

**DOI 10.14750/ME.2023.002**

MISKOLCI EGYETEM  
MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA  
Doktori Iskola vezetője:  
Prof. Dr. Szűcs Péter  
egyetemi tanár

**A BÜKKI KARSZTRENSZER HIDROGEOTERMIKUS JELLEMZÉSE KOMPLEX  
KARSZTHIDROGEOLÓGIAI VIZSGÁLATOKKAL**

Doktori értekezés

KÉSZÍTETTE:

**Miklós Rita**

okl. hidrogeológus mérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐK:

Prof. Dr. Szűcs Péter  
egyetemi tanár

Dr. Lénárt László  
c. egyetemi tanár

2022.április

## Tartalom

1.	Bevezetés .....	1
2.	Célkitűzések .....	3
3.	Alapok, alapfogalmak.....	4
4.	A vizsgált terület bemutatása .....	7
4.1.	Földrajzi elhelyezkedés, morfológia.....	7
4.2.	A Bükk klimatológiai jellemzése.....	8
4.3.	A Bükk hegység hidrológiai viszonyai.....	10
4.4.	A vizsgált terület földtani, vízföldtani bemutatása .....	10
4.5.	A terület geotermikus viszonyai.....	15
4.6.	A Bükki Termálkarszt kutatástörténeti áttekintése, feltártsága, vízmozgás a hegységben .....	16
4.7.	A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) bemutatása.....	20
4.7.1.	A vizsgálatba bevont mérőhelyek ismertetése .....	21
4.7.1.1.	Nagyvisnyó-17 (Nv-17) .....	22
4.7.1.2.	Kertészeti-kút, Miskolc .....	22
4.7.1.3.	Selyemrét-2. sz. kút, Miskolc.....	23
4.7.1.4.	Termál-forrás, Miskolctapolca .....	23
4.7.1.5.	Tükör-forrás, Kács.....	23
4.7.1.6.	Zsóry-fürdő, III. sz. megfigyelőkút, Mezőkövesd.....	23
4.7.1.7.	K-11, Demjén .....	23
5.	Hidrogeotermikus vizsgálatok a Bükki Termálkarsztban .....	24
5.1.	A PetroMod szoftver bemutatása.....	24
5.2.	A modellezések során alkalmazott input paraméterek ismertetése .....	25
5.3.	Eredmények .....	31
5.3.1.	Modellezett és mért-számított geotermikus paraméterek a Bükki Termálkarszt területén .....	31
5.3.2.	Eredmények a Demjén térségi területen.....	33
5.3.2.1.	Hőmérséklet-eloszlás szelvények.....	33
5.3.2.1.1.	Az ÉD-i szelvény értékelése .....	34
5.3.2.1.2.	A KNY-i szelvény értékelése .....	37
5.3.2.2.	Geotermikus lépcső összefüggés meghatározása, tomografikus hőmérsékletszelvényezés.....	37
5.3.3.	Eredmények a Miskolc és környéke területen.....	43
5.3.3.1.	Pretercier aljzattérkép pontosítása, szelvény menti hőmérséklet-eloszlás.....	43

5.3.3.1.1.	1. 1-es szelvény értékelése: .....	48
5.3.3.1.2.	2. 2-es szelvény értékelése: .....	49
5.3.3.1.3.	3. 3-as szelvény értékelése:.....	51
5.3.3.2.	Konceptcionális karsztvíz-áramlási irányok .....	54
5.3.3.2.1.	Vízkéimiai vizsgálatok rövid módszertani ismertetése .....	54
5.3.3.2.2.	Konceptcionális karsztvíz-áramlási irányok meghatározásához elvégzett vizsgálatok és azok eredményei .....	55
6.	Idősor elemzések .....	61
6.1.	Alkalmazott módszerek (szakirodalmi áttekintés) .....	61
6.1.1.	Keresztkorrelációs vizsgálat .....	61
6.1.2.	Autokorrelációs vizsgálat .....	63
6.1.3.	Fourier-transzformáció, spektrálanalízis.....	64
6.1.3.1.	A frekvencia, amplitúdó és fázis értelmezése .....	64
6.1.3.2.	A Fourier-transzformáció .....	64
6.1.4.	Keresztspektrál analízis és fázis függvény.....	65
6.1.5.	Koherencia függvény.....	67
6.2.	Eredmények .....	67
6.2.1.	Az Nv-17 és a termálkarsztos mérőhelyek görbéinek összevetése .....	68
6.2.2.	A keresztkorrelációs vizsgálat eredményei, átlagos hidraulikus terjedési sebességek meghatározása.....	74
6.2.3.	Koherencia függvények vizsgálata, eredmények .....	80
6.2.4.	Keresztspektrum analízis, a periodicitás vizsgálatok eredményei .....	84
6.2.4.1.	Kertészeti-kút .....	84
6.2.4.2.	Selyemrét-2-kút.....	86
6.2.4.3.	K-11 .....	87
6.2.4.4.	Tükör-forrás.....	89
6.2.4.5.	Zsóry-III-as megfigyelőkút .....	90
6.2.4.6.	Termál-forrás.....	92
6.2.4.7.	Összegzés.....	94
6.2.5.	Spektrálanalízis, a periodicitás vizsgálatok eredményei a csapadék-hidegkarszt-termálkarszt rendszerben .....	95
6.2.6.	Autokorrelációs vizsgálat .....	102
7.	Tézisek.....	105
8.	Összefoglalás .....	107
9.	Summary .....	111

10.	Köszönetnyilvánítás .....	115
11.	Irodalomjegyzék.....	116
12.	MELLÉKLETEK .....	127
13.	Mellékletek jegyzéke.....	175
14.	Saját tudományos közlemények (MTMT alapján).....	176

## 1. Bevezetés

A felszín alatt található vizek egyik speciális fajtája a karsztvíz, amely karbonátos kőzetekben, elsősorban azok oldásával, az oldott anyag felvételével keletkezik, ott mozog. A bolygó jégmentes, kontinentális felszínének mintegy 15,2 %-át karsztosodó karbonát kőzetek borítják (Goldscheider, et al., 2020). Magyarországon a nyílt karsztok területe 1 350 km<sup>2</sup>, a törmelékes üledékekkel fedett karsztok nagysága kb. 30 000 km<sup>2</sup> (Lénárt, 2006).

A karsztvizek globális jelentőségűek, hiszen a világ lakosságának 20-25 %-a ilyen típusú vízadókból nyeri a szükséges ivóvizet és az élelmiszertermeléshez szükséges mezőgazdasági öntözővizet (Ford & Williams, 2007). Hazánkban a felszín alatti vízfogyasztásnak 14-16 %-a karsztvízből származik (Lénárt, 2006).

A karsztvizeket sok szempontból lehet csoportosítani, de ezek közül kiemelkedő a hőmérséklet szerinti osztályozás. A nemzetközi osztályozás szerint a hideg és a termálvizek osztályozási határa 25 °C (Benderev & Hristov, 2000), továbbá az emberi test hőmérsékletének megfelelően 37 °C a meleg és forró vizek határa (Kresic, 2010). Magyarországon a 30 °C fölötti vizeket nevezzük termálvizeknek (hévizeknek) (101/2007. (XII. 23.)). Ennek megfelelően Magyarországon hideg és meleg (termál) karsztvizeket különböztetünk meg, de a teljes hőmérsékleti intervallum – helytől és időtől függően – a 0 °C-tól a 100 °C-t meghaladó értékig terjed.

Mivel a karsztos vízadó rendszerek vízföldtani értelemben véve kifejezetten érzékenyek, ezért mind mennyiségi, mind minőségi védelmük kiemelt fontosságú. A felszínről bejutó szennyezések a rövid idejű beszivárgás miatt kifejezetten hamar eléri a karsztvízszintet, és a rendszerben történő gyors áramlási sebességek miatt nagy távolságokra képesek eljutni. A kisebb sebességű zónákban a szennyezőanyagok tartózkodási ideje viszont hosszabb, és forrásokban való megjelenésük kiszámíthatatlan, emellett a rendszer öntisztuló képessége alacsonyabb a porózus rendszerekéhez képest (COST Action 620, 2003; Drew, 1999). A karsztrendszerek egyedi jellemzője a hidraulikai folyamatok kettőssége, mely jelentkezik a beszivárgási folyamatokban, felszín alatti áramlási tulajdonságokban, víztartó képességében és a természetes megcsapolódás formájában is (Bakalowicz, 2005; Kovács, 2003).

A hidegkarsztvizes hegységek előtéri területein – így a Bükk-térségben is – megtalálható, vastag üledékrétegekkel fedett karbonátos összletek kiváló célterületei a geotermikus energiát és termálkarsztvíz termelését célzó kutatásoknak. Azonban az ilyen típusú területek kutatása költséges, a rendszer heterogenitásának köszönhetően nagy bizonytalansággal terheltek. A fedett karsztokban – termálkarsztokban – kialakult

hidraulikai viszonyok jellemzése a kevés számú rendelkezésre álló információ miatt általában véve nehéz feladat (Goldscheider, et al., 2010).

A Bükk-térségben – a Bükk DNy-i, D-i, K-i előterén – az elmúlt 15 évben jelentősen megnőtt a kutakkal kitermelt meleg (30 °C-nál magasabb hőmérsékletű) karsztvíz mennyisége, valamint a létesített kutak száma és mélysége. A termál karsztvizet főként balneológiai, rekreációs célra, kis mértékben ivóvíz ellátásra, valamint fűtési célokra használják fel. A Bükk térségében kiemelt fontosságú e tekintetben Miskolc, Bogács, Mezőkövesd, Eger, Egerszalók és Demjén (Lénárt, 2006). A termálkarsztvíz jellemzőinek folyamatos monitorozása nem éri el a hideg karsztvíz regisztrálásának a szintjét, ezért minden új mérési eredmény sokat segít a termálkarsztvíz jellemzőinek pontosabb megismerésében. Ma már szakmailag elfogadott, hogy a hideg karsztvíz és a termálkarsztvíz szintjének, nyomásának, hőmérsékletének folyamatos vizsgálata csak párhuzamos vizsgálatokkal tehető teljessé. E tekintetben szerencsés a helyzet a Bükk kapcsán, hiszen a Miskolci Egyetem üzemeltetésében immár 30 éve működik a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer a hegységben, melynek köszönhetően számos mérési ponton rendelkezünk mind hideg-, mind termálkarsztos mérőhelyekről rövidebb-hosszabb idejű mérési adatsorokkal.

A hazai és nemzetközi szakirodalom számos jó példával jár elől a karsztos kutatásával, a hidrodinamikai jellegek, kapcsolatok kimutatásával, alkalmazott módszerek széles tárházával kapcsolatban. Viszont a vizsgált területek nagyrésze klasszikus karsztnak mondható, és főként a hidegvizes rendszerekkel foglalkoznak a kutatók. A Bükk földtani felépítéséből, tektonikai viszonyaiból származóan egy lényegesen bonyolultabb, közel sem klasszikusnak tekinthető karszthegység, továbbá mind hideg-, mind termálkarsztos összletek találhatóak a hegységben és környezetében. Utóbbiak vastag üledékekkel fedve, eltemetett helyzetben vannak, mely tovább nehezíti a kutatást és a feltártság mértékét is.

Ez a sajátos felépítés kihívás elé állíthatja a kutatókat, hiszen egyes, széles körben ismert, klasszikus karsztkutatói módszerek, pl. szpeleológiai, hidrológiai, hidraulikai, vízkémiai vagy akár a nyomjelző módszerek (Goldscheider & Drew, 2007), karsztmodellezés (Kovács & Sauter, 2007) a különböző típusú idősor elemzések (Kovács, 2003), geostatistikai vizsgálatok (Jenkins&Watts, 1968; Jukic&Denic-Jukic, 2015; Mangin, 1981; Padilla&Pulido-Bosch, 1995) csak módosításokkal, valamint több módszer együttes alkalmazásával vezetnek eredményre.

## 2. Célkitűzések

A korábbi évtizedekben számos kutatás irányult már a bükki karsztrendszer minél alaposabb megismerésére. A kutatók nagy részének megegyezik a véleménye a tekintetben, hogy a hegységben a hideg és a termál karsztrendszer kapcsolatban áll egymással, bár a kapcsolatok erősségének megítélésében vannak eltérések. Számos szakcikk álláspontja az, hogy a hideg karsztban történő változások (csapadék, klimatikus változás, termelés, kilépési/kitermelési szint változása stb.) kihatnak a termál rendszerre is, valamint annak is lehet jelentős visszahatása a hidegkarsztvíz rész-rendszerre (termelés, termelési szint növelése, visszasajtolás stb.) (Darabos, et al., 2014; Lénárt, 1994; Lénárt, 2006; Lénárt, 2008; Lénárt, 2022; Lénárt & Darabos, 2012; McIntosh, et al., 2011; Szilágyi, et al., 1980). A bükki hidegkarsztos (és kis részben termálkarsztos) összletekből már több mint 100 éve történik a térség kommunális és ivóvíz ellátása. A Bükkalja területe az elmúlt másfél évtizedben termálkarsztvíz kitermelés szempontjából egyre kiemeltebb szerepet kapott, és kap a mai napig is. Emiatt különösen fontosnak tartom e terület részletes vizsgálatát. A rendelkezésre álló adatok és azok eloszlása sajnálatos módon azt teszik csak lehetővé, hogy két kiemelt részterülettel foglalkozzunk. Ezek közül az egyik Eger-Egerszalók-Demjén térsége, ahol ahol az elmúlt évtizedben folyamatosan növekvő, intenzív balneológiai célú termálkarsztvíz termelés folyik. A másik vizsgálati terület Miskolc és térsége, ahol a mészkő összletek sajátos, földtani szempontból kiemelt helyzete lehetőséget nyújt a viszonylag sekély mélységből (~250-600 m) történő nagyobb hőmérsékletű termálkarsztvíz (34-52 °C) termelésre. E területen a melegkarsztvíz többek közt balneológiai célokra, kisebb részben ivóvíz ellátásra kerül felhasználásra, és 2012 óta Közép-Európa legnagyobb, 60 MW<sub>t</sub> kapacitású – a bükki termálkarsztra telepített - geotermikus fűtőműve is itt üzemel.

Mivel a bükki karsztos víztestek kiemelt stratégiai szerepet töltenek be a régió életében, különösen fontosnak tartom a hideg-meleg karsztrendszer kapcsolatrendszerének további, szerteágazó, több szempontból történő új, átfogó vizsgálatát. A kutatási eredmények hosszú távon szolgálják a fenntartható vízgazdálkodást, a víz- és energia ellátás biztonságát, valamint természeti kincseink megőrzését. Az ilyen eltemetett, vastag fedő üledékekkel fedett karsztos rendszerek kutatása és megértése rendkívül nehézkes, ezért komplex adatokat, különböző vizsgálati típusokat alkalmazok jelentős mértékben túlnyúlva a termálkarsztos/hidegkarsztvízes határokon. Erre azért is szükség van, mert ilyen típusú, bonyolult felépítésű, kettős karsztrendszerek vizsgálata nem jellemző a nemzetközi szakirodalomban sem, ebből a szempontból a kutatás során többek között célokom egy komplex módszertani fejlesztés kivitelezése is.

Kutatásaim célkitűzései között szerepel a hegységben, egyedülálló módon, 1992 óta üzemelő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer hosszú távú adatsorainak felhasználása, melyeken különböző idősor elemzéseket alkalmazok. Célom a bükki hideg és termál karsztrendszer hidraulikai folytonosságának valamint kapcsolatának számszerű bizonyítása, a karsztos víztartók hidrodinamikai viselkedésének, hőtranszportjának minél alaposabb megismerése. Ez azért is kiemelten fontos, mert a jelenlegi hazai szabályozás a Bükk esetén külön víztestként kezeli a hideg és termálkarsztos vízadókat (VGT 2, 2015). E célból mind hideg, mind termálkarsztvízes mérőhelyek adatsorait felhasználom és elemzem 1992-től 2020-ig, összevetve a mások által elért szakmai eredményekkel.

Dolgozatom további fő célkitűzése a bükki termálkarszt hőmérsékleti viszonyainak minél alaposabb megismerése. Felhasználom a rendelkezésre álló földtani, vízföldtani információkat (szénhidrogén-kutató fúrási adatok, vízföldtani naplóból és termelők bevallásaiból származó adatok), helyszíni vízmintavételezések vízkémiai, továbbá izotópos vizsgálati eredményeit annak érdekében, hogy Demjén-Egerszalók és Miskolc térségében minél pontosabb képet kapjunk a felszín alatti térrész hőmérséklet-eloszlásáról, a változásokról, azok irányáról, a stratégiaileg rendkívül fontos termálkarsztvíz pontos állapotáról.

Kutatásaim során igen eltérő módszereket használok, ezért a dolgozat felépítése, logikai menete eltér a megszokottól. Az egyes részkutatások szakirodalmi áttekintése és eredményeinek bemutatása témakörönként külön fejezetben kerül ismertetésre. Úgy gondolom, hogy ez a fajta elrendezés segíti a kutatások és eredmények könnyebb áttekinthetőségét.

