

# A REGIONÁLIS PÓRUSNYOMÁSVISZONYOK JELENTŐSÉGE A TERMÁLVÍZ FELTÁRÁSÁBAN ÉS A KÉSZLETEK MEGÚJULÁSÁBAN

## SIGNIFICANCE OF REGIONAL PRESSURE CONDITIONS IN THERMAL WATER EXPLORATION AND THE REJUVENATION OF GEOTHERMAL RESOURCES

Mádlné Szőnyi Judit

PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest  
szjudit@ludens.elte.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánkban megfigyelhető a felszín alatti fluidumokkal és hasznosításukkal foglalkozó jogszabályok összehangolatlansága. A Pannon-medencében a vízfogó és vízvezető képződmények összefüggő rendszerében a termálvíztározó a vízfogók és szerkezeti elemeken keresztül kölcsönhatásban áll az ivóvíztermelésre használt rétegekkel és a medence szénhidrogén-rezervoárjaival is. A tanulmány rámutat arra, hogy a rezervoármérnöki megközelítés mellett szükség van a medence különböző fluidumai hidraulikai összefüggéseinek megértésére ahhoz, hogy összehangoljuk a hasznosításukat. Ebben segíthet a regionális nyomásviszonyok megértése, amelyet a tanulmány a termálvíz feltárása és a készletek megújulása szempontjából értékel.

### ABSTRACT

The legislation for underground fluids of Hungary is diverse and not harmonized. In the aquifer and aquitard systems of the Pannonian basin the thermal water reservoirs are connected through aquitards and tectonic elements to 'drinking water' and hydrocarbon reservoirs. The study reveals the necessity of understanding the hydraulic interrelationships of the basin simultaneously with the existing reservoir-engineering approach, to plan the aligned utilization of different fluids. For this purpose we propose the approach of regional pressure conditions which is discussed from perspective of thermal water exploration and rejuvenation of the fluid.

**Kulcsszavak:** geotermia, folyadékpotenciál, regionális nyomásviszonyok, kockázat, jogi szabályozás

**Keywords:** geothermics, fluid potential, regional pressure regime, risk, legislation

## BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS

Amikor geotermikus kutatásba kezdünk egy-egy területen, először a természetes geotermikus rendszer (Dickson–Fanelli, 2013) elemeit kell számba vennünk, ezek a hő, a megfelelő tározókőzet (rezervoár) és a fluidum jelenléte. Ezek felmérése és ezek alapján a geotermikus potenciál értékelése segít megtalálni a geotermikus energia feltárására és kiaknázására leginkább megfelelő technológiát. Mára a rendszer valamely elemének hiányában annak mesterséges pótlása is lehetséges (például Enhanced Geothermal Systems). A geotermikus potenciál értékelése során – a mai gyakorlat alapján – feltételezik, hogy megfelelő vízvezető képességű vagy permeabilitású tározókőzet (például homokkő vagy mészkő) esetén a geotermikus fluidum is rendelkezésre áll.

Gondot okozhat, ha az alkalmazott koncepcionális modellünk és a „készletek működése” nincs összhangban (Lovekin, 1998). A geotermiában használatos, előzőekben vázolt modell a litológia alapján feltételezi elegendő pórusfluidum rendelkezésre állását, azonban nem számol azzal, hogy a vizsgált rezervoár hidrogeológiai környezete és a terület fejlődéstörténete is befolyásolhatja azt. S bár kis valószínűséggel, de előfordulhat olyan helyzet, hogy egy előzetesen minden tekintetben (a rezervoár porozitása, permeabilitása és a várható hőmérséklet, magas geotermikus gradiens szempontjából) kiváló potenciálú helyen sem lesz sikeres a termálfeltárás. Maga a fogalom, a „termálfeltározó” kifejezés is megtévesztő abban az értelemben, hogy belőle a víz lokalizált (elkülönült) víztározóban való jelenlétére asszociálhatunk.

Feltehetjük a kérdést, hogy a jelenleg használt modellünk valóban leképezi-e a „készletek működését”? Több évtizede tudjuk, hogy üledékes medencékben, így a Pannon-medencében is, hidraulikailag összefüggő víztartó és vízfogó képződmények rendszerével számolhatunk. Ezekben a termálfeltározó nem kezelhető elkülönült egységként, ugyanis az a vízfogókon és szerkezeti elemeken keresztül kölcsönhatásban áll az ivóvíztermelésre használt rezervoárokkal és a medence szénhidrogénrendszerével is.

