. A felsorolt hegységi területek által közrezárt részt sziget-hegységekkel tagolt sík- és dombvidékek alkotják. A síkságok és domboságok alatt, a Pannon-medence részét alkotó három jelentősebb részmedence helyezkedik el: Grazi-medence, a Duna-medence és a Mura-Zala-medence (az északnyugati részen található Bécsei-medence mellett) (1. ábra).

A térségben igen elterjedt a geotermikus energia hasznosítása. A hasznosítások felmérése során a kifolyóvíz hőmérséklet és hasznosítás alapján közel 400 termálkutató azonosítottunk, amelyek többsége jelenleg is üzemel. Legelterjedtebb a balneológiai hasznosítás, de kisebb volumenben szinte minden hasznosítási forma (mezőgazdasági haszno-

sítás, közvetlen fűtési hasznosítás, energetikai hasznosítás) megtalálható a projekt területén (RMAN, KUMELJ 2011).

Ha a 25 °C-nál magasabb hőmérséklettel rendelkező kutakat vizsgáljuk, akkor 50 °C alatti kifolyóvíz hőmérséklettel rendelkező kutak a legelterjedtebbek, míg 80 °C-ot meghaladó hőmérsékletűt csak elszórtan találhatunk. A kutak különböző vízáadó összeteteket, (rezervoárokat) tárnak fel, melyek közül legelterjedtebb a felső-miocén (felső-pannoniai) porózus rétegekben és a karbonátos mezozoos képződményekben tárolt vizek hasznosítása.

Kategorizálás és lehatárolás

Az integrált modellezés keretében egymásra épülő földtani, vízföldtani, és geotermikus modellek kialakítására került sor. A 3D földtani modell fejlesztése a vízföldtani és a geotermikus modellek céljainak megfelelően történt. Fő feladata a vízföldtani és geotermikus szempontok alapján egységesen kezelhető képződmények, a hidrosztratigráfiai egységek elkülönítése és térbeli lehatárolása volt (MAROS et al. 2012). Megszerkesztésre kerültek a hidrosztratigráfiai egységek határoló felületei, és e felületek földtani kifejlődési térképei.

A vízföldtani modell meghatározta a felszín alatti vizek jelentősebb regionális áramlási rendszereit és ezek kapcsolatát. A modell információkat szolgáltatott a jelentősebb termálvíztároló képződményekre jellemző hidraulikus potenciálok alakulásáról, valamint az egyes víztároló összetetkek közötti vízforgalmakról (TÓTH et al. 2012).

A geotermikus modell keretében a termálkutakban, szénhidrogén-kutató fúrásokban és kutatófúrásokban végzett hőmérséklet-mérések alapján különböző mélységekre vonatkoztatott hőmérsékleti térképekből, izotermafelszíneket ábrázoló térképekből és geotermikus energiakészletre vonatkozó térképekből álló térképsorozat készült (GOETZL et al. 2012).

A geotermikus rezervoárok meghatározása a modellezés eredményeinek figyelembevételével, azok szintéziseként került sor. Mivel a Transenergy projekt elsősorban energetikai szempontokat helyezett előtérbe az 50 °C-nál nagyobb hőmérsékletű rezervoárok lehatárolását végeztük el. Első lépésben meghatároztuk az elkülöníthető rezervoártípusokat. Az elkülönítés a vízföldtani jelleg alapján történt. Ennek megfelelően négy típust különítettünk el:

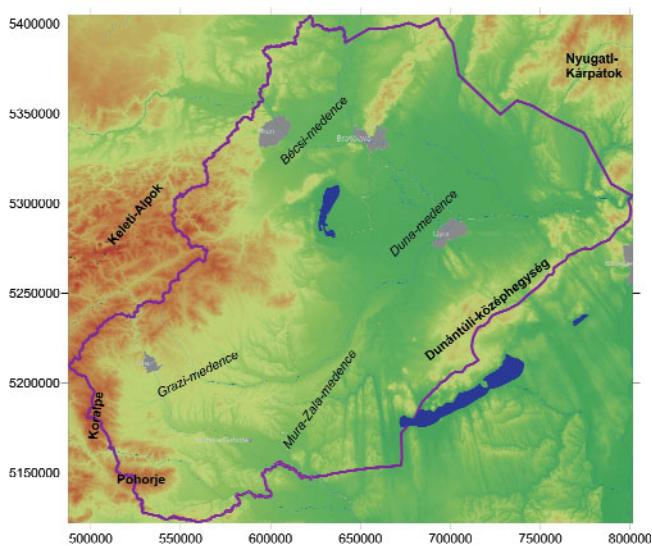
- porózus,
- kettős porozitású,
- repedezett kristályos,
- repedezett (részben karsztos) karbonátos.