### **3. Alapok, alapfogalmak**

A karsztrendszereket mind áramlástan, mind tározási szempontból erős heterogenitás jellemzi. Jól fejlett rendszerek esetében a „karsztok kettőssége” több tulajdonságukban is megnyilvánul, melyek sajátágaikat is adják. Alapvetően a karsztos víztartók úgy definiálhatóak, mint jól karsztosodott, nagyméretű repedéshálózat (melyben főként turbulens vízmozgás jellemző), mely egy kevésbé karsztosodott kőzetmátrixba van ágyazva (mely főként a tározásért felelős) (Goldscheider & Drew, 2007; Kiraly, 2003). Ennek a speciális felépítésnek egyenes következménye a kettősség, dualitás, mely a rendszerek több tulajdonságában is megjelenik:

- a beszivárgási folyamatok esetén megkülönböztetünk lassú, diffúz beszivárgást (főként az alacsony permeabilitású, kevésbé karsztosodott kőzetmátrixba), valamint gyors, koncentrált beszivárgást (víznyelőkön keresztül), mely a repedéshálózatba jut (Kiraly, 2003);



- a nagyméretű járatokban történő vízáramlás tulajdonságaira jellemző a nagy sebességű, turbulens áramlás, míg a mátrixban nagyságrendekkel kisebb, lamináris szivárgás az uralkodó (Király, 2003). Ennek megfelelően az aktív vízszintingadozás zónájában a nagyméretű járatokban történő tározás elenyésző, a tározás csak rövid ideig, árvízi állapotban fordul elő (Kovács, et al., 2015). A tározás jelentős része a mátrixban történik (Ford & Williams, 2007);
- a vízkilépés, hozam tekintetében is megkülönböztethetünk diffúz szivárgást az alacsony permeabilitású összletekből, valamint koncentrált, nagy hozamú forrásokat (Király, 2003).

A karsztos tározókba történő utánpótlódás javarészt a beszivárgásból származik. Jakucs a karsztokba bejutó víz eredete alapján megkülönböztetett *A* és *B* típusú karsztokat (Jakucs, 1971). A gyakrabban alkalmazott szakmai nomenklatura szerint az előbbi az ún. autogén (amikor az utánpótlódás magáról a karsztterületről származik), utóbbi pedig az allogén (az utánpótlódás nem karsztos területről érkezik) utánpótlódási típus (Bakalowicz, 2005).

A különböző, a dolgozat szempontjából is releváns karsztvíz típusokat Horusitzky, Ford-Williams, Juhász és Veress munkája alapján tekintem át (Horusitzky, 1942; Ford & Williams, 2007; Juhász, 2002; Veress, 2004).

Abban az esetben, ha a karsztos kőzet felszínre bukkan, a karsztvíz nyílt tükrű, és utánpótlódása főként a csapadékból származik, akkor **nyílt karsztról** (*hideg karszt*) beszélünk. A karszt azon részét, ahol nincs számottevő tározás, a karsztvíz lefelé folytatja útját, és a karsztvíz mennyisége erősen függ a csapadéktól, **leszálló karsztvíz övnek** (*vadózus zóna*) hívjuk. A kőzetben azt a zónát, melyben aktív vízszintingadozás történik, **epifreatikus övnek** hívjuk, ebben a térrészben nem minden üreg, repedés van vízzel teljes mértékben kitöltve, és a kitöltés mértéke időben változó. Az alacsony karsztvízszint alatt található térrészt **freatikus övnek** nevezzük, ahol az üregeket állandó jelleggel víz tölti ki. A beszivárgó víz telítődési mélysége felett található zónát **epikarsztnak** nevezzük, melynek vastagsága 0-20 m-ig terjed. Amennyiben azt a karsztosodottság és a földtani felépítés jellege lehetővé teszi, a leszálló karsztövben helyi, összefüggő karsztvízszint alakul ki, melyet **függő karsztvíz övnek** tekintünk.

Amennyiben a karsztvízszint a rendszer erózióbázisa felett fekszik, **sekély karsztról** beszélünk, az erózióbázis alatt található karsztos víztartókat **mélykarsztnak** nevezzük. A sekély karsztok esetén a víz gravitációsan távozik a rendszerből. A mélykarsztra jellemző, hogy felszíni kibukkanása nincs, azt vastag záró kőzetek fedik. Amennyiben melegvizet tárolnak a karsztos összletek, **termálkarsztról** beszélünk. Ebben az esetben a

csapadék hatása már csak több hónapos késleltetéssel jelentkezik a rendszerben, víztároló képessége nagyobb (Szabó, 2013).

Ha a záró összletek feküje alacsonyabban fekszik, mint a tárolt karsztvíz potenciálszintje, akkor **leszorított tükrű** (tehát *nyomás alatti*), **fedett karsztról**, ellenkező esetben **szabad tükrű, fedett karsztról** beszélünk.

A karsztban összefüggő járatrendszerek vizének dinamikája hidraulikai szempontból lényegében a közlekedőedények törvényszerűségeivel jellemezhető. A vízmozgás iránya arra törekszik, hogy az egész járatrendszerben egységes víztükör álljon elő (Veress, 2004).

A dolgozatban vizsgálom a bükki hideg és termál karsztrendszer kapcsolatának fennállását, valamint annak erősségét. Ehhez szorosan kapcsolódik a **hidraulikus folytonosság** fogalma, mely szerint egy áramlási tartományban egy adott ponton a nyomásban (hidraulikus emelkedési magasságban vagy pórusnyomásban) változás következik be, az a vizsgált tartomány egy másik pontján is változást fog okozni. Amennyiben ez a jelenség bekövetkezik, úgy a vizsgált rendszer, térrész hidraulikusan folytonosnak tekinthető (Mádlné Szőnyi, et al., 2013).

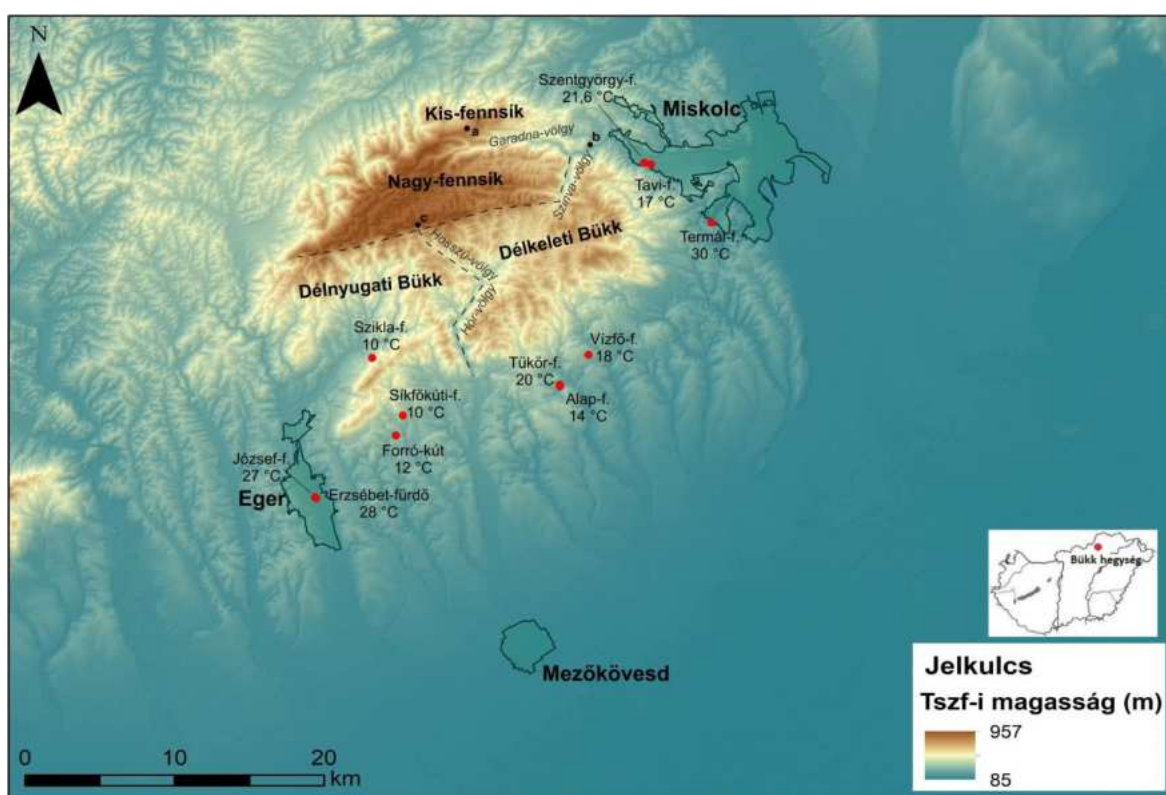
Karsztrendszerekben a kialakult karsztvízszint egyrészt a topográfia, másrészt a beszivárgási viszonyok befolyása alatt áll (Haitjema & Mitchell-Bruker, 2005; Gleeson, et al., 2011). A leszálló karsztvíz övben a beszivárgás következtében előálló vízmozgás iránya főként függőleges, az erózióbázis felé törekszik. Sekély karsztok esetén a víz egy része gravitációs és a potenciálkülönbség hatására felszínre lép, és természetes források formájában megcsapolódik.

A nagyobb mélységű üledékes medencék hidrodinamikáját szabályozó hidraulikus és termális hajtóerők, valamint az advektív és konvektív hőtranszport kölcsönhatására (Szijártó, et al., 2019) nagy vastagságú karbonátos összletekben is számítani lehet (Havril, et al., 2016). Mádl-Szőnyi et al., 2017 munkája alapján az eltemetett karsztos víztartók és azok fedőrétegei között a kapcsolat függvényében vízáramlás állhat fenn, mely a mérések, kutatások és tapasztalatok alapján a hegységelőtéri bükki termálkarsztra nem jellemző (melynek oka a karbonátos összeletek és a fedőüledékeik közötti jelentős szivárgási tényező különbség). Lénárt et al., 2012 munkája alapján a kiemelt helyzetű, hidegkarsztból a termálkarsztos rendszer felé átadott vizet a hőfluxus melegíti fel. McIntosh et al., 2011 munkájukban a hegység déli előterében eltemetett termálkarsztot félig zárt rendszerű, nagyjából önálló rezervoárként definiálta, melyben a vízáramlás hajóereje főként termogravitatív, a lokális feláramlási zónák tektonikai elemekhez köthetőek.

## 4. A vizsgált terület bemutatása

### 4.1. Földrajzi elhelyezkedés, morfológia

A Bükk hegység Magyarország északkeleti részén helyezkedik el, az Északi-középhegység tagja (1. ábra). Az ország második legmagasabb hegysége, legmagasabb csúcsai 900 m-es tengerszint feletti magasságban helyezkednek el. A hegység fő tömegét karsztos összletek építik fel. Földrajzi értelemben az Upponyi-hegységgel együtt a Bükk-vidék középtáji részét alkotja, mely tájegység lehatárolása néhol bizonytalan. Északi, északkeleti határát a Sajó széles völgye, majd annak folytatásában a Sajó-Hernád síkja alkotja. Délen szinte észrevétlenül bukik alá és megy át az észak-alföldi kvarter üledékekbe. Nyugaton a Tarna völgye választja el a Mátrától (Pelikán, 2005).



1. ábra A Bükk hegység és környéke domborzati térképe (1: Örvény-kő; 2: Molnár-szikla; 3: Három-kő), a hegylábi területeken található langyos és meleg vizű források és jellemző víz hőmérsékletük (szerző saját szerkesztése)

Legnagyobb kiterjedésű (115 km<sup>2</sup>) és legegységesebb kistája a Bükk-fennsík, melyet a Garadna-völgy oszt északi és déli részre (1. ábra). Délen a magasabb fekvésű Nagy-fennsík található, mely kelet felé egyenletes lejtésű, majd a Szinva-völgytől felveszi a délkeleti Bükk átlagos 600-700 méteres szintmagasságát. Területe nagyjából 20x6 km nagyságú, mind északon, mind délen idős lepusztulási lépcsők alkotják peremét (Dövényi, 2010).

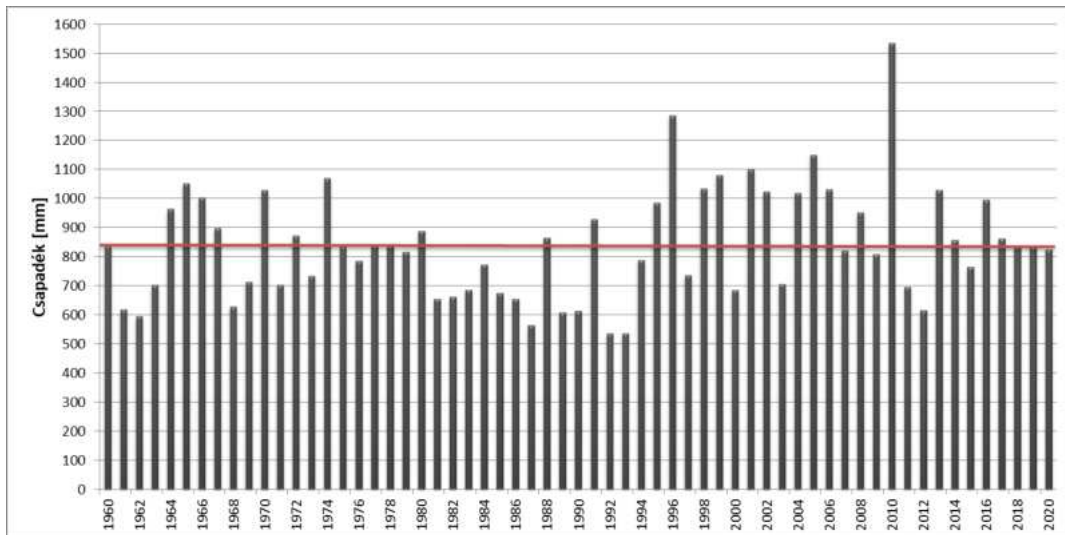
A Nagy-fennsíktól északra található az alacsonyabb fekvésű és kisebb területet felölelő Kis-fennsík, melyet a Garadna-völgy választ el a Nagy-fennsíktól. Kelet felé több lépcsőben lejt, legmagasabb (Örvény-kő) és legalacsonyabb (Molnár-szikla) pontja között közel 420 méteres szintkülönbség van (Dövényi, 2010).

A hegység e része főként jól karsztosodott mészkő formációkból épül fel, a területen számtalan karsztos felszínforma megjelenik (pl. töbrök, víznyelők), valamint jellemzőek a nagyméretű, jól fejlett barlangrendszerek is (Pelikán, 2005).

A Nagy-fennsík, valamint az attól északra található terület az Északi-Bükk, a déli fennsíkperemtől – az ún. „bükki kövektől” – délre pedig a Déli-Bükk terül el, amely mind morfológiai, mind kőzettani alapon továbbosztható keleti és nyugati részre (Pelikán, 2005). A Délnyugati-Bükk területét északról a Nagy-fennsík déli peremét alkotó tört vetősíkokkal tagolt feltolódási lépcsők határolják. A Három-kő – Hosszú-völgy – Hór-völgy alkotta vonaltól keletre pedig a Délkeleti-Bükk terül el (1. ábra) (Pelikán, 2005). A Déli-Bükk felszíne 185-703 m közötti tengerszint feletti magasságú, középhegységi helyzetű. A felszín lejtése D-i, DK-i irányú. A földtani és genetikai adottságokból kifolyólag a K-i és Ny-i területek között jelentős formakincsbeli különbségek adódnak. Míg a Délkeleti-Bükk karsztos formákban gazdag, addig a Délnyugati-Bükk felszínének jellegét a fő felszínhordozó kőzetek eltérő lepusztulási formái alakítják (Dövényi, 2010), de az Északi-Bükk keleti területein a karsztos kőzetek mellett metaandezit, dolomit, pala összletek is megtalálhatóak.

#### **4.2. A Bükk klimatológiai jellemzése**

A Bükk Magyarország éghajlati körzetei közül a IV. körzetbe, az Északi-középhegység körzetébe tartozik, ahol a felszíni tagoltság változatos mikroklímát hozott létre. A magasabb térszínen elhelyezkedő Bükk-fennsík időjárási jellemzői némiképp eltérnek a hegység alacsonyabban fekvő területeitől. Uralkodóan hűvös-nedves éghajlatú terület. Az évi középhőmérséklet 6,0 °C körül van, a tenyészidőszakban (április 1. – szeptember 30.) 13,0 °C jellemző (Dövényi, 2010). A jávorkúti meteorológiai állomás 1960-2020-ig terjedő regisztrált csapadékadatokból számított éves átlag 840,6 mm, mely az országos átlagtól (500-750 mm) magasabb érték. Érdemes kiemelni azt a tényt is, hogy az 1990-es évek közepétől a csapadékos években lényegesen magasabb csapadékadatok tapasztalhatóak, mint a korábbi időszakokban (Darabos, et al., 2016), aztán 2011-től kezdődően ez a tendencia megváltozik. Ezt reprezentálja a 2. ábra is.



2. ábra A jávorkúti meteorológiai állomáson regisztrált éves csapadékok 1960-2020 között, jelölve az átlagos csapadéérték: 840,6 mm (szerző saját szerkesztése OMSZ és Ém-Vizig adatok alapján)

Vizsgálatok (Darabos, et al., 2016) kimutatták, hogy a hegység területén növekvő tendenciát mutat a

- a 30 mm-nél nagyobb csapadékesemények előfordulási gyakorisága egy éven belül,
- a csapadékos napok száma,
- a 10, valamint 20 napnál hosszabb száraz periódusok száma egy évben,
- az egy adott évben előforduló maximális napi csapadék mennyisége.

Ezen eredmények felhívják a figyelmet arra, hogy az elmúlt néhány évtizedben a meteorológiai viszonyok változása kimutatható mértékű, melyek természetesen a hegység vízháztartására és vízforgalmára is hatással vannak (Darabos, et al., 2016).

A hegységben a napfényes órák számának évi összege 1900-1950, a fagymentes időszak 160 vagy annál kevesebb napig tart. Az első őszi fagyok szeptember végén, október elején jelentkeznek, ám a sajátos mikroklímának köszönhetően egyes fennsíki töbrökben a legmelegebb nyári hónapokban is előfordul éjszaka a fagypont alatti hőmérséklet. Átlagosan 80-100 napig fedi hótakaró a felszínt, melynek átlagos vastagsága 50 cm. Az elmúlt 27 év mérési adatai alapján a hó formájában hullott csapadék éves átlaga 144,6 mm. Az átlagos uralkodó szélirány nyugatias, az átlagos szélesebesség 4 – 4,5 m/s (Dövényi, 2010).