A fentiekből adódó problémák igen sokrétűek, amelyek az érvényben lévő törvényi szabályozásban is tükröződnek, a végrehajtásában pedig gondot okoznak. Az 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról mesterséges, 2500 m-es mélységhatárral választja el az alatta elhelyezkedő zárt geotermikus rendszereket és a fölötté lévő nyitott tározókat. A zárt rendszerben, kizárólag energetikai célra használt termálfeltározó visszasajtolása a törvény szerint kötelező, de ez csak a zárt tározókra vonatkozik. Megfigyelhető a felszín alatti vizekkel foglalkozó jogszabályok, valamint a geotermikus és szénhidrogén-koncesszióra vonatkozó törvények összehangolatlansága is, amire számos példát lehetne felsorolni. Megállapíthatjuk, hogy a Pannon-medencére vonatkozóan a csapadékból pótló-

dó<sup>1</sup> (nyitott) és nem pótlódó<sup>2</sup> (zárt) készletek tudományos értelmű elkülönítése medenceszinten és hidraulikai értelemben még nem történt meg.

### MEGKÖZELÍTÉS, CÉLOK

Következésképpen a lokális, ún. rezervoármérnöki közelítés mellett – amely a tározó termelése szempontjából nélkülözhetetlen – szükség van a felszín alatti régió fluidumai (felszín alatti víz – ivóvíz vagy termálvíz –, olaj, gáz) hidraulikai összefüggéseinek megértésére is ahhoz, hogy azok hasznosítását összehangoljuk. Ez pedig a lokális megközelítéstől fogalmi használatában és értelmezésében is elkülönülő, medenciléptékű közelítést igényel. Ebben kíván elmozdulást elérni az a Horizon 2020 projekt (ENeRAG, Excellency Network Building for Comprehensive Research and Assessment of Geofluids), mely 2018-ban indult az Eöt-vös Loránd Tudományegyetem konzorciumvezetésével a Milánói Egyetem és a Finn Földtani Intézet közreműködésével, és amely a témában együttműködést kezdeményez a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, az Országos Vízügyi Felügyelet, a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt., valamint geotermikus cégek bevonásával.

A medenciléptékű megközelítés igényli a „természetes geotermikus rendszer” előzőekben vázolt elemeinek medenceméretekből való megértését, kiegészítve azt a hidraulikai, azaz a víztartó és a vízfogó rétegek között fennálló összefüggések megismerésével. Jelen tanulmányban ezek közül csak a fluidumpotenciál-tér<sup>3</sup>, ezen belül is a regionális pórusnyomásviszonyok jelentőségével és értelmezésével foglalkozom. Tanulmányomban ennek értékelési módszereit mutatom be. Az elvek alkalmazásának lehetséges gyakorlatát is tárgyalom egy értékelési séma formájában, mely a geotermikus készletek megújulásával és az injektálás hidraulikai lehetőségeivel foglalkozik. Az elveket a Budai-termálkarszt és a Gödöllői-dombság tágabb környezete példáján szemléltetem.

<sup>1</sup> Csapadék beszivárgása útján a készletek pótlódása lehetséges.

<sup>2</sup> E készletek a kőzetváz és a fluidum rugalmas tulajdonságai révén termelhetők ki. Pótlódásuk a csapadékból nem lehetséges.

<sup>3</sup> A folyadékpotenciál a felszín alatti fluidum egységnyi tömegre eső összes mechanikai energiáját fejezi ki. Jelentősége, hogy eloszlása meghatározza a felszín alatti fluidumokra ható hajtóerőteret. A fluidumok a nagyobb potenciálú felől a kisebb potenciálú medencerészek felé áramlanak.

## NYOMÁSREZSIMEK ÉS A FLUIDUMPOTENCIÁL-TÉR MEDENCELEPTÉKŰ HIDRAULIKAI ÉRTÉKELÉSE

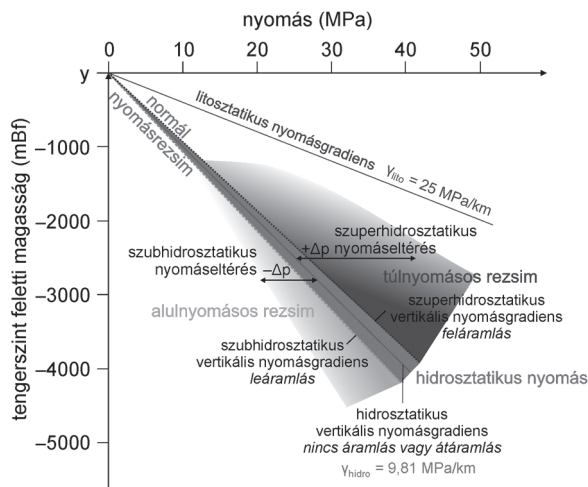
A medenceleptékű hidraulikai megközelítés módszertanát Tóth József (2009) könyve részletesen tárgyalja. Az elemzés alapját a kutak létesítéskori dokumentációi adják (kutatatok, kútkönyvek, víz- és hévízföldtani naplók: Egységes Országos Vetület (EOV) koordináták, a hidraulikai/nyomásmérési hely tengerszint feletti magassága, a hidraulikus emelkedési magasság, pórusnyomás, a kútban megnyitott szakasz teteje és alja, valamint ezek tengerszint feletti magassága). A medenceleptékű hidraulikai elemzés során a hidraulikus folytonosság elvét használjuk, amely a teljes vizsgált területet – a felszíntől a medence aljáig, beleértve a víztartókat és vízfogókat – egységesen kezeli és értékeli (Tóth, 1995; Tóth, 2009). A kutakban mért hidraulikus emelkedési magasság és pórusnyomás adatai alapján a folyadékpotenciál-teret vizsgáljuk.