A rezervoárokat három hőmérsékleti tartományba soroltuk:

- 50–100 °C,
- 100–150 °C,
- 150 °C felett.

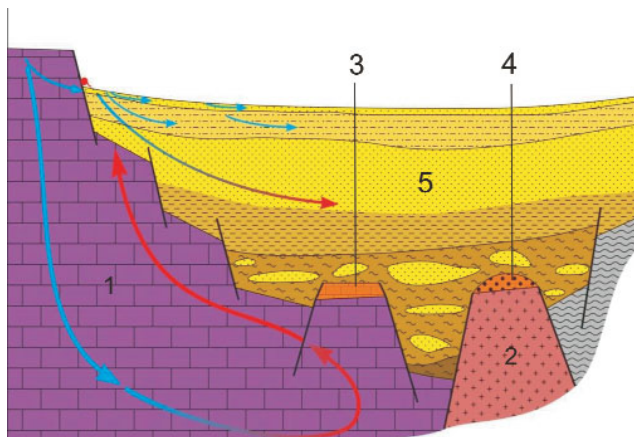
A hőmérséklet és a víz-geokémiai jelleg alapján további altípusokat különítettünk el.

Az elkülönítési szempontok együttes alkalmazásával,



1. ábra. Kutatási terület
Figure 1. Research area

és a földtani modell figyelembevételével öt fő rezervoár-típust (2. ábra), ezen belül 21 altípust (ROTÁRNÉ 2012) határoztunk meg.



2. ábra. Fő rezervoár típusok elvi sémája (LIEBE 2001 nyomán)

1 – alaphegységi, repedezett karbonátos (részben karsztos) rezervoár, 2 – alaphegységi, repedezett, kristályos rezervoár, 3 – miocén kettős porózitációs rezervoár, 4 – miocén porózus rezervoár, 5 – felső-pannóniai porózus rezervoár

Figure 2. Theoretical scheme of reservoir types (after (LIEBE 2001)

1 – basement fractured carbonate (partly karstic) reservoir, 2 – basement fractured crystalline reservoir, 3 – Miocene double porous reservoir, 4 – Miocene porous reservoir, 5 – Upper Pannonian porous reservoir

A fő rezervoárok különböző hőmérséklet-tartományai felső határfelületének és elterjedésének lehatárolása a földtani modell keretében szerkesztett földtani felületek, a geotermikus modell keretében elkészített izoterma felületek és a vízföldtani ismeretek kombinációjával történt. Amennyiben megfelelő földtani adat állt rendelkezésre hasonló módszerrel meghatároztuk a rezervoárok fekvő felületét is. Adathiány esetén földtani ismereteink és tapasztalataink alapján becslést adtunk a rezervoárok vastagságára.