A Nagyfennsíknál alacsonyabban fekvő területeken az évi csapadékmennyiség kevesebb, 600-700 mm/év körül alakul, az évi középhőmérsékletek 2-4 °C-al magasabbak, a

hótakarós napok száma is kevesebb, átlagosan mindössze 70 nap/év, és a hóvastagság is 20-30 cm körüli (Dövényi, 2010).

### **4.3. A Bükk hegység hidrológiai viszonyai**

A Bükk felszíni vízfolyásai a Tisza vízgyűjtő területéhez tartoznak. A Bükk-fennsík karsztos területein hiányoznak a felszíni vízfolyások, mert a lehulló csapadék koncentrált formában víznyelőkön és az epikarszton keresztül, illetve diffúz formában a teljes talaj- és kőzetfelszínen szivárog be a karsztba. A víznyelőkön, illetve az epikarsztot megcsapoló függőleges karsztjáratokon keresztül beszivárgó vizek azután a felszín alatt csaknem horizontális karsztjáratokon keresztül áramlanak, és gyors (legfeljebb néhány napos) áramlási idővel jutnak el a karsztforrásokhoz (Darabos, 2017).

A források és a víznyelők hidraulikai kapcsolatát már az 1950-es években is kutatták, többek közt speleológiai módszerekkel is (Borbély, 1955), melyek eredményeit a későbbiekben számos nyomjelzéses kísérlet is igazolta (Sásdi, 2002). A víznyelők igen gyakran a karsztosodó és nem karsztosodó képződmények határán alakulnak ki. Ezek egy részében az allogén vízgyűjtő területről érkező patakok vize nyelődik el. Másik részük a patakmedrekben elhelyezkedő állandó, vagy időszakos víznyelő.

A Bükk területén nagyszámú, körülbelül 665 darab forrás található (OVF-VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete, 2000), ezek közül mintegy 65 regisztrált forrásnak jelentős, 10 000-40 000 l/perc (0,17-0,67 m<sup>3</sup>/s) hozama van. A természetes források hozama egyes esetekben csökkent a miskolci forrásfoglalások és az Eger környéki vízkitermelő kutak beüzemelésének hatására (Izápi & Sárváry, 1993).

A Bükk becsült vízgyűjtő területe 230 km<sup>2</sup>, a hosszú távú becsült beszivárgás mértéke 32,4 %. A karsztosodott fennsíki területen ennél valamivel több, 36 % beszivárgás becsülhető (Izápi & Maucha, 1992). A Bükk szabadtükrű karsztterületeit megcsapoló források vize hideg, azonban a Bükk hegylábi részein található források egy része langyos (10-25 °C) és meleg (25-30 °C) vizet ad (1. ábra) (hőmérsékleti besorolás Lénárt, 2005 munkája alapján). Ezek a források harmadidőszaki vízzáró üledékekkel fedett, mélyáramrendszerekből származó vizeket hoznak felszínre, melyek kora <sup>14</sup>C és <sup>3</sup>H izotópos vizsgálatok alapján 7 300-15 000 év közé becsülhető (Deák, 1989; Miklós, et al., 2020).

### **4.4. A vizsgált terület földtani, vízföldtani bemutatása**

A Bükkről rendelkező földtani információk és tudásanyag több geológus nemzedék munkája nyomán alakult ki. A legfontosabb kutatási eredmények főként Balla, 1983, Balogh, 1964, Csontos, 1999, 2000, Fülöp, 1994, Hevesi, 2002, Lénárt, 2006, Lénárt et

al., 2002, Less, 1991, , Pantó, 1951, Pelikán, 2005, Sásdi, 2002, Schréter, 1943, Szentpétery, 1953, Szlabóczky, 1974, Szoldán, 1990 nevéhez kötődnek. Földtani szempontból vizsgálva a Bükk a Pelsoi nagyszerkezeti egység, azon belül is a „Bükkium” szerkezeti egység részét képezi. A Bükköt DNY, D, K és ÉK felől fiatal medencék (Nagyalföld és Borsodi-medence) veszik körül, amelyek alatt a fúrásos kutatások alapján folytatódnak a hegységben található kőzetek és szerkezeteik. A Bükk csak az oligocén - kora-miocén során került jelenlegi helyére, a hegységet felépítő paleo-mezozóos és részben paleogén kőzetek rokonsága is alapvetően különbözik a tőle ÉNy-ra található területek hasonló korú képződményeiétől. A Bükk paleo-mezozoikum alapvetően dinári típusú, szemben az É-i területek déli-alpi és kárpáti rokonságával (Less, 2021).

Mai ismereteink szerint a hegység földtani fejlődéstörténete három főbb szakaszra bontható:

1. A karbon időkben a mélytengeri fácies fokozatosan sekélytengerivé alakult, melynek üledékei a hegység északi részén találhatóak meg. A karbon-perm határon üledékhézag van a rétegsorokban.
2. A perm-triász átmenetben a sekélytenger ismét mélyült, fokozatosan ment át nyílt tengeri környezetté. Ennek megfelelően a késő-perm – kora-triász időkben folyamatos a tengeri kifejlődés, a középső-triászban karbonátplatform, a késő-triászban pedig medencefácies jellemzi az üledékeket. Ekkor képződtek a hegység fő tömegét alkotó, nagy vastagságú mészkő formációk. A jura időkben a terület tektonikusan aktív volt, vulkánkitörések, riftesedések voltak jellemzőek, mely folyamatok során riftesedéshez kötött óceáni medence alakult ki. Ennek eredménye, hogy a jura üledékek (üledékhézag után) mélytengeri, sziliciklasztos-karbonátos jellegűek.

A későbbi időkben az egész terület mélyen betemetődött és nagyon kis fokú – anchizonális – metamorfózist szenvedett, majd kiemelkedve szárazfölddé alakult, és erősen lepusztult.

3. A harmadik fejlődési szakasz a paleogénre tehető, pontosabban a késő-eocénra, amikor a tenger ismét meghódította a területet. Ebben az időben képződött a kitűnő vízáradó képességű, biogén eredetű eocén mészkő, mely a déli területeken közvetlenül a triász korú mészkővekre települ. A tenger térhódítása a késő miocénra visszazorult, már csak a hegység peremi területeit borította. A kiemelkedés hatására bekövetkező erózió sok helyen lepusztította a fiatal üledékeket, és felszínre kerültek a mezozóos korú összletek is. Ennek, és a trópusi éghajlatnak köszönhetően indult meg az intenzív karsztosodás a

hegységben. (Pelikán, 2005), melyre a vörösagyagok képződése szintén bizonyítékként szolgál (Vincze, et al., 2005).

A Bükk erősen törve gyúrt szerkezetű, a korai kutatási eredmények alapján a legidősebb kőzetei a késő karbonba tartoznak (Schréter, 1954). A hegység fő tömegét triász korú karsztos összletek építik fel, melyek összvastagságát mintegy 3500 méterre teszik (Balogh, 1964), bár a fedett földtani térképet tekintve az látható, hogy a karbonátos formációk jó része nem karsztos rétegsorokkal fedett. A hegység kifejlődése a Belső Dinári Zónával mutat rokonságot, végső helyét a tektonikai mozgások révén csak a késő kainozoikumban foglalta el (Filipovic, et al., 2003). A hegységet felépítő kőzetek alapvetően két nagy sorozatba különíthetők. Közülük az egyik a kontinentális kérgen képződött, középső karbon-perm-triász-jura korú összletekből áll, melyek az ún. Bükki Autochtont építik fel. A másodikat az óceáni kérgen képződött, jura korú összletek alkotják, melyet Szarvaskői-Darnó takaróként ismerünk. A hegységet főként jól, valamint kiválóan karsztosodott, platform kifejlődésű triász korú mészkövek, valamint kevésbé, vagy kis mértékben karsztosodó mészkő, márga rétegek építik fel, agyagos közbetelepülésekkel. Jura palák és kréta vulkanitok (diabáz, gabbró, metabazalt) a hegység nyugati, délnyugati területein jelennek meg nagy felszíni kiterjedésben (Pelikán, 2005; Schmidt, 1962; Szentpétery, 1923; Szentpétery, 1953).

Kozák és McIntosh munkái alapján tudjuk, hogy a Bükk tömege a kiemelkedések, feltolódások fő iránya alapján északias irányú feltolódást szenvedett, a délre mutató vergenciák visszapikkelyeződés eredményei. A feltolódások szakaszosan történtek, időben és irányultságukban a következők voltak:

- $P_I$  erő – É-ÉK irányú, a késő jura-kora kréta időszakban szakaszosan ható erő, a fiatalabb korokban ÉNy-ias rotációval
- $P_{II}$  erő – ÉNy-ias vergenciájú erő, mely a kora krétában volt aktív
- $P_{III}$  erő – a  $P_I$  és  $P_{II}$  erő együttes működéséből származik, hatása feltehetően már a kora krétában jelentkezett, eredője É-ias, valamint fiatalabb korokban a  $P_{II}$  erő dominánssá válása miatt helyenként 15-30°-os, ÉNy-ias rotációval jellemezhető.

A kutatók megállapítása szerint ezen három kompressziós erő hatására alakult ki a hegységre jellemző ÉÉNy-ÉNy-ias vergenciájú, domborúan íves szerkezet, elrendeződés (3. ábra) (McIntosh, 2014; McIntosh & Kozák, 2017).

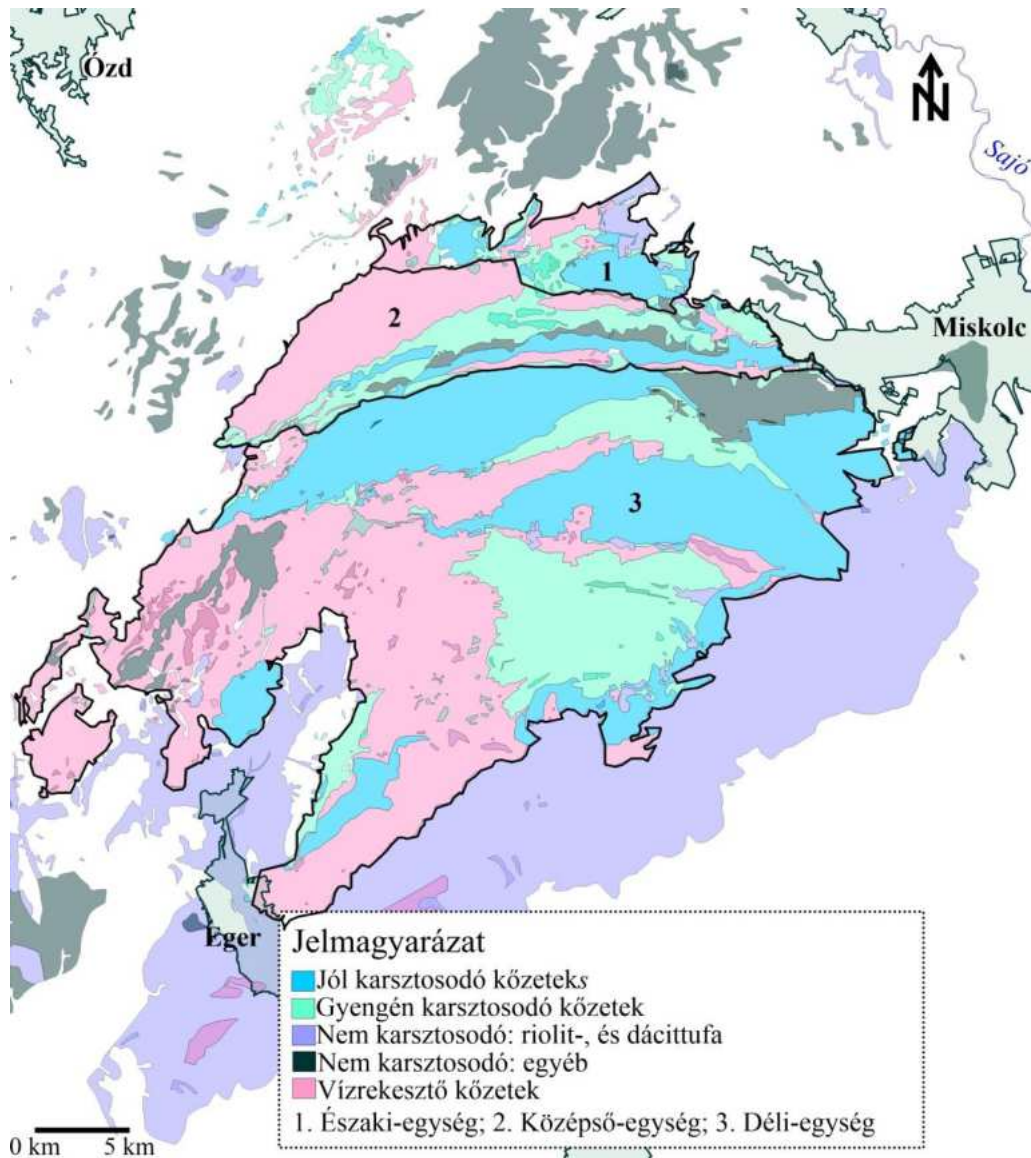
Számos, a hegység egészében elvégzett tektonikai mérések azt bizonyítják, hogy a fent említett erőhatások következtében a Bükk keleti része korábban és erőteljesebben kiemelkedett. Ennek következtében a karsztrendszer is nagyobb fejlettségi szintet ért el,



mely a későbbiekben az eredmények értelmezésében fontos szerepet játszik majd (McIntosh, et al., 2011; McIntosh & Kozák, 2017). A hegység tektonikus irányultsága nagyban meghatározza a felszín alá kerülő karsztvíz mozgásának mind irányát, mértékét, valamint mélységét is (McIntosh, 2014).

A hegységet alkotó formációk vízföldtani szempontú kategorizálása (Darabos, 2017) során készült vízföldtani térkép az 3. ábrán látható. A jól karsztosodó kőzetek csoportját főként középső, késő triász jól, kiválóan karsztosodott platform fáciesű mészkövek alkotják (Fehérkői Mészkő Formáció, Bükkfennsíki Mészkő Formáció, Kisfennsíki Mészkő Formáció). Mind kutatási, mind vízáramlási, tározási, ivóvízcélú vízkivételek szempontjából vizsgálva ezen összletek a legfontosabb víztartó egységek a hegységben. A gyengén karsztosodó kőzetek csoportjába tartozik a késő perm korú Nagyvisnyói Mészkő Formáció, a kora triász kifejlődésű Gerennavári Mészkő Formáció, a középső triász Hámori Dolomit Formáció, a késő triász Felsőtárkányi Mészkő Formáció és a jura korú Bükkzsérci Mészkő Formáció, melyek szintén nagy tömegben jelennek meg a hegységet felépítő kőzetek sorában. A vízrekesztő kőzetek kategóriájába tartozik a karbon korú Szilvássváradai Formáció, a perm Szentléleki Formáció, és a jura korú Lök völgyi, Vaskapu és Rocskavölgyi Formáció. Továbbá ide sorolták be a szintén jura korú radiolaritokat, mint a Bányahegy és Csipkéstetői Radiolarit Formációt, továbbá a triász-jura kifejlődésű metamagmatitokat is (Szentistvánhegyi Metaandezit, Bagolyhegyi Metariolit, Szinvai Metabazalt, Létrási Metabazalt, Szarvaskői Bazalt és Tardosi Gabbró Formációk). A hegységet alkotó csekély vízvezető képességű összletek, palák helyenként kisebb-nagyobb vastagságban tartalmaznak karbonát-tartalmú közbetelepült rétegeket, melyek tározhatnak ugyan karsztvizet, de kis mennyiségben (például Zobóhegyesi, Mályinkai, Ablakoskővölgyi, Vesszősi, Oldalvölgyi vagy Mónosbéli Formáció). A nem karsztosodó vulkáni eredetű rétegsorok (riolit-, és dácittufa) főként a hegységelőtéri területeken találhatóak nagy kiterjedésű felszíni előfordulásokban (3. ábra) (Kovács, 2003; Pelikán, 2005).

Vízföldtani szempontból semmiképp sem felejtendő el az eocén korú Szépvölgyi mészkő sem, mely kitűnően karsztosodott, nagyon jó vízvezető és vízáradó képességű formáció, amely a bükkaljai területeken vastag üledékekkel fedve, nagy mélységben eltemetve található meg (Pelikán, 2005). Ez a formáció a balneológiai célú termálkarsztvizek egyik fő vízáradója, melyet azon triász korú karbonátos összletek táplálnak, melyekre rátelepült, s amelyek a Nagyfennsík irányába haladva lépcsősen emelkednek ki a rotálva feltolódás miatt.



3. ábra A Bükk hegység és közvetlen környezetének vízföldtani kategória térképe (forrás: (Darabos, 2017)), és fő vízföldtani egységei (1, 2, 3) (Pelikán, 2005)

A hegység hidrogeológiáját, hidrodinamikáját egyrészt az eltérő vízföldtani tulajdonságú rétegek, közöttük váltakozása, valamint a szerkezetére jellemző nagyléptékű gyűrődések határozzák meg. Ezek alapján a hegység három fő vízföldtani egységre osztható fel, melyek a következők (3. ábra):

1. Északi-egység, a nagy bükki antiklinális északi szárnya
2. Középső-egység, a bükki antiklinális déli szárnya
3. Déli-egység, melyet a középső triász-felső jura összletek alkotnak (Pelikán, 2005).

Ezen fő egységeket jelentős tektonikai elemek határolják, ám ezen elemek hidraulikailag kapcsolód(hat)nak egymáshoz.