Az alkalmazott módszerek közül ebben a tanulmányban csak a vertikális nyomásprofil és a potenciáltérképet említem. A nyomás–eleváció/tengerszint feletti magasság, azaz a  $p(z)$  profilokat néhány  $10 \text{ km}^2$ -en belül található, különböző szintre szűrőzött kutak pórusnyomására (vagy nyugalmi vízszintből<sup>4</sup> számolt pórusnyomására) vonatkozó adatokból szerkesztjük (1. ábra). Ezekből a fluidumáramlás vertikális komponensének nagyságára, irányára, valamint az adott szintben várható hidrosztatikus nyomástól való eltérés mértékére következtethetünk. Hidrosztatikus nyomásvizonyok fennállása esetén a függőlegesen lefelé irányuló nyomásnövekedés mértékét kifejező vertikális nyomásgradiens,  $\gamma = 9,81 \text{ kPa/m}$ . A vertikális nyomásgradiens a pórusfolyadék sűrűsége függvényében eltérő lehet, ezért a medenceleptékű értékeléshez egy viszonyító gradienst alkalmazunk. Jelen esetben a viszonyító gradiens: az édesvíz fajsúlya alapján ( $\gamma_{st}$ ). Ekkor nincs vertikális folyadékáramlás, ugyanis az elemi folyadékreszecskekre ható gravitációs erő és a hajtóerő vertikális komponense kiegyenlíti egymást. Hidrodinamikai állapotban a hajtóerő a rendszert kimozdítja egyensúlyi állapotából, ennek következtében vertikális irányú áramlási komponens is generálódik, így a vertikális gradiens dinamikussá válik ( $\gamma_{dyn}$ ). Utánpótlódási területeken  $\gamma_{dyn} < \gamma_{st}$ , azaz a nyomásgradiens szubhidrosztatikus, ami lefelé történő vertikális áramlást jelez. Kiáramlási területeken  $\gamma_{dyn} > \gamma_{st}$ , ami feláramlásra utal, ez esetben a  $\gamma_{dyn}$  szuperhidrosztatikus. A középvezetési (átáramlási) területeken a vertikális nyomásgradiens hidrosztatikus,  $\gamma_{dyn} = \gamma_{st}$ , azaz, bár a folyadékáramlásnak nincs vertikális komponense, laterális folyadékáramlás lehetséges. A szaturált pórusfolyadék-sűrűségtől eltekintve a mért adatokból levezetett gradiensvonal lefutása és értéke a környező kőzetvázttól is függ. Az adatok értékeléséből levezetett nyomásgradi-

<sup>4</sup> A kutakban mérhető  $h$  nyugalmi vízszint azért nagy jelentőségű, mert azt a nehézségi gyorsulással megszorozva megkapjuk a folyadékpotenciál értékét, azaz a nyugalmi vízszintet a folyadékpotenciál fokmérőjeként értékelhetjük a felszín alatti térrészben.

ensben látható éles változások rendszerint a kőzetek hidraulikus vezetőképességének megváltozását is tükrözik (Czauner–Mádl-Szőnyi, 2013).

A kutakban mért hidraulikus emelkedési magasság és nyomásértékek alapján nemcsak a nyomásgradiens határozható meg, de a felszín alatti nyomásrezsím is, amely lehet túlnyomásos (szuperhidrosztatikus), hidrosztatikus vagy alulnyomásos (szubhidrosztatikus). A hidrodinamikai analízis során az alulnyomás ( $-\Delta p$ ) és a túlnyomás ( $+\Delta p$ ) mértéke a dinamikus nyomáscsökkenéssel fejezhető ki, ami az adott eleváción várható nominális vagy statikus nyomás ( $p_{nom}$ ) és a dinamikus vagy valós nyomás ( $p_{real}$ ) különbsége (Tóth, 2009). A folyadékpotenciál-tér anomáliái rendszerint földtani folyamatokra vezethetők vissza.