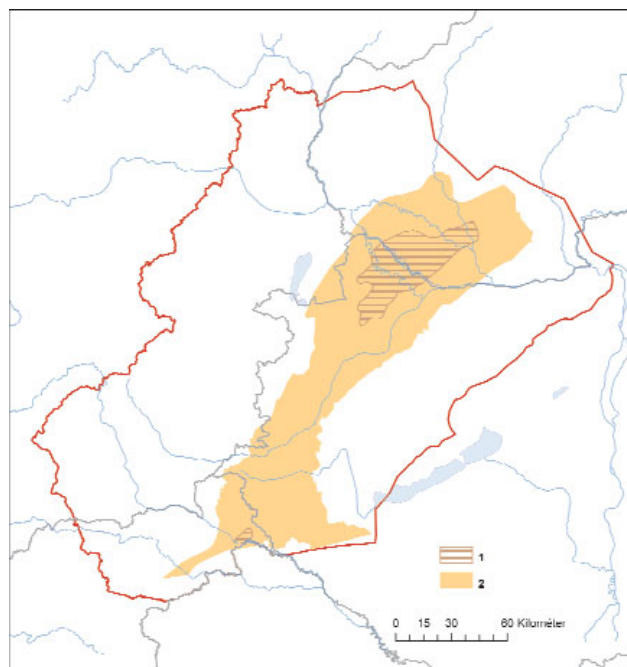
Pannóniai porózus rezervoárok

A Pannon-medence miocéntől kezdődő feltöltődése során helyenként 8000 métert is meghaladó üledékösszlet keletkezett. A feltöltődési ciklus második részében egy nagyjából ÉNy–DK irányba progradáló folyóvízi delta-rendszer üledékei rakódtak le, (BÉRCZI, PHILLIPS 1985, JUHÁSZ 1994) melyek összvastagsága helyenként meghaladja a 2500 métert. Ez a nagy vastagságú medencekitöltő összlet alkotja az egyik legfontosabb termálvíztárolót. A felső-miocénüledékek alsó részén lévő beltengeri-tavi alsó-pannóniai rétegek döntően agyag, homokos agyag összetételűek, ezáltal regionális vízzárónak tekinthetők. A delta-folyóvízi felső-pannóniai üledékek homok-, homokos agyag-, agyagos homokrétegek váltakozásával épülnek fel. A különböző szemcseméretű rétegek változékonyságából adódóan a teljes felső-pannóniai összlet regionális méretekben erős anizotrópiával jellemezhető. Bár az agyagos, márgás rétegek permeabilitása két-három nagyságrenddel kisebb a homokos rétegekhez viszonyítva, a lencsés ki-

fejlődések miatt a homokos rétegek között mégis van vertikális hidraulikus kapcsolat (az anizotrópia mértéke — a horizontális és vertikális szivárgási tényező hányadosa — helyenként az 5000-t is meghaladhatja), így a teljes összletet azonos hidrosztratigráfiai egységbe soroltuk a jelenlegi regionális értékelésünknel. A felső-pannóniai rétegsoron belül a legjobb termálvíztároló rétegeket a progradáló delta-front környezetben lerakódott üledékek alkotják. Ezek az 50–300 m vastag jó vízvezető tulajdonsággal rendelkező homoktestek nagy területen egymással kapcsolatban állnak.

Mindemellett figyelembe kell venni az említett medencekitöltő üledékek esetében, hogy azok porozitása és permeabilitása a mélységgel csökken, legfőképp a kompaktáció hatására. A vízvezető-képesség értéke viszont nem csökken olyan mértékben, mint a permeabilitás, mivel a pórusvizek viszkozitása a hőmérséklet növekedésével jelentős mértékben csökken.

A mélymedencében elfoglalt helyzetéből adódóan a felső-pannóniai rezervoárok hőmérséklete nagy területen meghaladja az 50 °C-ot (3. ábra). Az 50–100 °C hőmérsékletű altípusba tartozó rezervoár egy ÉK–DNY irányban elnyúlt, egybefüggő terület, amely magába foglalja a Dunamedencét és a Mura–Zala-medencét. A rezervoár felső határfelülete –400 – –1000 m mélységtartományban változik. A felső-pannóniai rezervoár egységes hidraulikai rendszert képvisel, amely közvetett kapcsolatban van az utánpótlódási területekkel. Ennek megfelelően alakul a rezervoárban tárolt víz geokémiai jellege is. A regionális áramlási rendszernek ebben a mélységtartományában a víz



3. ábra. Felső-pannóniai porózus rezervoárok

1 – felső-pannóniai rezervoárok 100–150 °C, 2 – felső-pannóniai rezervoárok 50–100 °C;

Figure 3. Upper Pannonian porous reservoirs

1 – Upper Pannonian reservoirs 100–150 °C, 2 – Upper Pannonian reservoirs 50–100 °C

kőzet kölcsönhatások következtében nátrium-hidrogénkarbonátos jellegű, viszonylag kis összes oldottanyag-tartalmú vizek a jellemzőek. Az altípus a tárolt víz kémiai összetétele alapján tovább tagolható. Az északi részen a felső-pannóniai képződmények vékonyabbak, de a homokos rétegek gyakrabban ismétlődnek. A terület vízkémiai szempontból is kissé eltérő, az összes oldottanyag-tartalom átlagos értéke meghaladja az 5000 mg/l értéket. A déli területet relatíve nagyobb vastagságú, de a homokos víztároló rétegek ritkábbak. A tárolt víz összes oldottanyag-tartalma itt 1100–5000 mg/l értékek között változik.