A triász korú karbonátos vízadók jelentős vízkészleteket tartalmaznak. Úgy tűnik, hogy az egész bükki karbonátos vízadó hidraulikai szempontból összefüggő regionális léptékben tekintve. Mindemellett, számos – lokális vagy szubregionális léptékű – karsztos vízgyűjtő mutatható ki ezen belül. Ezek egy része a karsztosodott zóna alatt egymással hidraulikai kapcsolatban áll, más részüket azonban kis permeabilitású kőzetek választják el egymástól (Kovács, et al., 2015).

A Bükk-fennsíkon igen elterjedtek a karsztos felszínformák. Hegységszerkezeti okokból, hidrogeológiai szempontból elkülönült helyzetben van a Kis-fennsík területe, melynek karbonátos kőzetei gyengébben karsztosodottak. A vertikális karsztosodottság mértéke nem nagy, és a hegység ezen része nem rendelkezik termálkarsztos gyökérszónával (Kozák, et al., 2009). Ezzel szemben a hegység központi részét képező Nagy-fennsík triász korú vízadó kőzeteinek elterjedése nem korlátozódik a nyílt karsztosodott zónákra, ezek a kőzetek tovább folytatódnak a medence üledékek alatt akár több ezer méteres mélységben, valamint keleti, déli, nyugati, délnyugati irányban, a Mátra alatt is. Kiemelt helyzetű, sasbérces zónájában a mélységi vízadó kőzetek a felszín közeli sekély zónában találhatóak és felszálló termálforrások formájában megcsapolódnak. Ilyen jellegű vízföldtani helyzet alakult ki Egerben. A várostól délre található Andornaktálya, Demjén és Egerszalók településeken és környékükön számos termálkút üzemel. Az egerszalóki és demjéni kutak kifolyó vizeinek hőmérséklete 59-82 °C, a Miskolc térségében a Mályi 1. kút (MAL-PE-01) vízhőmérséklete meghaladja a 100 °C fokot is.

#### **4.5. A terület geotermikus viszonyai**

A földi hőáram értéke a kőzetek hővezetőképességének, valamint a függőleges hőmérsékleti gradiens szorzataként adható meg:

$$q = -\lambda gradT = -\lambda G \tag{1}$$

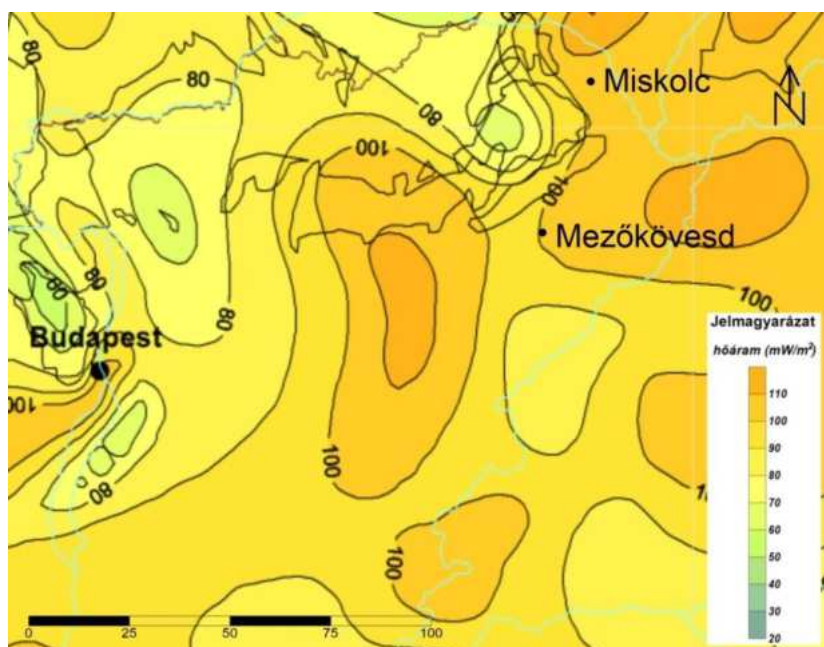
ahol:

- $q$  a hőáramsűrűség [ $W/m^2$ ]
- $\lambda$  a fajlagos hővezető képesség [ $W/m^\circ C$ ]
- $gradT = G$  a hőmérsékleti gradiens [ $^\circ C/m$  vagy  $^\circ K/m$ ]

(Pethő & Vass, 2011).

A hő nagy része a Föld magja felől érkezik, kisebb része pedig a természetes radioaktív bomlásból származik.

A Bükkalja mélységi hőmérsékletviszonyait a földi hőáram (4. ábra), a kőzetek hővezető képessége, valamint a konvektív hőáramlás határozza meg. A víznek nagy a fajhője, a környező kőzeteknek pedig alapvetően rossz a hővezető képessége, emiatt az áramló víz (valamint a litoszféra felől érkező folyamatos hőnek köszönhetően) sokáig megtartja bázishőmérsékletét, illetve a mélység felé haladva folyamatosan nő a hőmérséklete.



4. ábra A Bükk és környékének földi hőáram sűrűsége (forrás: (Horváth, et al., 2005))

Magyarország geotermikus viszonyok tekintetében európai szinten is kiemelkedő helyzetben van. A földi hőáram kontinentális átlaga  $65 \text{ mW/m}^2$ , mely érték a Kárpát-medencében  $90\text{-}100 \text{ mW/m}^2$  átlagérték körül alakul (Lenkey, et al., 2002). A 4. ábraán látható földi hőáram sűrűség térkép alapján a vizsgált bükkaljai terület alatti átlagos hőáramsűrűség is  $90\text{-}100 \text{ mW/m}^2$  értékű.

#### 4.6. A Bükki Termálkarszt kutatástörténeti áttekintése, feltártsága, vízmozgás a hegységben

A bükki karszt és termálkarszt kutatása már évszázadok óta foglalkoztatja a kutatókat, hidrogeológusokat. A bővízü egri és kácsi forrásokról már Bél Mátyás is megemlékezett 1730-35 közötti, publikálásra előkészített kéziratában (Bán, 2001). 1762-ben Mária Terézia elrendelte, hogy a megyei tisztifőorvosok írják le a megyéjükben található ásvány- és gyógyvíz forrásokat. Heves Megyében Markhót Ferenc végezte el ezt a munkát 1764-ben, melynek egy kéziratot példánya az egri megyei levéltárban megtalálható. Borsod megye hasonló feldolgozását Dombi Sámuel készítette, munkája 1766-ban nyomtatásban is megjelent. Az első termálkutató Egerben mélyítették 1870-ben, fúrásos hévízkutatás keretein belül. Pazár István 1906-ban egy új, városi fürdő létrehozásának lehetőségét hidrogeológiailag lehetségesnek tartotta, az általa is javasolt kutató Schréter Zoltán fúratta

1925-ben. Az egri fürdők vízellátása céljából az 1960-as években a szénhidrogénre meddő andornaktályai kutatófúrások vizét balneológiai céllal Egerbe vezették és felhasználták. 1927-29 között Pávai Vajna Ferenc lillafüredi termálfúrókutató fúrása sikertelen lett. A szénhidrogénre meddő kutakra (Mezőkövesd 1938-ban, Bogács 1959-ben, Egerszalók 1964-ben) létesített fürdők továbbfejlesztése céljából napjainkig jelentős számú termálkarsztkút létesült a Bükk előterében. A Miskolci Vízművek kialakításának geológiai-hidrogeológiai előmunkálatai 1884-ben kezdődtek. Több nem karsztos vízbeszerzés lehetőségét elvetették a kutatások alapján, s végül 1906-ban döntöttek a miskolctapolcai Hejő-források foglalásáról (Lénárt, 2002).

Juhász, 2002 sok évtizedes vizsgálatait, tapasztalatait alapján megállapította, hogy a hegységben a nagyméretű hasadékok, járatok úgy vesznek részt a vízkörforgalomban, hogy a közlekedőedények elvét követik, tehát az egész rendszerben nagyrészt egységes víztükör jön létre. A hegység jellegzetes domborzata, különösen bonyolult földtani felépítése és törve gyűrt szerkezete miatt sokáig vita tárgyát képezte a kutatók között az, hogy egységes karsztvíztestről lehet-e beszélni. Ezt az elméletet vallotta Kessler, 1964 a tapolcai vizsgálatait során, Böcker, 1969a a bükki karsztvíz hasznosításának vizsgálatait során, Schmieder et al., 1976 és Szilágyi et al., 1980 a recski ércelőfordulás regionális vízföldtani adottságainak vizsgálata során. Aujezky&Scheuer, 1974 részletes, egész Bükkre kiterjedő vízföldtani vizsgálataik, valamint a hegységre felírt vízháztartási egyenlet alapján valószínűsítik a „nagy karsztvízrendszer” létét, és azt, hogy a hideg karsztrendszerből történik vízátadás a mélykarszt felé. Ezt vizsgálta Tóth, 1976 részletes elemző tanulmánya is, melyben elsőként készített, a hegységre kiterjedő karsztvízszint térkép került bemutatásra. A fent felsorolt szerzők szinte mindegyike már az előző évtizedekben megfogalmazta karsztvízszint megfigyelőkutak létesítésének szükségességét és fontosságát.

Lénárt kutatásai szerint a Bükk hegység tömege döntően hideg karsztvizet tárol, de ezen víztest kapcsolatban áll a hegységelőterben nagy vastagságú üledékekkel fedett karsztos összletekkel is, melyek nagy mennyiségű termál karsztvizet tárolnak. Ezek alapján a Bükkben egységes hideg-meleg karsztrendszerrel kell beszélni, mely a hosszú távú regionális vízgazdálkodás szempontjából, a karsztvíz mennyiségi és minőségi állapotának megóvásakor rendkívül nagy jelentőséggel bír (Lénárt, 2006).

A hegység regionális áramlási, hidrodinamikai képét a bükki karsztrendszer egységes, összefüggő mivoltának feltételezésével Szilágyi és munkatársai alkották meg 1980-ban (Szilágyi, et al., 1980). A Bükk hegységben a karsztosodó kőzetek sajátos felszíni és felszín alatti vízáramlási jeleget hoznak létre. A hegység egyes területei, például a

Nagymező, felszíni lefolyással szinte nem rendelkezik. Az ezen a területen hullott csapadék a felszíni vékony talajtakarón átszivárogva a mészkő és dolomit összletek repedéshálózatán keresztül jut le a karsztvízszintig, majd onnan halad tovább a vízkilépési pontok, valamint a mélység felé. A hegység azon területein, ahol a felszínen nem karsztos kőzetek találhatóak, ott karsztos-nemkarsztos kőzethatárokon, víznyelő barlangokon keresztül jut a beszivárgott vízmennyiség a karsztos kőzettömegbe. A Bükk-vidék vízmozgását, a hegység és környékének hidraulikai tulajdonságait alapvetően a Bükk központjában lehulló csapadék beszivárgott vízmennyiségéből származó karsztvízszint vezérli mind a hideg, mind a termál karsztvizek esetében (Lénárt, 1994).

Mindazok ellenére, hogy számos kutató évtizedek óta azon az állásponton van, hogy a Bükkben a hideg és termál karsztrendszer kapcsolatban van egymással, hidraulikailag folytonosnak tekinthető, a Vízyűjtő-gazdálkodási Tervben a hegységben három víztest került kijelölésre (6. ábra). Ezek közül kettő hidegkarsztos (k.2.1 – Bükk nyugati karszt, k.2.3 – Bükk keleti karszt) egy pedig termálkarsztos (kt.2.1 – Bükki termálkarszt) víztestként került meghatározásra és besorolásra (VGT 2, 2015), mely sok szakember véleményével, és kutatási eredménnyel ellentmond.

Izápy&Maucha, 1992, Lénárt,2011a, 2011b és Szlabóczky, 1974 munkája alapján a Bükk és térségének földtani, morfológiai tulajdonságai alapján az alábbi feltételek együttesének szükséges teljesülni ahhoz, hogy termál karsztvíz képződhessen a Bükki Termálkarsztban:

- a) utánpótlódás, főként csapadékból, melyből legalább évi 150-200 mm eléri a nyílt karsztvízszintet
- b) nagy vastagságú, jól, kitűnően karsztosodott, kiváló vízvezető képességű kőzettömeg, melynek nagy része több száz méter vastagságú, rossz vízvezető képességű, vízrekesztő üledékekkel fedett, eltemetett helyzetben van, ebből a kőzettömegből viszont egy része nyílt karsztos terület, több száz méteres kiemelt magasságban, jó beszivárgási viszonyokkal
- c) az előző két pontban vázolt egység folyamatos átmenettel kapcsolódjon egymáshoz
- d) a nyílt karszt és a fedett, leszorított tükrű karsztvíz tározók földtani-vízföldtani kapcsolata jó, nagyon jó legyen, a leszorított tükrű karsztvíz tározóban a vízmozgás iránya a nyíltkarsztos területtől távolodjon
- e) a fedett, leszorított tükrű karsztvíz tározóban a horizontális vízmozgás feltételei jobban teljesüljenek, mint az azt fedő üledékekben a vertikális vízmozgás

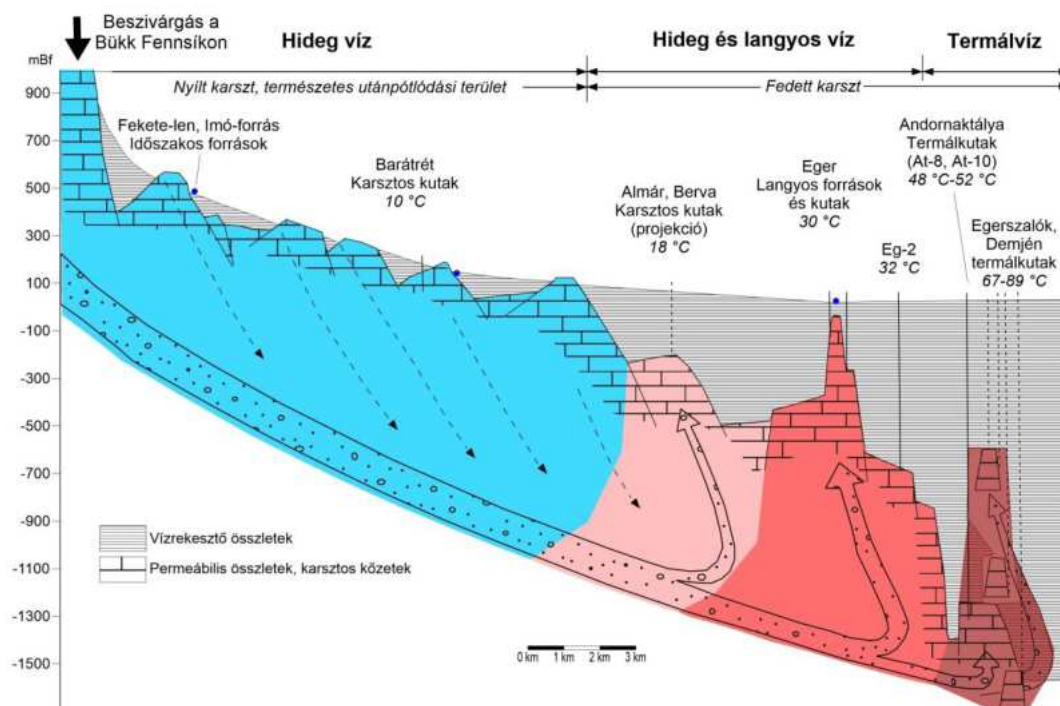
- f) a nyílt karsztos területen a beszivárgás 10-15 %-a vertikális irányban a mélység felé mozoghat, ezzel biztosítva a mélykarszt utánpótlását
- g) a terület magas földi hőáramsűrűségbeli tulajdonságokkal rendelkezzen, vagy vulkáni utóműködés legyen jelen, mely a közeg emelkedett hőmérsékletét, és ezáltal a mélybe jutott víz felmelegedését okozza

A dolgozatban ezen logika és feltételezés mentén mutatom be az elvégzett vizsgálatokat és eredményeket. *Az alapkoncepció az, hogy a beszivárgási terület a Bükk központi része. A hideg és a meleg karsztrendszer összefüggő egységet alkot. A beszivárgott vízmennyiség egy része hidegvizes karsztforrásokon keresztül távozik a rendszerből, egy része kitermelésre kerül és egy része a peremi törmelékes kőzetekbe átadódik. A ki nem lépő vízmennyiség szolgál utánpótlóként a termálkarsztos víztestek felé. A hegység központi részében, a hidegkarsztos víztestben tárolt vízoszlop a gravitáció hatására hidrosztatikus nyomást fejt ki az alatta található termálkarsztos rendszerre, mely egyben az áramlást is generálja. A termálkarsztos víztestekből történő vízkivételek hatására a kutak hatásterületén fellépő potenciálcsökkenés hatására a rendszer természetes egyensúlya megváltozik, felgyorsítja az áramlási pályákon mozgó víz sebességét.* Hidrogeológiai szempontból vizsgálva ez a tevékenység hosszú távon a termálkarsztban fellépő potenciál csökkenést, hőmérséklet csökkenést, a hidegkarszt rendszerben pedig vízszint csökkenést eredményez, de az ilyen jellegű változások kimutatása nehézkes, és a rendszerre ható minden paraméter ismerete szükséges hozzá.

Az 5. ábra mutatja be a Bükk hegységben a vízáramlás rendszerét. Mint az ábrán is látható, a hegység előterében a mészkő rétegek fokozatosan buknek a mély felé, egyre vastagabb üledékrétegekkel fedettek, és a mélybe kerülve a karsztos víztartóban áramló és tárolt víz fokozatosan felmelegszik. A hegység lábánál, ahol a karsztos vízadó összletek a felszínen vagy felszín közelében helyezkednek el, az intermedier (köztes) árampályákról érkező vizek langyos és meleg vizű forrásokként lépnek felszínre.