**1. ábra.** A nyomás–tengerszint feletti magasság profil  $p(z)$  kiegészítve a hidrosztatikus ( $1000 \text{ kg/m}^3$  sűrűségű vízre vonatkoztatott) és a litosztatikus nyomást reprezentáló vonalakkal.

A hidrosztatikus vertikális nyomásgradiens vízszintes áramlásra utal vertikális komponens nélkül; a szuperhidrosztatikus vertikális nyomásgradiens vertikális feláramlást, míg a szubhidrosztatikus vertikális nyomásgradiens vertikális leáramlást jelez. A szuper- ( $+\Delta p$ ) és a szubhidrosztatikus ( $-\Delta p$ ) nyomáscsökkenés a folyadékpotenciál-anomáliáit jelzi (mBf: a Balti-tenger szintjétől mért magasság)

(Az ábrák a szerző szerkesztései)

A folyadékpotenciál-térkép (potenciáltérkép) a hidraulikus emelkedési magasság egy adott elevációtartományba eső értékeinek (vízszintes, X-Y síkban történő) kontúrozásával állítható elő. E térképeket a tengerszint feletti magasság egymásra következő intervallumaira szerkesztjük (a kutak szűrőközéptértékei mint a mérési pontok eleváció szerinti eloszlása alapján). Az ekvipotenciálok mentén a folyadékpotenciál (hidraulikus emelkedési magasság) értéke állandó. A vízszintes hajtóerő első közelítésben (homogén, izotrop közeg esetében) merőleges az

ekvipotenciálokra. A földtani heterogenitások – mint már utaltam rá – anomáliát okoznak a folyadékpotenciál-térben, így hidraulikai hatásuk az okozott anomália alapján értékelhető. Az egymás után következő térképek összehasonlításával a vertikális áramlási komponensekre is következtethetünk.

### FÖLDTANI KÖRNYEZET ÉS NYOMÁSREZSIMEK

A nyomásrezsim nem egy pontban mért nyomást jelent, hanem egy nagyobb medencerészre jellemző karakterisztikus nyomást. A különböző nyomásrezsimek szisztematikus eloszlást mutatnak az üledékes medencékben<sup>5</sup> (Deming, 2002). Normál vagy hidrosztatikus nyomásrezsim a kontinenseken található üledékes medencékben fordul elő, amelyek közetvázát a csapadékból származó vizek részben (felszínközelségben) vagy egészen már átjárták. Földtani és hidrogeológiai értelemben az ilyen területek vízáramlási rendszereiről feltételezhetjük, hogy időbeli változásuk medenceléptékben nem számottevő, emiatt ezeket kvázi stacionárius nyomásállapotok és vízáramlási viszonyok jellemzik.

Ezekben a medencékben hidraulikai kapcsolat áll fenn a vízfogók és a rezervoárok között. Erre utal, hogy a nyomásértékek a hidrosztatikus nyomás közelében vannak, és csak minimális nyomáseltérések figyelhetők meg a hidrosztatikus nyomáshoz viszonyítva. Amennyiben a nyomásgradiens szubhidrosztatikus, vertikális, azaz lefelé irányuló áramlást, míg a szuperhidrosztatikus vertikális nyomásgradiens felfelé irányuló áramlást jelez.

A túlnyomásos nyomásrezsim süllyedő medencékben fordul elő, elsődlegesen az üledékképződéssel járó kompakció hatására. Földtani értelemben a folyamatos üledékképződés tranzien viszonyokat idéz elő. Ugyanakkor egyéb folyamatok, például tektonikai kompresszió (a litoszféra és a benne található pórusfluidum tektonikai hatásra történő összenyomódása), akvatermális hatás (a pórusnyomás növekedése a hő hatására kitáguló pórusfolyadék miatt), konvekció (a folyadék hőmérséklet- vagy sűrűségkülönbsége miatt indukált áramlása következtében kialakuló túlnyomás vagy alulnyomás) is szerepet játszhatnak kialakulásában. A kontinenseken belül található medencék esetében, ha süllyedésük jelenleg is zajlik, akkor a medencék hidrosztatikus nyomással jellemezhető területei alatt is előfordul. Ez a helyzet a Pannon-medencében is.

Ezeket a medencéket fölülről, a normál nyomásrezsim felől „zárt” hidraulikai helyzet és szuperhidrosztatikus ( $+\Delta p$ ) nyomáseltérés jellemzi. A kapcsolat a felső hidrosztatikus és az alsó túlnyomásos rezsim között egyirányú, azaz a túlnyomás disszipációja révén felszabaduló folyadék bekerülhet a normál nyomásrezsimű régióba. Fordítva ugyanakkor ez nem lehetséges.