A felső-pannóniai képződményekben 100 °C-ot meghaladó hőmérséklet főleg a Duna-medence központi részén fordul elő, illetve a Mura–Zala-medence területén, a horvát országhatárhoz közel, kisebb foltban jelenik meg (3. ábra). E rezervoár-altípus vízkémiai jellemzőiről csak kevés információval rendelkezünk.

Miocén rezervoárok

Miocén rezervoárok alatt a továbbiakban a pannóniainál idősebb miocén rendszereket értjük.

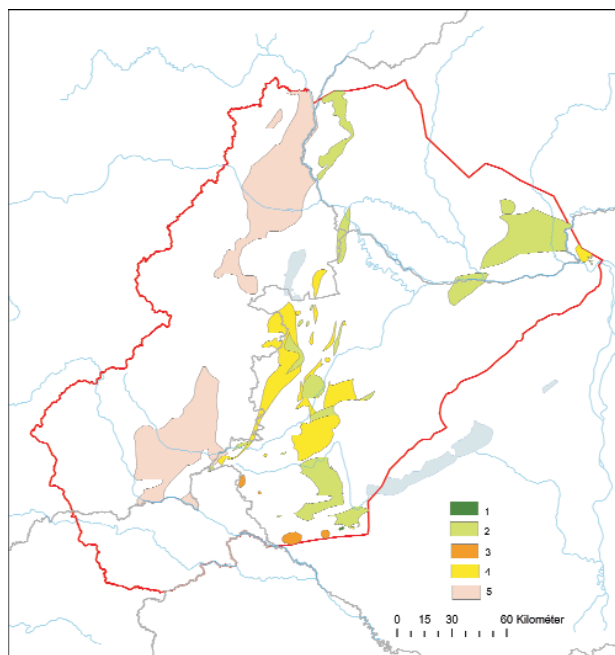
A neogén extenziós feszültségtérben a gyors sülyedés hatására mélymedencékben lerakódott, és a tektonikai mozgások során kiemelt helyzetűvé vált aljzati rögök térségében változatos tengeri-szárazföldi, heteropikus fáciesű üledékek rakódtak le. Az ismétlődő transzgresszió következtében vastag finomszemcsés mélytengeri rétegsor, illetve vékonyabb sekélytengeri, változó karbonáttartalommal rendelkező sziliciklasztos összletek keletkeztek. Ennek megfelelően a fúrásokkal és termálkutakkal feltárt rezervoárok elsősorban medenceperemi helyzetűek, illetve az aljzat kiemelkedéseikhez kapcsolódnak.

A miocén üledékképződés kezdeti szakaszában nagy területeken durva szemcsés üledékek (konglomerátum, homok, homokkő, metamorf és karbonátos szemcsékből álló breccsa) rakódtak le. Az összlet jórészt porózus termálvíztárolónak tekinthető, amely gyakran hidraulikus kapcsolatban áll az aljzati rezervoárral.

A legfontosabb miocén víztárolók a badeni és szarmata sekélytengeri, karbonátos rétegek. A karbonátos törmelékből, helyenként biogén mészkőből álló képződmények vízföldtani szempontból kettős porozitású rezervoárnak tekinthetők. Meg kell jegyeznünk, hogy a fúrási rétegsorok alapján az összletekben a porózus, intergranuláris jelleg dominál a repedezett, esetenként karsztos repedezett jelleggel szemben. A badeni rezervoárt alkotó rétegek vastagsága körülbelül 10–60 m, a szarmata rétegeké körülbelül 50–120 m között változik. Az ennél vastagabb badeni rétegsorban már a medencebelseji agyagos üledékek dominálnak.

Néhány ismert (termál kutakkal feltárt) miocén rezervoárt a földtani adatok alapján nem lehet egyértelműen vagy az egyik, vagy a másik kategóriába sorolni, ezért ezeket külön altípusba soroltuk (4. ábra).