Ezt bizonyítja az 1. ábra is. E források az utolsó természetes felszíni megcsapolódási pontjai a Bükki Termálkarszt rendszerének. Ezen túlmenően a termálkarsztvíz feltárása és kitermelése csak kutakon keresztül lehetséges, melyre számos példát láthatunk a Bükkalja területén (Eger, Egerszalók, Demjén, Bogács, Mályi, Mezőkövesd, Miskolc). Mivel a víz folyamatos körforgásban van, a hidegkarszt felől érkező utánpótlódás pedig folyamatos, a karsztos víztartók felszínre ki nem lépett és ki nem termelt vízmennyisége fokozatosan átadódik az alföldi porózus rétegekbe.





5. ábra A vízáramlás rendszere a Bükkben és a hegység környezetében a DNy-i terület példáján keresztül bemutatva (Aujeszky & Scheuer, 1974; Izápi & Sárváry, 1993; Lénárt, 2008) nyomán

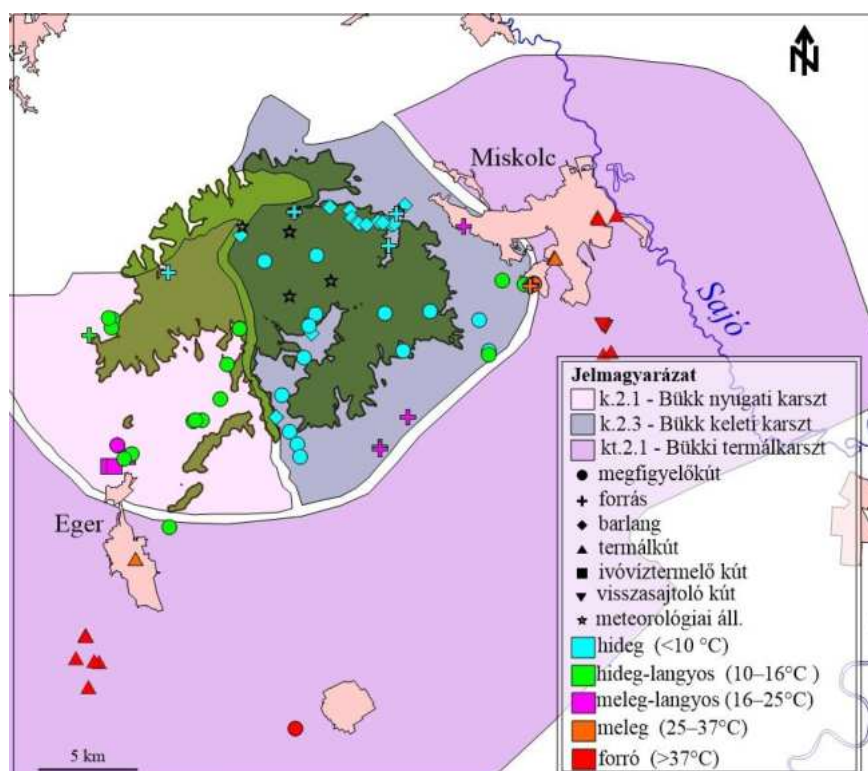
Korábbi munkák során a hegységben a hideg és meleg vizes rendszer technikai határát a hegység legalacsonyabb pontján természetes úton kilépő forrás szintjénél húzták meg, mely a 127 mBf-i szinten található Termál-forrás szintje, mely Miskolc-Tapolcán található (Darabos, et al., 2017). Alsó határa megfelelő fúrások hiányában nem ismert, így alsó határa a Bükk előterében található jelenlegi legmélyebb kút alsó vízbelépési pontja (Darabos, 2017) (MAL-PE-01, -2138,25 mBf).

#### 4.7. A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) bemutatása

A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer 1992-ben – Stéfán Márton vízügyi igazgatósági főmérnök kezdeményezésére – azért indult, mert az 1980-as évek legelejétől folyamatos volt a csapadékhiány, melynek hatását ő forrásokban, kutakban és barlangokban javasolta vizsgálni. Mivel a bükki nagy források csaknem kivétel nélkül ivóvízellátás céljára foglalva lettek, az ivóvízbiztonság miatt szükség volt/van a hegységben lejátszódó vízmozgások minél alaposabb megismerésére is. Erre a víztermeléssel nem befolyásolt karsztvízfigyelő kutakból, forrásokból, barlangokból származó folyamatos adatok adnak legtöbb információt, de fontosak a termeléssel zavart adatok is. Az 1981-1995 közötti jelentős csapadékhiányos időszak hatását az 1978-1981 közötti években a Böcker, 1969b



Tivadar tervei alapján fűrt öt karsztvízszint figyelő kút segítségével vizsgálták, időszakos mérésekkel. A folyamatosan mérő műszerek telepítése a karsztvízszint figyelő kutakba, forrásokba, termálkarsztkutakba, barlangokba a Miskolci Egyetem szervezésében 1992-ben kezdődött meg, a bükki karsztvíz termelésben érintett vízművek segítségével. Összesen több mint száz helyen történt rövidebb-hosszabb idejű mérés, kiegészítésként vagy adatsereként legalább két tucatnyi helyről állnak rendelkezésre rövidebb-hosszabb időt átfogó adatok. A BKÉR fenntartása a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézethez tartozik. A fontosabb mérési pontok elhelyezkedése, valamint típusa a 6. ábrán látható.



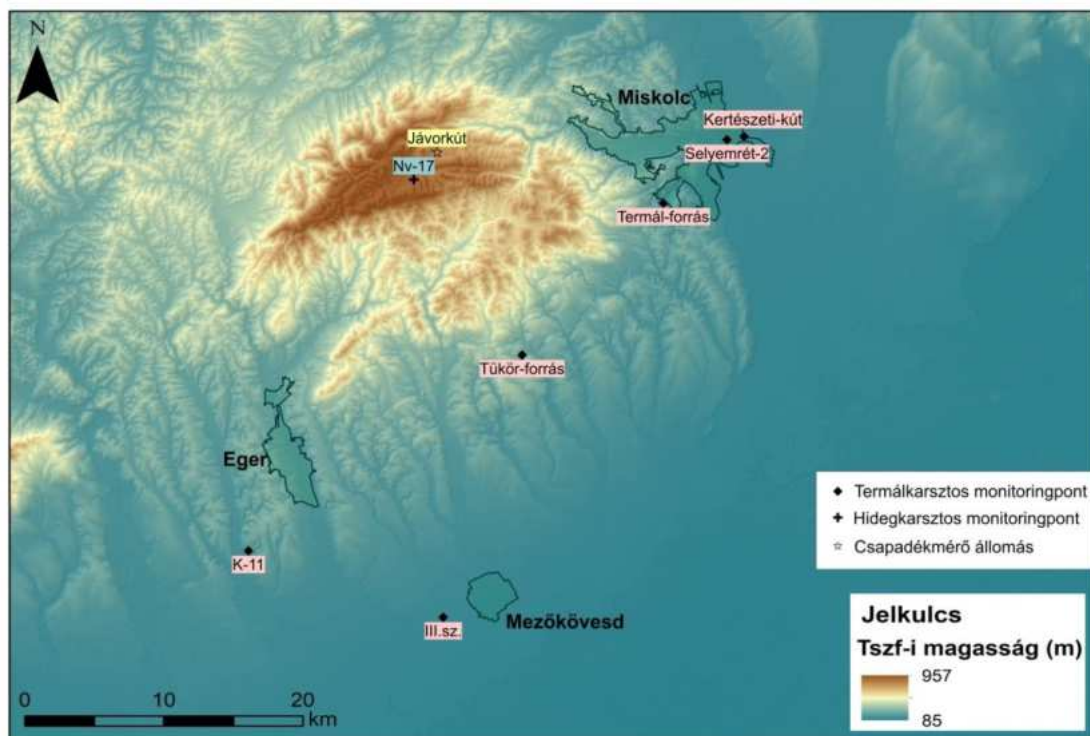
6. ábra A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer mérőhelyeinek elhelyezkedése, típusai és a vízhőmérséklet az adott pontokon (szerző saját szerkesztése) (technikai beosztás Lénárt, 2005 nyomán), a bükki karsztos víztestek határai (VGT 2, 2015)

Pillanatnyilag 18 mérőhelyről van legalább 20 éves adatsorunk, ezek közül hat mai mérőhelyen a mérések 1992-ben kezdődtek meg. A mérési gyakoriság zömmel 15 perces, az adatok többsége vízszint (nyomásszint), jelentős számú vízhőmérséklet, kevesebb víz vezetőképességi, nagyon kevés radon adattal (Lénárt, 2018).

#### 4.7.1. A vizsgálatba bevont mérőhelyek ismertetése

A későbbiekben bemutatott idősor elemzéseket (6. fejezet) a BKÉR egyes mérőhelyeiről származó adatsorokon végeztem el. Az eredmények könnyebb értelmezése érdekében

szükségesnek látom a mérőhelyek részletesebb bemutatását. Az egyes monitoring pontok elhelyezkedését az 7. ábra mutatja be.



7. ábra A vizsgálatokba bevont mérőhelyek elhelyezkedése (szerző saját szerkesztése)

#### 4.7.1.1. Nagyvisnyó-17 (Nv-17)

A Nagy-fennsíkron található, a BKÉR legfontosabb mérőhelye. Kassai, 1948 vizsgálatai során megállapította, hogy a mozgásban lévő karsztvízszint felülete nem sík, hanem felső szakasza felülről nézve domború. A megfigyelőkút a karsztvíz-domborzat szempontjából tetőhelyzetben elhelyezkedőnek tekintjük, ezáltal a tetőhelyzetben lévő karsztvíz szintjét ez közelíti meg legjobban, és a kutatások során ezt tekintjük etalonnak. A kút mélysége 350 m, szűrőzött szakaszai 310-317 m és 325-331,5 m között helyezkednek el, a triász korú Bükkfennsíki Mészke Formációban. A vízszintmérés és regisztrálás 1992.10.10-én kezdődött, azóta gyakorlatilag hiánytalan az adatsora. Az utóbbi években hőmérséklet és vezetőképesség mérés is történik a kútban.

#### 4.7.1.2. Kertészeti-kút, Miskolc

A kutat 1986-ban létesítették, 464 m csövezett mélységű, szűrőzött szakasza 447,2-464 m között található triász korú mészkőben. A kútban elhelyezett 2 db mérőműszer kútfejnyomást és víz hőmérsékletet mér, 2014.01.01-től áll rendelkezésre folyamatos adatsor. A kútból jelenleg a MIVÍZ Kft. telephelyi épületeinek melegvíz ellátása és fűtési célú vízkivétele történik, pozitív, szabad kifolyású, szivattyúzás nélkül termelő kút.

#### **4.7.1.3. Selyemrét-2. sz. kút, Miskolc**

1964-ben létesített kút, a fúrás mélysége 620 m, ebből 592 m csövezett szakasz, 592-620 m között nyitott szakaszon lép be a termálkarsztvíz a kútba. A vízadó triász korú mészkő. A kút a Selyemréti Strandfürdő termálvízigényét fedezi, pozitív, szabad kifolyású, szivattyúzás nélkül termelő kút. A kútban kútfejnyomás és hőmérséklet mérése történik, 2014.01.01-től áll rendelkezésre folyamatos adatsor.

#### **4.7.1.4. Termál-forrás, Miskolctapolca**

Miskolctapolcán található langyos-melegvízes forrás, mely a Barlangfürdő vízellátására és ivóvízellátásra foglalt forrás. Átlagos vízhőmérséklete 30-31 °C. A Bükk keleti részén, a Bükkfennsíki Mészkő Formáció peremén helyezkedik el. A forrás a MIVÍZ Kft. üzemeltetése alatt áll, de 1992.10.07 óta, a mai napig történnek benne mérések. A számítások során 2004.08.13 – 2010.09.07 közötti időszak vízszint adatsorát használtam fel.

#### **4.7.1.5. Tükör-forrás, Kács**

A forrás Kácson található, a Délkeleti-Bükk déli peremén, gyengén karsztosodó összletek peremén lép felszínre. Átlagos vízhőmérséklete 21,8 °C. 2001.04.01 óta történik vízszint-, és hőmérsékletmérés több rövidebb-hosszabb adathiánnyal. A számítások során a 2007.01.07 – 2017.01.05 közötti időszak adatsorát használtam fel.

#### **4.7.1.6. Zsóry-fürdő, III. sz. megfigyelőkút, Mezőkövesd**

1969-ben létesített kút, melyben 2008-ban szűnt meg a termálkarsztvíz termelése. Azóta a fürdő területén megfigyelőkútként működik. A kút csövezett mélysége 957,6 m, 971,9 m-ig nyitott szakasz található, emellett 5 db szűrőszakasza eocén és triász korú összleteket szűrőz (sorrendben: konglomerátum, mészkőbreccsa, mészkő, mészkőbreccsa, kvarcit). 2010.03.21-től áll rendelkezésre folyamatos, valamint termeléssel közvetlenül nem zavart vízszint adatsor.

#### **4.7.1.7. K-11, Demjén**

A hévíztermelő, pozitív, szabad kifolyású, szivattyúzás nélkül termelő kút Demjénben található, 950 m-es csövezési mélységű. Szűrőzött szakaszai 848-865 m, 876,7-890 m, 900,4-916,7 m és 928,5-940,5 m között helyezkednek el eocén és triász korú mészkőben. A kútban kútfejnyomás és vízhőmérséklet mérés történik, 2011.10.28 óta állnak rendelkezésünkre egybefüggő, folyamatos mérési adatok.

## 5. Hidrogeotermikus vizsgálatok a Bükki Termálkarsztban

A fejezetben bemutatott vizsgálatok segítségével célom komplex módszerekkel vizsgálni és pontosítani két vizsgálati területen (Egerszalók-Demjén és Miskolc és környéke) az eocén/triász korú karbonátos víztartók helyzetét, valamint hőmérséketi viszonyait.

Első lépésben felállítom a két terület fejlődéstörténeti modelljét, majd PetroMod szoftver segítségével kútszintű 1D-s modellezést végzek és vizsgálom a modelleredmények megbízhatóságát mérési adatok segítségével.

Egerszalók-Demjén térségében két, Miskolc és környékén három szelvény mentén vizsgálom a hőmérséklet-eloszlást. Emellett geotermikus lépcső értékek segítségével is vizsgálom mindkét terület geotermikus viszonyait, és ennek, valamint a rendelkezésre álló adatok területi eloszlása miatt Egerszalók-Demjén területére különböző mélységszintekre készítek horizontális hőmérséklet-eloszlási térképeket.

Felhasználva az elkészült szelvények földtani adatait,  $^{14}\text{C}$  mérési eredményeket, valamint vízkémiai adatokat, Miskolc és környékére két szelvény mentén megadom a terület koncepcionális karsztvíz áramlási viszonyait.

### 5.1. A PetroMod szoftver bemutatása

Az üledékgyűjtő medencék geológiája és geokémiája már több mint egy évszázada foglalkoztatja a kutatókat. Az első medencemodellező programot 1980 körül fejlesztették ki, melynek fő célja a hőáram viszonyok, valamint a geokémiai scenáriók modellezése volt annak érdekében, hogy az anyakőzet érettségi fokát értékelni lehessen (Yükler, et al., 1979). Azt persze fontos kihangsúlyozni, hogy ezen kutatási irányzat főként a kőolajipar szolgálatára fejlődik, hiszen a potenciális szénhidrogén lelőhelyek felkutatása az elmúlt évtizedek egyik legnagyobb érdeklődésre számot tartó ágazata. Ebben a kérdéskörben a hőáram számítások kapják az egyik legnagyobb hangsúlyt, hiszen ha a paleohőmérsékletek ismertek, a kémiai kinetikai egyenletek alapján már értékelhető a kőolajképződés helye és foka. Idővel a geológiai, kémiai, valamint transzportmodellezés is jelentős mértékben tovább fejlődött. A Schlumberger Company 1990 óta fejleszti a PetroMod modellezőszoftvert, mely azóta már több szoftvergenerációt felölelő fejlesztésen ment keresztül (Hantschel & Kauerauf, 2009).

Mint már említettem, a szoftver alapvetően a szénhidrogénkutatás területére specializálódott, mely alkalmas dinamikus medencemodellezésre, figyelembe véve a lejátszódott földtani folyamatokat, beleértve az üledékfelhalmozódást, pórusnyomás számításokat, kompakciót, hőáram analízist és paleohőmérséklet valamint jelenkori hőmérséklet-meghatározást is. A szoftver a klasszikus szénhidrogénipari alkalmazása során a bemenő paraméterek (rétegsor, időadatok, a hőáram üledék- víz határzóna

hőmérséklete, tektonikus események) mellett a szénhidrogén érésének kinetikájával is dolgozik. A kapott modellezési eredményeket kalibrálni kell olyan mért értékekre, mint a vitrinit reflexió, vagy egyéb biomarkerek termikus átalakulási folyamatai. Szintén a modellezés részét képezi a szénhidrogén keletkezésének, végbemenő adszorpciós folyamatainak, a keletkező folyadékfázisok összetételének és a migrációs folyamatok numerikus leképezése (Hantschel & Kauerauf, 2009).

Dolgozatomban nem a klasszikus értelemben vett módon használom fel a PetroMod szoftver adta lehetőségeket, hiszen a dolgozat nem szénhidrogén kutatásra irányul. Fő célom a Bükkalja területén mélyült fúrások földtani információit felhasználva a terület felszín alatti hőmérsékleti viszonyainak modellezése, mely újdonságnak számít ezen a területen.