<sup>5</sup> Itt csak a földtani fejlődésük során mára szárazra került medencékkel foglalkozunk.

Emelkedő területeken az erózió csökkenti a porózus közegre nehezedő tömeget, így alulnyomásos rezsím alakulhat ki (Ingebritsen et al., 2006). Ez olyan földtani helyzetben következhet be leginkább, ahol a víztartót vastag, kis permeabilitású fedő borítja. A kis permeabilitású fedő részleges lepusztulásának hatására a víztartó kőzetvázának relaxációja következik be, viszont az alacsony permeabilitás miatt a fedőrétegen át történő utánpótlódás mértéke földtani időskálán nem tart lépést a víztartó fluidum befogadóképességének növekedésével. A hőkonvekció is okozhat alulnyomást. Ezek mindegyike geológiai értelemben tranziens folyamat.

Alulnyomásos esetben a nyomásértékek számottevően alacsonyabbak a hidrosztatikus nyomás alapján várható értékeknél. Az alulnyomás mértékét a szubhidrosztatikus nyomáseltéréssel ( $-\Delta p$ ) jellemezhetjük. Ebben a helyzetben a fedett víztartó nyelőként funkcionál, vizet fogad be környezetéből.

#### A REGIONÁLIS NYOMÁSREZSIMEK ÉRTELMEZÉSE A GEOTERMIKUS KÉSZLETEK MEGÚJULÁSA ÉS A VISSZASAJTOLÁS SZEMPONTJÁBÓL

A normál vagy hidrosztatikus nyomásrezsím azt fejezi ki, hogy a kőzetvázban (a vízvezetőkön és vízfogókön keresztül) lehetséges a fluidum mozgása, ennek megfelelően a nyomás ki tud egyenlítődni. Ebből arra is következtethetünk, hogy a kőzetváz direkt kapcsolatban van a vízkörforgalommal, azaz első közelítésben megújuló készleteket tartalmaz. (A vízrészecskék tényleges kicserélődésének és az utánpótlódás módjának, mennyiségének meghatározásához azonban további módszerek, hidrológiai vizsgálatok, numerikus szimuláció, stabil és radioaktív izotópok alkalmazása szükséges.) Amennyiben a termelés az utánpótlódás mértékét nem haladja meg, a felszín alatti vízkészletek megújulása lehetséges. Ugyanakkor az utánpótlódásnál intenzívebb termelés már visszasajtolást igényel. A visszasajtolási nyomás mértéke a vertikális nyomásgradiensek ismeretében előzetesen tervezhető. Ha feláramlás vagy horizontális irányú áramlás zajlik, akkor kis nyomású besajtolás szükséges. Ezzel szemben lefelé történő vízáramlás esetén a víz energiabefektetés nélkül elnyelehető a kútban (2. ábra).

Abnormálisan magas pórusnyomás esetén a hidrosztatikus nyomáshoz képest számottevően nagyobb nyomás miatt a régió vízbefogadásra nem képes, ugyanakkor a túlnyomás lecsengése révén fluidumot adhat le kisebb nyomású környezete felé, azaz a fölötte található közel hidrosztatikus nyomású régióba. Ezekbe a túlnyomásos rendszerekbe tehát csapadékbeszivárgás nem lehetséges, így vízkészletük nem megújuló. Belőlük a pórusfluidum a rétegek rugalmas összenyomódása és a víz kitérülése révén szabadítható fel. A rugalmas tulajdonságok folyamatos kimerülése időben csökkenő térfogatú vízmennyiség kitermelését teszi lehetővé, ezért a termelés itt csak visszasajtolással lehetséges.



Az alulnyomásos rezsim a környezetéből fluidumbefogadásra képes, azaz injektálásra alkalmas, a folyadék elnyeletése hidraulikai értelemben ezekbe a rétegekbe energiabefektetés nélkül lehetséges. Ugyanakkor, mivel ezeknél az utánpótlódás geológiai időskálán korlátozott, ezért vízkészletük nem megújuló, mi több, ebből adódóan nem is termelhető.

Természetesen mind az injektálás, mind a termelés csak megfelelő permeabilitású vízvezető képződményekbe vagy rezervoárokba lehetséges, ezzel azonban itt nem foglalkozom bővebben.