A miocén rezervoárok hőmérséklete medence peremi, illetve medencebéli kiemelt helyzetűkből adódóan álta-



4. ábra. Miocén rezervoárok elterjedése

1 – miocén kettős porozitású rezervoárok 100 °C felett, 2 – miocén kettős porozitású rezervoárok 50–100 °C, 3 – miocén porózus rezervoárok 100 °C felett, 4 – miocén porózus rezervoárok 50–100 °C, 5 – miocén rezervoárok nem besorolt típus

Figure 4. Miocene reservoirs

1 – Miocene double porous reservoirs above 100 °C, 2 – Miocene double porous reservoirs 50–100 °C, 3 – Miocene porous reservoirs above 100 °C, 4 – Miocene porous reservoirs 50–100 °C, 5 – Miocene non-classified reservoirs

lánban 50–100 °C közötti. Csak kisebb foltokban ismert 100 °C-ot meghaladó miocén rezervoár.

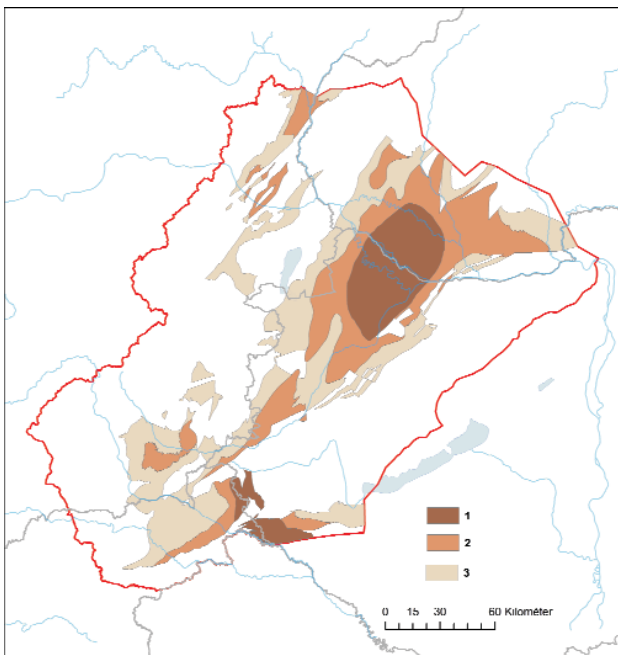
Alaphegységi repedezett, kristályos rezervoárok

A Pannon-medence nyugati része bonyolult földtani felépítésű (MAROS et al. 2012). Az egymásra tolódott tektonikai egységek a terület nyugati részén az Alsó- és Felső-Ausztrálpai-takarórendszer és a Penninikum változó mértékű metamorfózist szenvedett paleozoos és mezozoos kristályos képződményei alkotják. A medencealjzatot északon a Nyugati-Kárpátok takarórendszere, a délkeleti részen pedig a Dunántúli-középhegység mezozoos képződményei képviselik.

A kristályos medencealjzat egymásra tolódott takarórendszereit helyenként normál vetők tagolják. Bár vízföldtani szempontból a kristályos alaphegységi képződmények vízzárónak tekinthetők, lokálisan repedezett víztároló rendszerek alakulhattak ki, főleg a felső mállott zónában. Az alaphegységi rezervoárok döntő része az alaphegység felső néhány száz 10, esetenként 100 méter vastagságú mállottabb, repedezettebb, esetenként karsztosabb zónájában található, melyhez kapcsolódhatnak az alaphegységben belüli permeabilisabb tektonikus zúzott zónák, illetve az alaphegységre közvetlenül települő, jobb permeabilitású bazális (porózus,

vagy kettős porozitású) üledékes rezervoárok. E víztárolók területi lehatárolása meglehetősen bizonytalan, csak részletes geofizikai vizsgálatokkal lehetséges. Figyelembe véve az alaphegységi rezervoárok bizonytalan helyzetét, a teljes kristályos alaphegységi összletet potenciális rezervoárnak tekintettük, ahol az alaphegység felszínének hőmérséklete meghaladta az 50 °C-ot. Az alaphegységi képződmények nagy mélységéből adódóan három különböző rezervoár-altípust különítettünk el a várható hőmérséklet alapján (5. ábra).

Az 50–100 °C hőmérsékletű zóna a mélymedencék peremén helyezkedik el, elválasztva a Duna-medencét és a Mura–Zala-medencét. A hőmérséklet a medence belsejében nagy területen meghaladja a 100 °C-ot, a központi részeken pedig a 150 °C-ot is (5. ábra).