## **5.2. A modellezések során alkalmazott input paraméterek ismertetése**

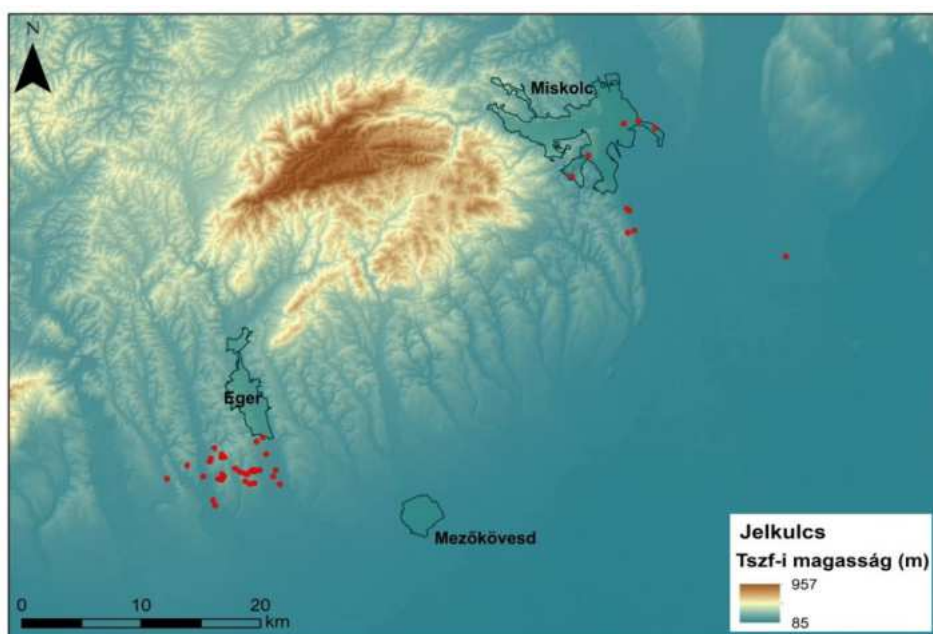
Mivel a modellezésekhez felhasznált kutak csak a triász korú karsztos kőzetekig mélyültek, a terület fejlődéstörténetének részletesebb ismertetését a kora-triásztól kezdve mutatom be. Ezt azért tartom nagyon fontos elemnek, mert a minél pontosabb közelítés érdekében az egyes fejlődéstörténeti folyamatokat kvantitatív módon szükséges a modellbe beépíteni. Tehát nem csak a fúrási rétegsorok adataiból épülnek fel az 1D-s kútmodellek, hanem a megfelelő, medencefejlődés szempontjából releváns és befolyásoló földtörténeti eseményeket is meg kell adni a modell kvantifikált felépítéséhez. A terület részletes fejlődéstörténetének bemutatása a 2. mellékletben található.

A modellezés során a tiszántúli régió öt nagyobb, hidrogeológiai és geotermikus szempontból is különböző karakterrel jellemezhető egysége közül négyet érintenek a vizsgált mélységek. E négy egység a vizsgálatokba bevont fúrási rétegsorokban is jelentkezik a Bükkalja területén:

- a) mezozóos-paleogén képződmények,
- b) miocén vulkanitok és vulkanikus eredetű szedimentek,
- c) pannóniai rétegsor vízrekesztő alsó-, és víztartó felső összletekkel
- d) negyedidőszaki fluviális-eolikus képződmények (Kozák, et al., 2011).

A dolgozatban fúrási rétegsorokat használok fel, melyekből kútszintű 1-D modelleket készítek. A rendelkezésre álló 44 kút közül 26 szénhidrogén-kutató fúrás volt, ezeknek egy részét eltömedékelték, másokat kúttá képezték vagy felhagyásra kerültek. E kutak fúrási naplóiban fellelhető rétegsor információkat és, esetenként, további paramétereket (pl. hőmérséklet) dolgoztam fel és alkalmaztam a modellépítés során. A további 18 kút vízföldtani naplóiban található rétegsorok alapján építem fel a kútszintű modelleket. Minden fúrás esetén alapkritérium, hogy a kút érje el az eocén vagy triász korú vízadó

mészke összeteket, valamint elegendő földtani információ álljon rendelkezésre ahhoz, hogy modell készülhessen belőlük. A felhasznált kutak területi elhelyezkedését a 8. ábra mutatja be, a felirattal és kútlistával ellátott térkép, valamint a kutak alapparaméterei (12. táblázat) az 1. mellékletben található. A Bükkalja területének ismertsége-megkutatottsága igen eltérő. A különböző típusú fúrások/kutak eloszlása hektikus, egyes területeken koncentrálódik, és ez nem teszi lehetővé az egész Bükkalja területén a mélységbeli hőmérsékleteloszlás-modell felállítását. Ezért a továbbiakban két részterületre fogok fókuszálni, ahol kellően nagy az adatsűrűség. Ezek a Demjén és környéki, valamint a Miskolc és környéki kijelölt vizsgálati terület (8. ábra).



8. ábra A modellezés során felhasznált kutak területi elhelyezkedése (szerző saját szerkesztése)

A rendelkezésre álló adatsorok adatbázisba foglalását követően első lépésben szükségszerű volt a rétegsorok bizonyos fokú egyszerűsítése, összevonása. Ezt nagyban befolyásolta az adott kútról való rétegsor leírás. Következő lépésben a rétegek korolása következett, amelynek során a Magyar Rétegtani Bizottság javaslatát (kainozoikum esetén), valamint a Nemzetközi Rétegtani Bizottság (mezozoikum esetén) kortáblázatát követtem (Karátson, D., 1997; stratigraphy.org, 2021).

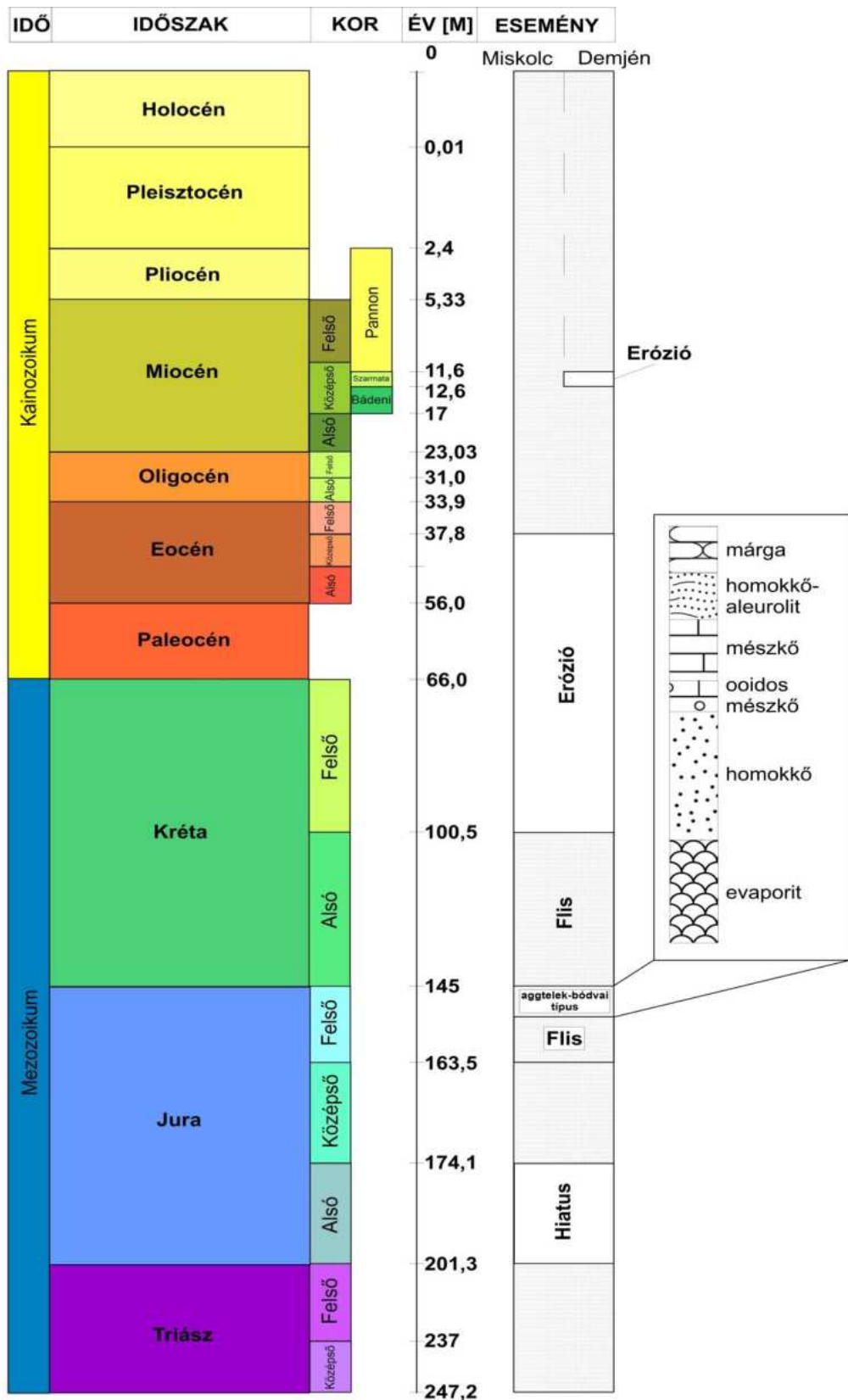
A medenceanalízis alapvetően az a folyamat, amelynek során a vizsgált területen megtalálható összetek közül a kevésbé deformált, valamint már hegységképző rétegsorok egykori üledékgyűjtőjének teljes fejlődéstörténetét tárjuk fel (Balogh, K., 1992). A terület fejlődéstörténeti modelljének megalkotásakor a 2. mellékletben ismertetett fejlődéstörténeti folyamatot vettem alapul. A modell a középső triásztól kezdődik, mivel a felhasznált fúrási rétegsorok ezen korú rétegek elérésével végződnek.

A modellfelépítés során a demjéni terület kútmodelljeibe beépítettem egy miocén eróziós szakasz, 11,6-12,6 M év között (Vrsaljko, et al., 2006). Ebben a kérdéses időszakban egy szigettengeri ősföldrajzi környezet valószínűsíthető (Royden, et al., 1983). Az erózió mértéke nem ismert, ezért részletesebb információk hiányában mindenhol azonosnak feltételeztem (Elias & Mock, 2013). Ezen kívül a kainozoikumi események modellépítés szempontjából lényegében nyugodtnak, megszakítatlan üledékképződési szekvenciának tekinthetők. A mezozoikumban azonban több olyan esemény történt (üledékképződés különböző típusú környezetekben, takarós áttolódás, kiemelkedés okozta lepusztulás), melyeknek ma már csak közvetett nyomai fedezhetők fel a hegységben. A folyamatok számszerűsítése során szakirodalmi, szakmai feltevéseket vettem alapul (Less Gy., 2021 szóbeli közlése alapján). Ennek megfelelően a modell felépítésében a kora jurában üledékképződési hiányt (hiatus) jelöltem, a középső jurában flis képződését. Sajnos a szoftver korlátai közé tartozik, hogy ugyan a takarós áttolódást képes kezelni és szimulálni, viszont ezen takaró későbbi elvékonyodását, lepusztulását már nem (az iterációs algoritmus működéséből adódóan). Mivel azonban a késő jura végére a szakirodalom egy nagy vastagságú, aggtelek-bódvai típusú takaró áttolódását, és ezáltal az üledékek befedését feltételezi, ezt az eseményt semmiképp sem találtam célszerűnek kihagyni a modellből. E rétegsor is beépítésre került, az áttolódás eseményét viszonylag gyors, nagy vastagságú üledékképződéssel reprezentáltam. A takaró rétegsorának felépítését, az egyes rétegek közettani típusát és vastagságát Fülöp és Miklós munkája alapján határoztam meg (9. ábra) (Fülöp, 1994; Miklós, 1987). A kora krétában nagy vastagságú üledéksor képződését feltételezik a szakemberek (Less Gy. szóbeli közlése). Az idősebb rétegek metamorf foka alapján az állapítható meg, hogy ebben az időszakban nagy mélységben (4-6 km) helyezkedtek el, azonos vastagságú összlettel fedve. E nagy vastagságot a középső jura flis réteg, a takaró, valamint a kora kréta üledékek modellbe építésével alkottam meg.

Mivel a hegységben kréta, paleocén, és kora-középső eocén üledékek nem ismertek, e nagy vastagságú összlet a fejlődés során ebben a fázisban teljesen lepusztult (erózió).

Ezen felül a rétegek vastagságát, típusát és korát a fúrési dokumentációkban megadott adatok alapján hoztam létre. A modell felépítése, a használt korbeosztás, és a földtani események különböző típusai a 9. ábra láthatóak.

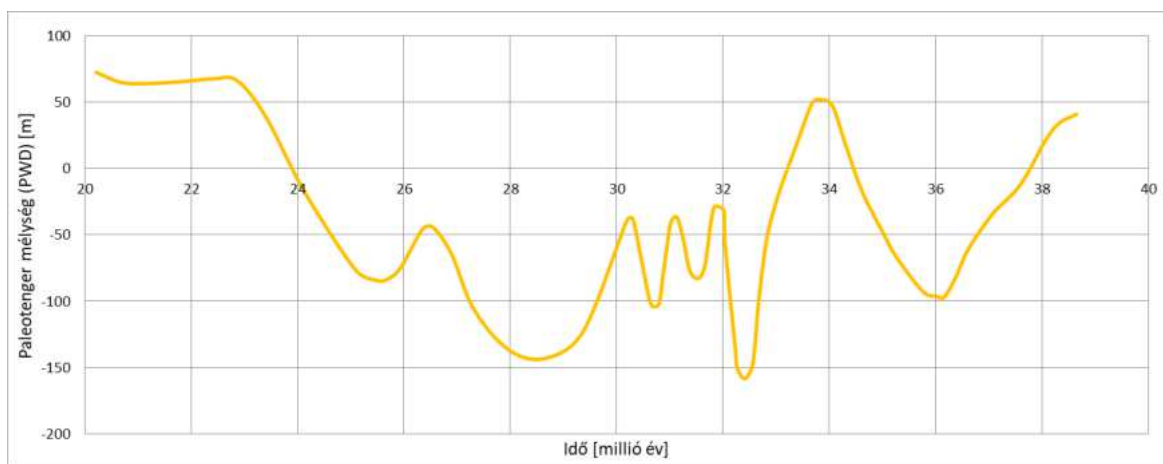




9. ábra A modellezés során használt korbeosztás (Karátson, D., 1997; stratigraphy.org, 2021) és a modellbe beépített földtani események (szerző saját szerkesztése)



A modellépítés során a program számára további peremfeltételek megadása is szükséges, melyeket a számítások során figyelembe vesz. Ilyenek a PWD (Paleo Water Depth), az adott korban a paleotenger mélysége (amennyiben a terület szárazulat volt, a PWD értéke értelemszerűen 0). A paleotenger mélységek tekintetében a paleogén korra vonatkozó adatok Sztrákos, 1973 munkájából származnak (10. ábra), a további értékek meghatározása során pedig Báldi, 1979, Haas, 1998 valamint Pelikán, 2005 munkáit vettem alapul.

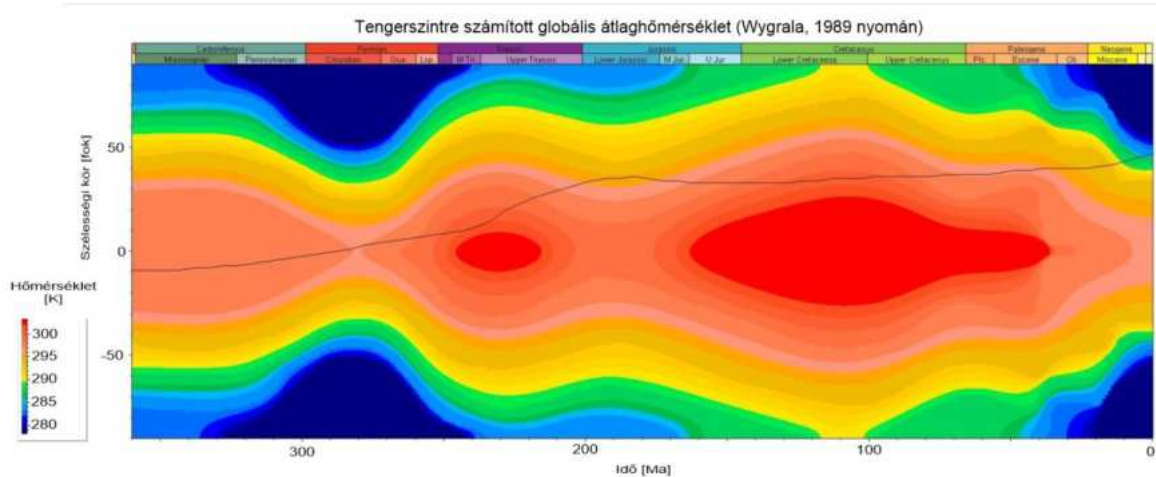


10. ábra A modellezés során alkalmazott paleotenger mélység a Paleogénben (Sztrákos, 1973) nyomán, a PULSE projektben végzett kutatások során szerkesztette Mádai Viktor és Fekete Zsombor

A továbbiakban az adott korra jellemző fácies, vagy az adott kőzet képződési környezetének megfelelően, szakirodalmi adatok alapján adtam meg a paleotenger mélységét. Sekélytengeri környezet, valamint a mészkőképződés esetén a tengermélységet 20 m-ben definiáltam (Báldi, 1979). A flis képződése tekintetében a tengermélység Báldi szerint „igen változó lehet, de nem valószínű, hogy 150-200 m-nél sekélyebb vízben valaha is képződtek volna nagyobb tömegben” (Báldi, 1979). Így a késő jurában képződött flis esetén a tengermélységet 1500 m-ben adtam meg. Mivel a kora jura mélytengeri környezetből a felső kréta elejére szárazföldi körülmények alakulnak ki, az alsó krétában feltételezett nagy mennyiségű flis keletkezésének időszakára a paleotenger mélységét pedig 300 m-ben adtam meg.