NYOMÁSREZSIM		
ALULNYOMÁS	NORMÁL NYOMÁS	TÚLNYOMÁS
HIDRAULIKAI VISZONYOK		
NEGATÍV NYOMÁSELTÉRÉS MÉRTÉKE	HIDROSZTATIKUSHOZ KÖZELI	
	↓	← →
	↑	POZITÍV NYOMÁSELTÉRÉS MÉRTÉKE
KÉSZLETVISZONYOK — GEOTERMIKUS KÖVETKEZMÉNYEK		
NEM MEGÚJULÓ, NEM TERMELHETŐ	MEGÚJULÓ, TERMELHETŐ	NEM MEGÚJULÓ, TERMELHETŐ
NYELŐ KÚT ENERGIABEFEKTETÉS NÉLKÜL	KISNYOMÁSÚ BESAJTOLÁS LEHETSÉGES	NAGYNYOMÁSÚ BESAJTOLÁS SZÜKSÉGES

**2. ábra.** Értékelési séma a regionális nyomásviszonyok és a hidraulikai helyzet figyelembevételére a geotermikus készletek megújulása és a visszajuttatási lehetőségek szempontjából

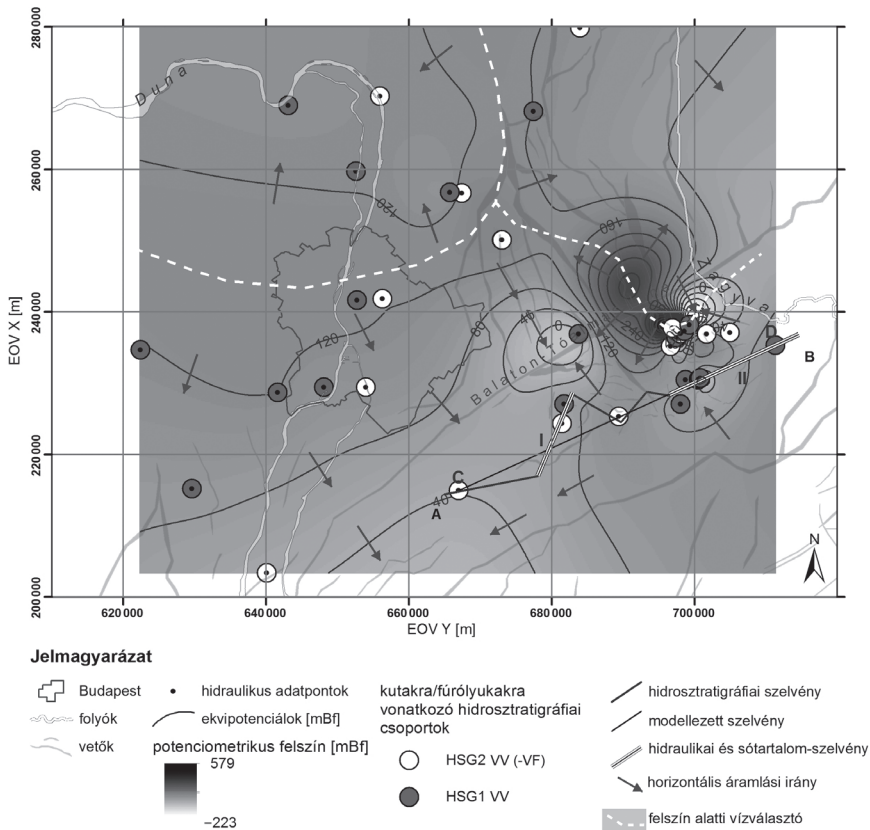
## A NYOMÁSREZSIMEK ÉRTÉKELÉSE A BUDAI-TERMÁLKARSZT ÉS GÖDÖLLŐI-DOMBSÁG TÁGABB KÖRNYEZETÉBEN

A Budai-termálkarszt és a Gödöllői-dombság a Pannon-medence geotermikus szempontból kulcsfontosságú területe. Itt található a budapesti meleg és langyos vizű források, amelyek a felszín alatti vízáramlások kiáramlási területei. E területen karbonátos (mész- és dolomit) triász (HSG1 VV) és eocén víztartók (HSG2 VV-[VF]) jellemzőek, amelyek közepes/jó/kiváló vízvezető képességgel jellemezhetők ( $K = 10^{-6} - 10^{-3}$  m/s) (3. ábra).