5. ábra. Aljzati repedezett kristályos potenciális rezervoárok elterjedése

1 – aljzati repedezett, kristályos rezervoárok 150 °C felett, 2 – aljzati repedezett, kristályos rezervoárok 100–150 °C, 3 – aljzati repedezett, kristályos rezervoárok 50–100 °C

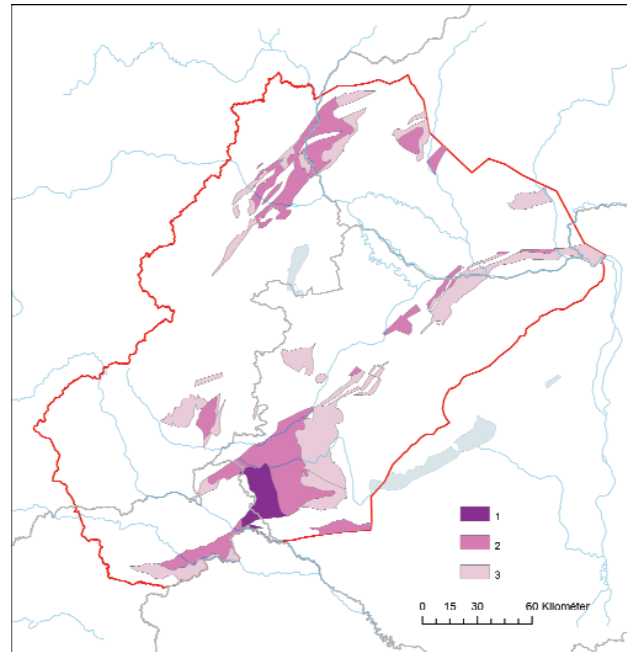
Figure 5. Basement crystalline potential reservoirs

1 – basement crystalline reservoirs above 150 °C, 2 – basement crystalline reservoirs 100–150 °C, 3 – basement crystalline reservoirs 50–100 °C

Karbonátos repedezett (részben karsztos) alaphegységi rezervoárok

Az ALCAPA-takarórendszer és a Grazi-paleozoikum nem metamorf képződményei karbonátos, repedezett, alaphegységi víztároló rétegeknek tekinthetők. A rezervoárok megjelennek a Bécsei-medencében a Felső-Austroalpi-takarórendszer elemeiként, a Grazi-paleozoikum részeként, illetve a Dunántúli-középhegység mezozoos vonulatának medencében folytatódó részeként. A karbonátos összlet változó mértékben karsztosodott, így vízvezető képessége

is széles határok között változik. A medencében elfoglalt helyzetük alapján a rezervoárok hőmérséklete mindhárom hőmérsékleti tartományban megtalálható, de csak ritkán haladja meg a 150 °C-ot (6. ábra). A karbonátos rendszerek-



6. ábra. Repedezett karbonátos (részben karsztos) rezervoárok elterjedése

1 – aljzati repedezett karbonátos rezervoárok 150 °C felett, 2 – aljzati repedezett karbonátos rezervoárok 100–150 °C, 3 – aljzati repedezett karbonátos rezervoárok 50–100 °C

Figure 6. Fractured carbonate (partly karstic) reservoirs

1 – fractured carbonate reservoirs above 150 °C, 2 – fractured carbonate reservoirs 100–150 °C, 3 – fractured carbonate reservoirs 50–100 °C

nél is az alaphegység felszínközeli részei azok, amelyek rezervoárként elsősorban számításba vehetők, ezért a hőmérsékleti adatok itt is erre a részre vonatkoznak.

Jellemzés hasznosítási szempontok alapján

A kijelölt potenciális rezervoárokat elsősorban a hasznosításukat elősegítő szempontok alapján jellemeztük. A rezervoárok mélysége az egyik legfontosabb információ a hasznosítás tervezése, a geotermikus energia, illetve termálvíz kinyerése szempontjából. Ennek támogatására meghatároztuk a rezervoár tetőszintjének minimális és maximális értékét.

A kinyerhető geotermikus energia, illetve termálvíz mennyiségét a rezervoárok vízföldtani jellegével (porózus, kettős porozitású, karsztos és repedezett), és utánpótlódási viszonyaival jellemeztük. Meghatároztuk, hogy az egyes rezervoárok regionális gravitációs áramlási rendszer részeit alkotják-e, avagy korlátozott utánpótlással rendelkező

félíg zárt, vagy utánpótlás nélküli teljesen zárt rendszerek.