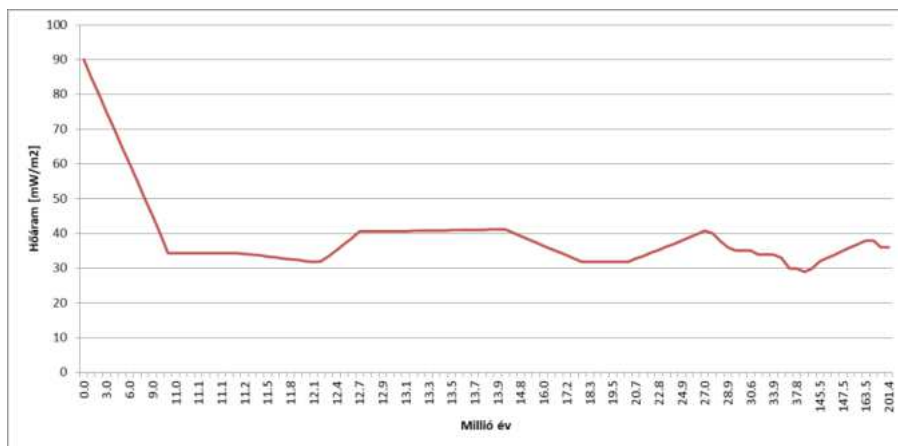
A programnak szükséges megadni az ismert rétegsor végének korát is. Mivel a fúrások az eocén vagy triász korú mészkőben végződnek, így vastagságuk nem ismert. A rétegsor végét szedimentációs sebesség alapján határoztam meg. Mivel mind a késő eocén, mind a triász korú mészkövek sekélytengeri környezetben keletkeztek, a sekély karbonátos környezetre jellemző 100 cm/kév (100 cm/1000 év) értéket használtam (Haas, 1998).

A modell további peremfeltételként veszi figyelembe a tengerszintre számolt globális átlaghőmérsékletet az adott korban. A program felkínál egy beépített adatbázist, mely Wygrala munkáján alapszik (Wygrala, 1989) (11. ábra), a vizsgált terület szélességi kör értékét szükséges megadni, a modellezéshez szükséges adatokat ez alapján rendeli a modellhez a program.



11. ábra A tengerszintre számított globális átlaghőmérséklet a földtörténeti korok során [ (Wygrala, 1989) nyomán], fekete vonallal jelölve a vizsgált terület mozgása a földtörténeti idő során

További fontos, ám nehezen definiálható peremfeltétel a hőáram értékek megadása a vizsgált földtörténeti korokra. A terület fejlődéstörténete, és szakirodalmi adatok alapján az első 27 millió évre alkalmazott hőáram alakulását a 12. ábra mutatja be.



12. ábra A hőáram alakulása a Pannon Medencében (Blahó, 2011; Horváth, 2007; Huismans, et al., 2001; Gyollai, 2007; Petrik, et al., 2016; Royden, et al., 1983) nyomán, a PULSE projektben végzett kutatások alapján szerkesztette Máдай Viktor

## 5.3. Eredmények

### 5.3.1. Modellezett és mért-számított geotermikus paraméterek a Bükki

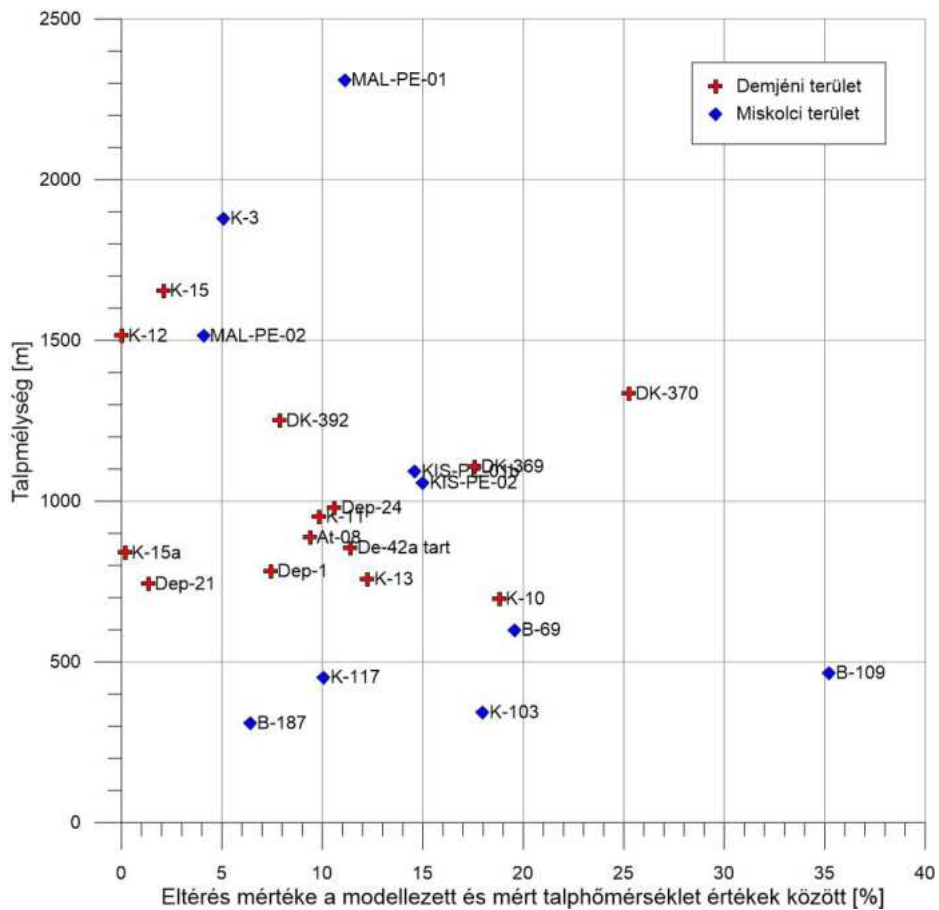
#### Termálkarszt területén

Az UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) erőforrások osztályozásával foglalkozó szakértői csoportjának (Expert Group on Resource Classification) megfogalmazása alapján a megújuló energiaforrás fogalmán egy adott földtani összlet által tárolt termális energiát értjük, melybe beletartozik az adott összlet által tárolt fluidum is, mely kitermelhető, és különböző technológiák segítségével az általuk felszínre hozott hőenergia felhasználható. Ezt a forrást nevezik geotermikus energiaforrásnak, mely ekvivalens a szilárdásvány bányászatban használt ásványvagyron előfordulás fogalmával (UNECE, 2016). A továbbiakban a modellezési eredmények értékelését, megbízhatósági megítélését ezen irányvonal mentén végzem el.

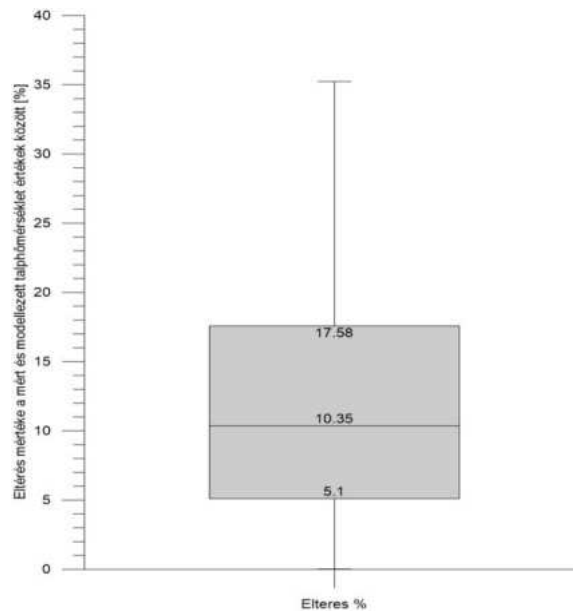
Első lépésben azon kutak 1D-s modelljeit készítettem el (3. melléklet), amely kutakról rendelkezésre állnak megadott, mért talphőmérséklet adatok, melyek fúrési naplókából, vízföldtani naplókából, valamint hazai adatbázisból származnak. Ezt azért tartom fontosnak, mert a modellek verifikálása, korrekciója, és megbízhatóságának értékelésének alapját mért adat kell, hogy adja. A modellezett és a mért talphőmérséklet értékek közötti eltérések abszolút értékét mutatja a 13. ábra a demjéni és a miskolci terület vonatkozásában.

Az eredmények alapján az a következtetés vonható le, hogy az 500-1400 méteres mélységközben az eredmények kis eltéréssel jelentkeznek a mért hőmérséklet adatokhoz képest. Viszont tapasztalhatók anomáliák is, melyeknek oka a karsztrendszer sajátos áramlási tulajdonságaiból adódhat. Ezzel szemben 1 400 métertől nagyobb mélységben a modellezési eredmények megbízhatósága növekszik. Ahogyan a 14. ábra is mutatja, a modellezett és mért talphőmérsékletek közötti eltérések medián értéke 10,4 %, melybe beleszámítottam a kiugró, nagy eltéréseket is. A felső kvartilis értéke 17,6%, az alsó kvartilis értéke pedig 5,1 %, melyet alapvetően jó eredménynek tartok.

A gyakorlatban általában 5-35 % közötti eltérést sorolnak hibának a becslések, modellezések terén. Ezt az intervallumot nagyon tágnak tartom, a modellezés eredményeit 15 %-os eltérésig tartom elfogadhatónak, és a továbbiakban ennek megfelelően használom fel őket.



13. ábra A modellezett és mért talphőmérséklet adatok közti eltérés mértéke a mélység függvényében (szerző saját szerkesztése)



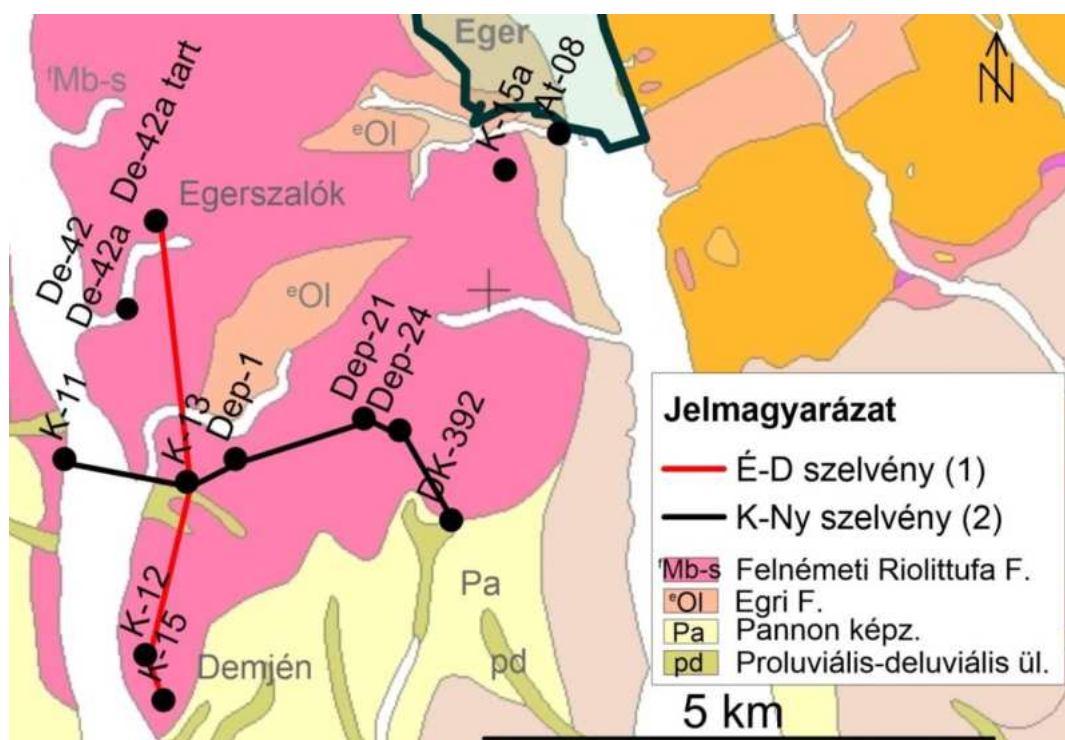
14. ábra Az eltérés mértéke a mért és modellezett talphőmérséklet értékek között dobozdiagramon ábrázolva a vizsgált területek vonatkozásában (szerző saját szerkesztése)

Amennyiben a geotermikus energiaforrást ekvivalensnek tekintjük az ásványvagyron előfordulással, a szilárdásvány bányászatban 85 %-os ismeretesség igen jónak számít. Mint ahogyan a 13. ábrán is látható, a demjéni területről három (DK-369, DK-370, K-10), a miskolci területről szintén három kút (B-109, B-69, K-103) nem felel meg az általam támasztott kritériumnak, melynek az oka lehet akár a rétegtani leírásokban lévő pontatlanság, vagy mérési hiányosság is.

### 5.3.2. Eredmények a Demjén térségi területen

#### 5.3.2.1. Hőmérséklet-eloszlás szelvények

A dolgozat célja, hogy a vizsgált területről – felhasználva minél több rendelkezésre álló geológiai, hőmérsékleti adatot – minél pontosabb kép készüljön a hőmérsékleti viszonyok tekintetében. Kiemelném, hogy a dolgozat célja nem a földtani szempontból minél pontosabb szelvény kidolgozása volt. Első lépésben a területen kettő szelvényt készítettem, melyeknek nyomvonalát a 15. ábra mutatja. Az É-D irányú szelvény elkészítéséhez a De-42a tartalékkút – K-13 – K-12 – K-15 kutak földtani adatait, modellezett mélység szerinti hőmérséklet-eloszlás adatsorait használtam fel. A K-Ny irányú szelvény esetében mindezt a K-11 – K-13 – Dep-1 – Dep-21 – Dep-24 – DK-392 kutakkal végeztem el. A kutak közül öt termálkarsztvíz-termelő kút (De-42a tartalékkút, K-11, K-12, K-13, K-15), valamint négy szénhidrogén-kutató fúrás (Dep-1, Dep-21, Dep-24, DK-392).



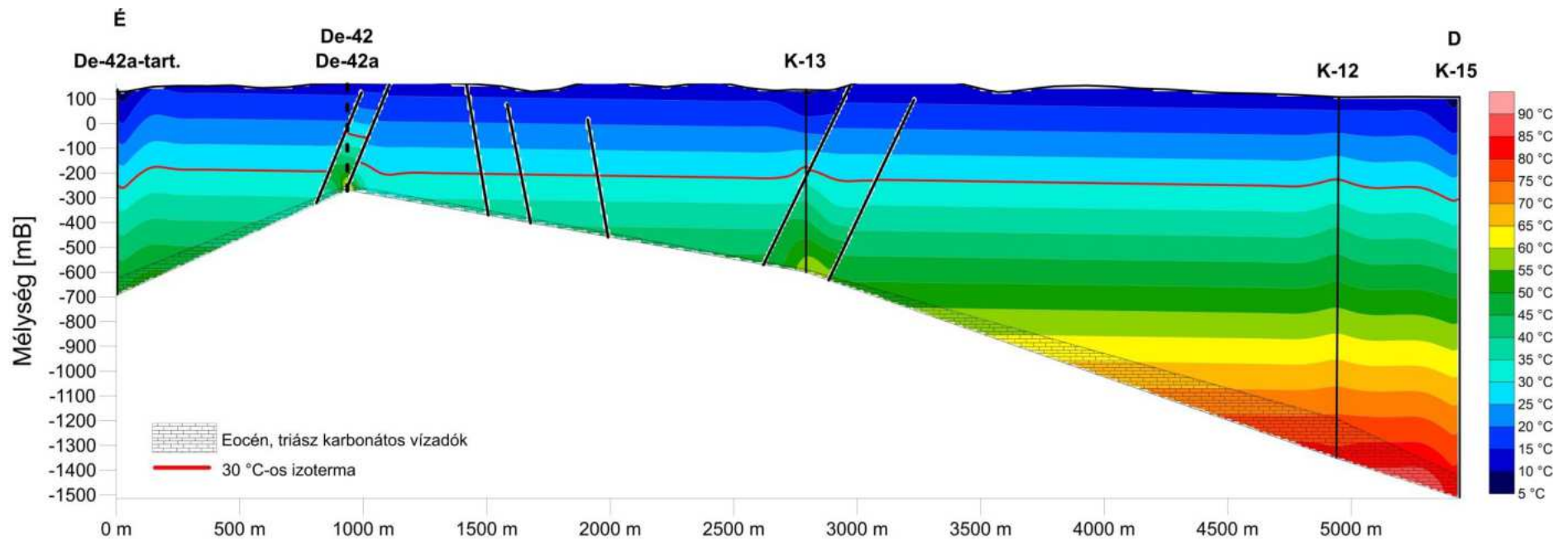
15. ábra A demjéni területről készült szelvények nyomvonalai, a terület fedett földtani térképe ( (Magyar Állami Földtani Intézet, 2005) nyomán a szerző saját szerkesztése))

A területen a termálkarsztos víztestet eocén és triász korú mészkő összletek építik fel. A hegységben sok esetben az eocén rétegsorok közvetlenül a triász korú mészkő rétegekre települnek, a fúrási rétegsorok alapján nehéz eldönteni, vajon melyik vízadó réteget harántolja és szűrőzi az adott kút. Ez a kutatások során nehezíti mind a geológiai viszonyok tisztázását, mind a termelt víz származásának pontos ismeretét. A tényeket figyelembe véve a szelvények elkészítése során a karsztosodott karbonátos vízadó rétegösszletet a fúrási naplókban triász valamint eocén korúnak besorolt karbonátos rétegek alkotják. Megemlítendő, hogy a vízadók nem kizárólag mészkőrétegek, mivel egyes kutak esetében eocén korú mészmárgában került kialakításra szűrőszakasz. Így az összletek együttesen *eocén, triász korú karbonátos vízadókként* kerültek ábrázolásra, a szelvényeken e rétegegyüttes fedőjének burkológörbéje van megjelenítve, az ábrázolt rétegvastagságot pedig a fúrások által feltárt rétegvastagság adja. A területen megtalálható vetőket Csiky, 1961, 1966 munkája alapján jelöltem a szelvényeken. Az elkészített hőmérséklet-eloszlás szelvényeket a 16. **ábra** és 17. ábra mutatja be.