Ezek a víztartók a Dunától Ny-ra a felszínen, DK felé egyre mélyebb helyzetben, dominánsan sziliciklasztos (agyagmárga, agyag, homok) képződmények alatt fedett állapotban találhatóak (–2000 mBf-től egészen –3500 mBf-ig). A víztartók ÉNy–DK-i irányú szerkezeti elemekkel tagoltak, a területen belül kulcsfontosságú oldaleltolódási zóna a Balaton–Tóalmás-vonal. A víztartóban a hőmérsékleti viszonyok is többnyire kedvezőek, –1000 mBf alatt 30–130 °C közötti hőmérsékletértékekkel. A terület karbonátos víztartói tehát alkalmasak a



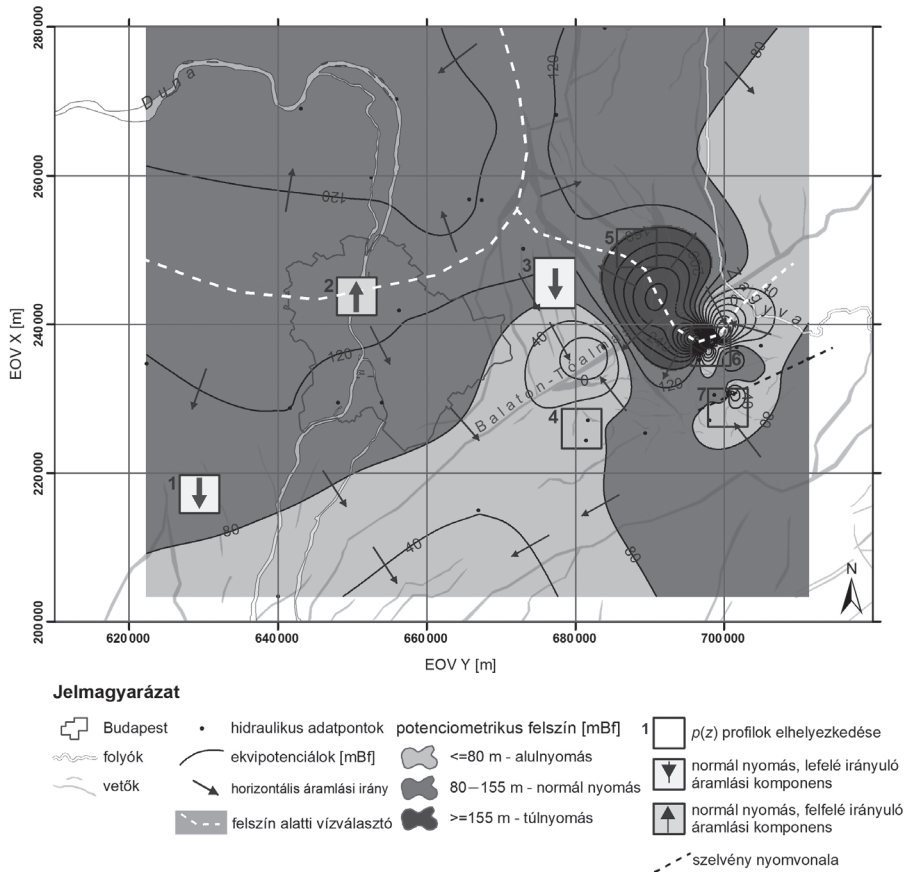
hévízfeltárára. Hagyományos megközelítéssel a vízadók hidraulikus vízvezető képessége és a hőmérsékletviszonyok alapján értékelhető a geotermikus feltárás lehetősége.



**3. ábra.** Potenciometrikus térkép a (–1000 mBf alatti szűrőzésű) karbonátos víztartóba mélyült kutak  $h$  adataiból szerkesztve, a horizontális áramlási irány és a felszín alatti vízvásztók feltüntetésével

A terület regionális hidraulikai feldolgozási eredményei Mádl-Szőnyi Judit és szerzőtársai (2019) tanulmányában olvashatók. A karbonátos víztartókra szerkesztett (–1000 mBf alatti szűrőzésű) kutak hidraulikus emelkedési magasság ( $h$ ) adataiból szerkesztett potenciometrikus térképen a kutak által megnyitott víztartót is megjelenítettük (HSG1 vagy HSG2). A  $h$  értékek alapján kvázi normál potenciáleloszlású területeket ( $\sim 120$  m) és karakterisztikus anomáliákat (pozitív,  $h > 160$  m és negatív,  $h < 80$  m) is el tudtunk különíteni a potenciáltérben a Balaton–Tóalmás-vonal környezetében (3. ábra).

A  $p(z)$  profilok alapján Diósd (1) környezete normál hidrosztatikus nyomásrezsimmel és leáramlással, a Margit-sziget (2) környezete szintén hidrosztatikus-hoz közeli nyomásrezsimmel és feláramlással jellemezhető (4. ábra). Isaszegnél (3) a normál, leáramlással jellemezhető nyomásrezsimmel mellett már megjelenik a tényleges alulnyomás. A Balaton-Tóalmás-vonaltól D-re található Gomba (4) terület karbonátjai alulnyomással jellemezhetők. Ugyanakkor a turai (5) blokk túlnyomásos, míg Tóalmásnál (6) a túlnyomás és alulnyomás együttes jelenlétével számolhatunk, Nagykátán (7) normál-alulnyomásos a rezervoár. Mindezek, mint korábban bemutattuk, a hőmérséklet és a rezervoár paraméterei mellett szintén befolyásolják a geotermikus lehetőségeket a készletek termelhetősége (azaz utánpótlódása) és az injektálás szempontjából.