A termálvizek kémiai összetétele, a felszín alatti víz-áramlás során, a víz–kőzet kölcsönhatások eredményeként is változik. A hasznosítások szempontjából lényeges elemek: a kitermelt termálvíz vízkémiai jellege, illetve a várható összes oldottanyag-tartalma, amelyeket a rezervoárok jellemzése során figyelembe vettünk.

A hasznosítások lehetséges formáit tekintetbe véve megállapítottuk, hogy a Transenergy projekt területén lehetséges hasznosításokat a bináris geotermikus erőművek, közvetlen fűtés, illetve a balneológia képviselik. A hasznosítások áttekintése keretében a fenntartható energiahasznosítás alapját jelentő visszajuttatási lehetőségeket is meghatároztuk a rezervoárok jellemzése során (ROTÁRNÉ 2012).

Következtetések

A kutatás keretében öt fő rezervoár típust (pannóniai porózus rezervoárok, miocén porózus rezervoárok, miocén kettős porozitású rezervoárok, alaphegységi repedezett, kristályos rezervoárok, karbonátos repedezett (részben karsztos) alaphegységi rezervoárok) határoztunk meg. A földtani-, vízföldtani és geotermikus modellek kialakítása alapján kategorizáltuk és lehatároltuk az elkülönített 21 rezervoár-altípus elterjedési területét.

A különböző típusú modellek és a rezervoár-lehatárolás méretaránya (1:500 000) nem teszi lehetővé geotermikus hasznosítás részletes tervezését, de tájékoztat a további perspektivikus kutatási lehetőségekről a Pannon-medence nyugati részén, a Transenergy projekt területén. A rezervoárok hasznosítást figyelembe vevő jellemzése információkat szolgáltat a potenciális rezervoárok vízföldtani, vízkémiai jellegéről és előre vetíti a hasznosítás során várható peremfeltételeket.

Irodalom — References

- BÉRCZI, I., PHILLIPS, R. L. 1985: Processes and depositional environments within deltaic-lacustrine sediments, Pannonian Basin, Southeast Hungary. — *Geophysical Transactions* **31**, 55–74.
- GÖTZL, G., ZEKIRI, F., LENKEY, L., RAJVER, D., SVASTA, J. 2012: Summary Report: Geothermal models at supra-regional scale. — <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>
- JUHÁSZ, GY. 1994: Magyarországi neogén medencerészek pannóniai s. l. üledéksorának összehasonlító elemzése (Comparison of the Pannonian s.l. sedimentary successions of the Neogene sub-basins in Hungary). — *Földtani Közöny* **124**, 341–365.
- LIEBE P. 2001: Termálvízkészleteink hasznosításuk és védelmük. — OKKP Kiadvány, Tájékoztató, KvVM Budapest, www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok
- MAROS GY., BARCIKAYNÉ SZEILER R., FODOR L., GYALOG L., JOCHA-EDELÉNYI E., KERCSMÁR ZS., MAGYARI Á., MAIGUT V., OROSZ L., PALOTÁS K., SELMECZI I., UHRIN A., VIKOR ZS., ATZENHOFER B., BERKA R., BOTTIG M., BRÜSTLE A., HÖRFARTER C., SCHUBERT G., WEILBOLD J., BARÁTH I., FORDINÁL K., KRONOME B., MAGLAY J., NAGY A., JELEN B., LAPANJE A., RIFELJ H., RIŽNAR I., TRAJANOVA M. 2012: Summary report of Geological models of Transenergy project. — <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>
- RMAN, N., KUMELJ Š. 2011: Utilization maps. Transenergy project report. — <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>
- ROTÁR-SZALKAI Á. 2012: Evaluation of potential demonstration sites by outlining geothermal reservoirs above 50 °C. Report of the Transenergy project. — <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>
- TÓTH GY., ROTÁR-SZALKAI Á., KERÉKGYÁRTÓ T., SZÓCS T., GÁSPÁR E., LAPANJE A., RMAN N., CERNAK R., REMSIK A., SCHUBERT G. 2012: Summary report of the supra-regional hydrogeological model. — <http://transenergy-eu.geologie.ac.at>