**4. ábra.** A potenciáltérképből levezetett nyomásrezsims térkép, amely a normál, hidrosztatikus, valamint a túlnyomásos és alulnyomásos medencerészeket jelzi, kiegészítve a  $p(z)$  profilok helyével és értelmezett nyomásrezsimmével

A regionális nyomásrezsím mint figyelembe nem vett kockázati tényező lehetséges jelentőségét egy, a területen felhagyott fúrásos geotermikus feltárás is megerősíti. Bár a kutatás felhagyásának valós oka pontosan nem ismert, a feltárás a minden szempontból perspektivikus gödöllői területen nem vezetett eredményre. Ugyanakkor a turai első geotermikus kiserőmű a nyomásrezsimek szempontjából is kedvező régióban létesült.

### ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK

A geotermikus készletek hagyományos értékelése során a természetes geotermikus rendszer elemeit veszik számba, ugyanakkor nem számolnak azzal, hogy a fluidumok rendelkezésre állása még kiváló vízvezető képességű kőzet esetén sem garantált. E kockázati tényező kiküszöbölésére szolgál a regionális nyomásrezsimek értékelése, ami medencehidraulikai módszerekkel (potenciometrikus térképek és vertikális nyomásprofilok) történhet. A nyomásrezsimek lehatárolása révén információ nyerhető a normál, valamint a túlnyomásos, alulnyomásos régiók medencén belüli helyzetéből. Mi több, ez alapot ad egy előzetes értékelési séma kialakítására a geotermikus készletek megújulására és az injektálásra vonatkozóan. A bemutatott esettanulmány a nyomásrendszerek értékelését, geotermikus célú értelmezését és gyakorlati hasznosíthatóságát szemlélteti. A bemutatott medencehidraulikai megközelítés a jogi-szabályozási kérdések megvitatásához és hatékonyabb kezeléséhez is hozzájárulhat.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző köszönetét fejezi ki a MOL NyRt. (UX2315.39.78/95), NKFI/OTKA (101356) és az ENeRAG (810980) projektek támogatásáért, valamint a kutatásban közreműködő kollégáknak: Szkolnikovics-Simon Szilvia, Zentainé Czauner Brigitta, Iván Veronika, Tóth Ádám, Eröss Anita, Pulay Eszter, Kovácsné Bodor Petra, Sóreg Viktor, Boncz László, Havril Tímea és Szijártó Márk. Az utóbbi két kollégának köszönöm a kézirat alapos átolvasását.

### IRODALOM

- Czauner B. – Mádl-Szőnyi J. (2013): Regional Hydraulic Behavior of Structural Zones and Sedimentological Heterogeneities in an Overpressured Sedimentary Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 48, 260–274. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.08.016
- Deming, D. (2002): *Introduction to Hydrogeology*. New York: McGraw-Hill

- Dickson, M. H. – Fanelli, M. (2013): *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Routledge
- Ingebritsen, S. E. – Sanford, W. E. – Neuzil, C. E. (2006): *Groundwater in Geologic Processes*. Cambridge University Press
- Lovekin, J. W. (1998): Sustainable Geothermal Power: The Life-cycle of a Geothermal Field. *GRC Transactions*, 22, 515–519. <https://catalog.data.gov/dataset/sustainable-geothermal-power-the-life-cycle-of-a-geothermal-field>
- Mádl-Szőnyi J. – Czauner B. – Iván V. et al. (2019): Confined Carbonates – Regional Scale Hydraulic Interaction or Isolation? *Marine and Petroleum Geology*, 107, 591–612. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2017.06.006, [http://real.mtak.hu/80484/1/Madl\\_Szonyi\\_et\\_al\\_2017\\_confined\\_carbonates\\_u.pdf](http://real.mtak.hu/80484/1/Madl_Szonyi_et_al_2017_confined_carbonates_u.pdf)
- Tóth J. (1995): Hydraulic Continuity in Large Sedimentary Basins. *Hydrogeology Journal*, 3, 4, 4–16. DOI: 10.1007/s100400050250
- Tóth J. (2009): *Gravitational Systems of Groundwater Flow: Theory, Evaluation, Utilization*. Cambridge University Press