Mindkét szelvényen láthatóan megjelenik az ún. „demjéni mészkő felboltozódás”, mely a korábbiakban a kőolaj-kutatás célterülete volt, mint potenciális telep.

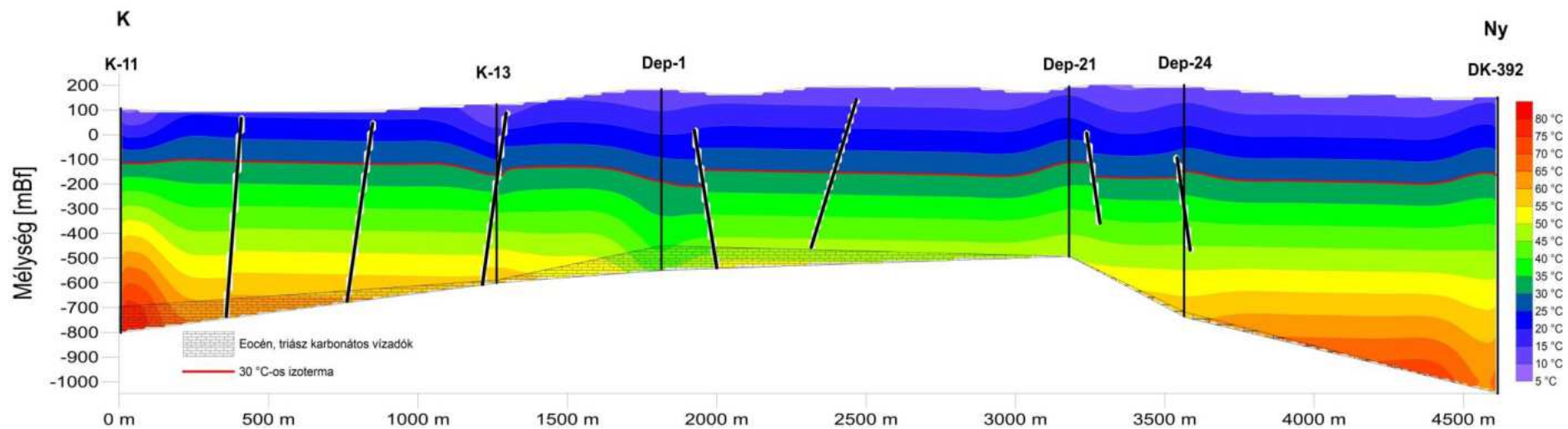
#### 5.3.2.1.1. Az ÉD-i szelvény értékelése

Látható a 16. ábrán, hogy a De-42a tartalékkút és a K-13-as kút még sekélyebb mélységben (-600 - -700 mBf) érte el az eocén-triász korú karbonátos rétegeket, 56-67 °C-os termálkarsztvizet feltárva. Dél felé haladva a karbonátos összlet fedőjének burkológörbéje meredeken bukik a mélységbe, 1515 és 1655 méteres talpmélységgel a K-12 és K-15 jelű kutak a jelenleg termálkarsztvizet termelő legmélyebb kutak, talphőmérsékletük 81,4 és 89,1 °C. A szelvény mentén a vizsgált területet számos vető harántolja, és a hőmérséklet-eloszlásból is látható, hogy ezek jelentősen befolyásolják a lokális, kút körüli vízáramlási viszonyokat. Jó példa erre a szelvényre bevetített De-42, De-42a jelű kút (a kutak adatai nem kerültek felhasználásra a szelvény szerkesztése során), melynek környezetében pozitív hőanomália tapasztalható. Látható, hogy egy vetőzónában mélyült, mely a környezeténél lényegesen nagyobb hőmérsékletű vizet vezet felfelé a mélység felől. Ugyanez a helyzet fennáll a K-13 jelű kút esetében is, ahol a 30 °C-os izoterma is sekélyebb mélységben helyezkedik el a kút környezetében.



16. ábra Az egerszalóki-demjéni területen készült É-D irányú hőmérséklet-eloszlás szelvény, jelölve a 30 °C-os izoterma, az eocén, triász korú karbonátos vízadók fedőjének burkológörbéje, és fúrások által feltárt rétegvastagságok [a vetők helyzetét Csiky, 1961, 1966 nyomán adtam meg] (szerző saját szerkesztése)





17. ábra Az egerszalóki-demjéni területen készült K-Ny irányú hőmérséklet-eloszlás szelvény, jelölve a 30 °C-os izoterma, az eocén, triász korú karbonátos vízadók fedőjének burkológörbéje, és fúrások által feltárt rétegvastagságok [a vetők helyzetét Csiky, 1961, 1966 nyomán adtam meg] (szerző saját szerkesztése)

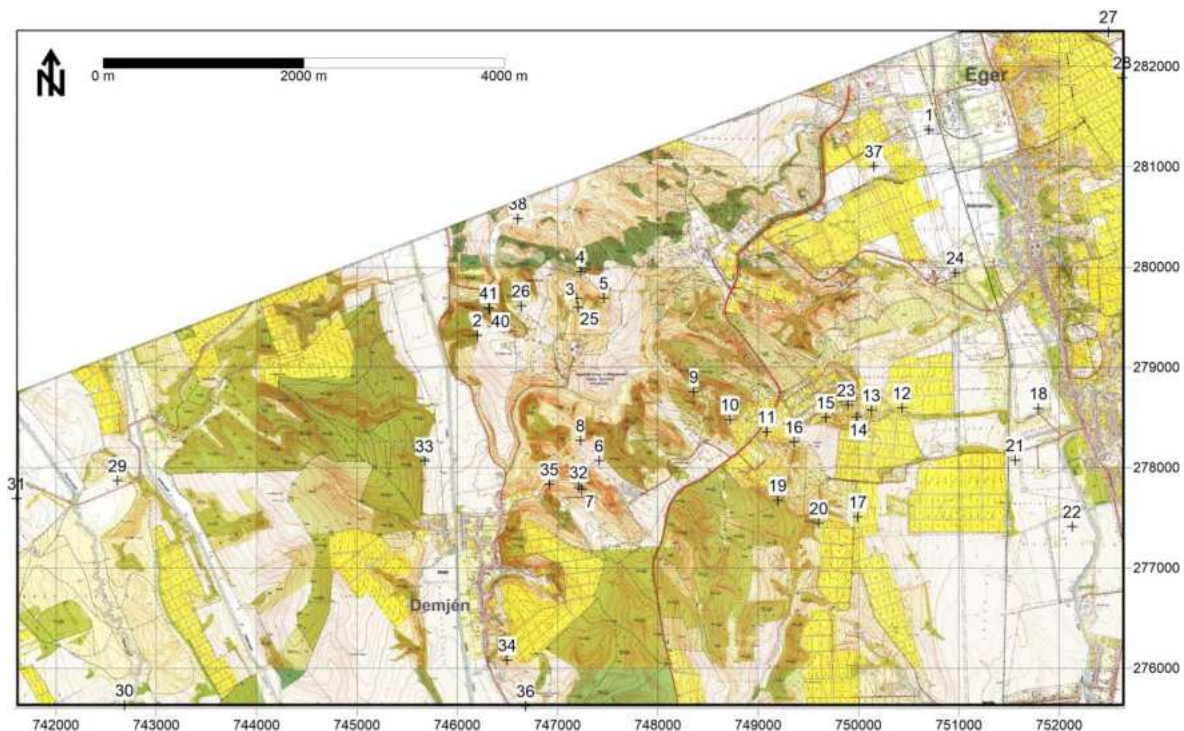


#### 5.3.2.1.2. A KNy-i szelvény értékelése

A KNy-i szelvény (2) középső részén látható, hogy a sekélyebb helyzetben található karbonátos vízadó összlet alacsonyabb hőmérsékletű, 50-67 °C-os vizet tárol (17. ábra). A vetők környezetében kis mértékű változások figyelhetők meg. Magasabb hőmérséklet nagyobb mélységben (-800 - -1000 mBf) jellemző, ebből is kiemelendő a K-11 jelű kút, melynek környezetében valószínűsíthető egy vető jelenléte, mely a korábbi adatok alapján nem ismert. Ez lehet magyarázat arra, hogy lokálisan miért magasabb a hőmérséklet a kút környezetében.

#### 5.3.2.2. Geotermikus lépcső összefüggés meghatározása, tomografikus hőmérsékletszelvényezés

A vizsgált területen eddig sem a vertikális, sem a horizontális mélységbeli hőmérséklet-eloszlás nem volt ismeretes. Az előző fejezetben bemutatott eredmények két szelvény mentén adnak tájékoztatást a vertikális hőmérsékleti viszonyokról. A következő lépésben az Egerszalók-Demjén térségére készíték területi hőmérséklet-eloszlás térképeket, melyek különböző mélységszintekben horizontális kiterjedésben nyújtanak új információkat a felszín alatti térrészről. Ehhez felhasználtam a területen mélyült összes fúrás adatait, amelyek rendelkezésemre álltak. A felhasznált 40 db fúrás/kúttá kiképzett fúrás területi eloszlását a 18. ábra mutatja.



18. ábra A területi hőmérséklet-eloszlás térkép szerkesztéséhez használt kutak elhelyezkedése a vizsgált Demjén környéki területen (szerző saját szerkesztése)

Típusukat tekintve 31 db kőolajkutató fúrás, melyek elérték az eocén-triász karbonátos vízadó összletet. A kutak nagy többsége eltömedékelésre, illetve felhagyásra került. A további 9 db kút hévíztermelés céllal mélyült, többségük a 2000-es években került kivitelezésre, és azóta is üzemel. A kutak listája és főbb paramétereik a 4. mellékletben található meg (13. táblázat). A hőmérséklet-eloszlás térkép szerkesztése során a terület ÉNy-i részét nem vettem figyelembe, mert onnan nem rendelkezem információval, és ez fals irányba tolna volna el az eredményeket (18. ábra, az ábra nagy méretben, jelmagyarázattal együtt a 4. mellékletben található).

Az előző fejezetben bemutatott modellezési eredmények alapján megállapítható, hogy a kutak földtani környezetének sajátágaiból adódó hőmérséklet anomáliák előfordulhatnak a vizsgálati területen (Miklós, et al., 2019).

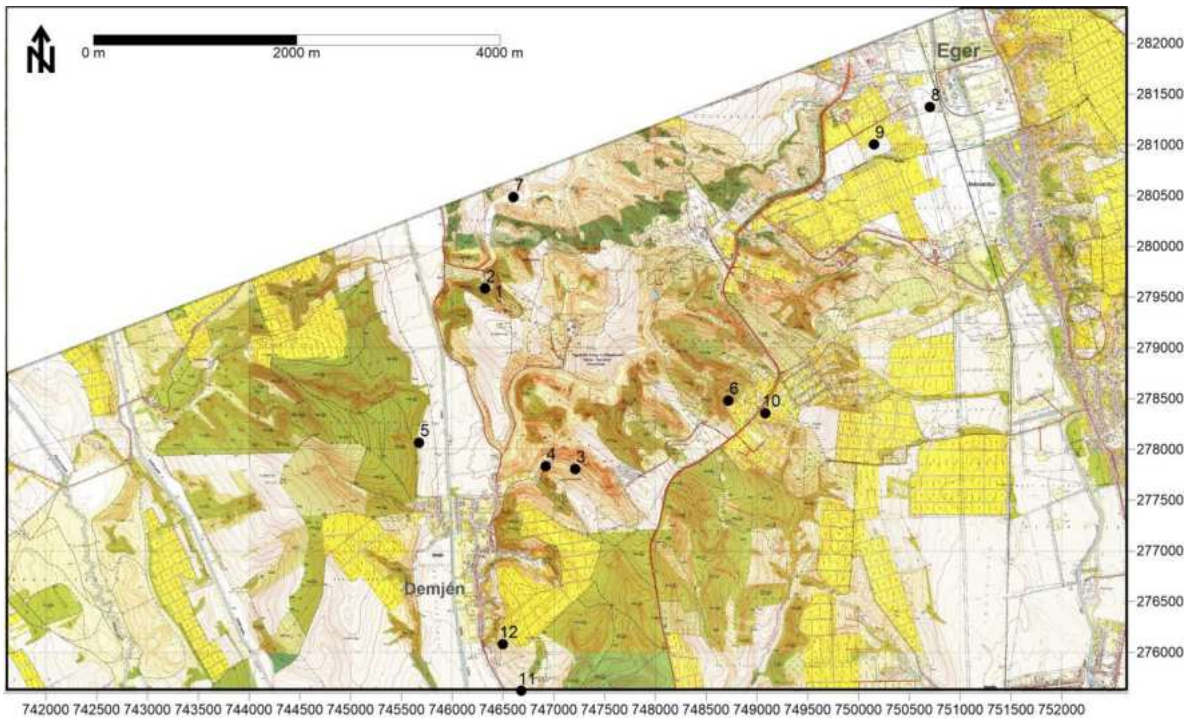
A kútmodellek verifikálásához mindenképpen szükségesnek tartom mért adatok meglétét is, de számos szénhidrogén-kutató fúrás esetén nem történtek talphőmérséklet mérések. Az esetleges torzítások elkerülése végett ezen kutak esetében nem készítettem el az 1-D-s kútmodelleket. Helyette a területre jellemző hőmérsékleti viszonyokat geotermikus lépcső összefüggés segítségével számítható és számszerűsíthető módon adtam meg. Így a hőmérséklet-eloszlás térképek elkészítéséhez felhasznált 40 db kút közül 11 db esetében használtam modellezett, és 29 db esetében számított hőmérséklet értékeket (13. táblázat, 4. melléklet).

A vizsgált területre jellemző geotermikus lépcső összefüggés meghatározásához felhasználtam 12 db fúrás/kút mérési adatait, melyeknek területi eloszlását a 19. ábra mutatja. Az adott mélységekben mért hőmérsékletek függvényében minden mérési pontra meghatároztam a geotermikus lépcső értékét (a gyakorlatban a geotermikus gradiens helyett inkább annak reciprok értékét, a geotermikus lépcsőt alkalmazzák) (Völgyesi, 2002). Az eredményeket egy rendszerbe integrálva meghatároztam a területen számolt geotermikus lépcső értékekre jellemző egyenletet (20. ábra,  $X=z_i$ ,  $Y=G_i$ ):

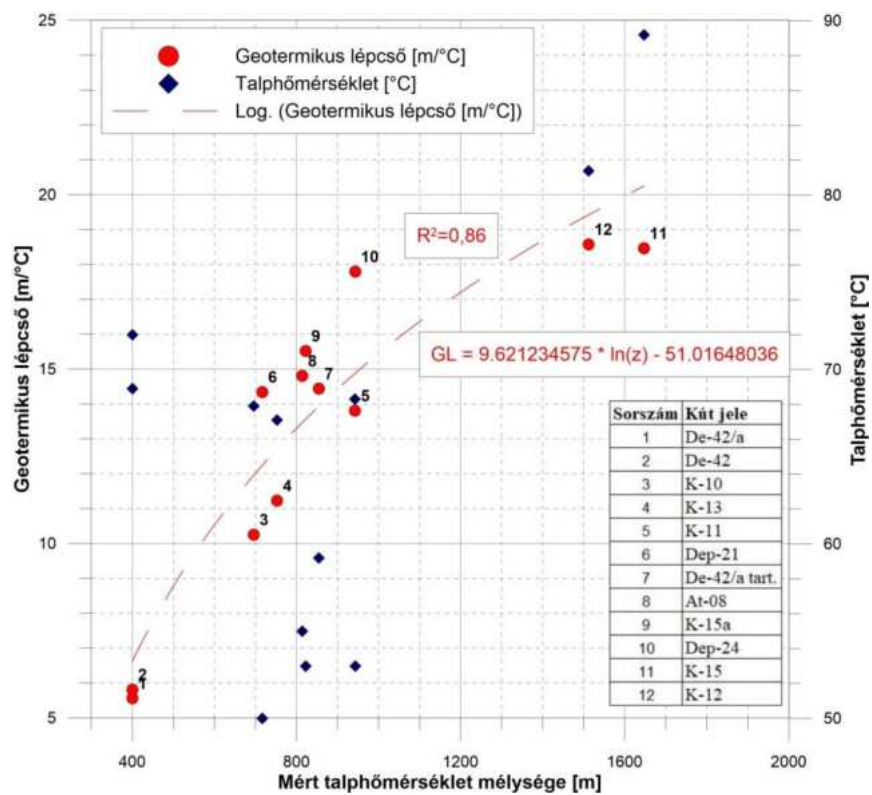
$$G_i = 9,6212 \cdot \ln(z_i) - 51,0165 \quad (2)$$

ahol

- $G_i$  – adott kútra számított geotermikus lépcső [ $m/^\circ C$ ]
- $z_i$  – adott kút talpmélysége [m]



19. ábra A területen jellemző geotermikus lépcső értékekre jellemző egyenlet meghatározásához felhasznált kutak területi eloszlása (jelmagyarázat: 20. ábra) (szerző saját szerkesztése)



20. ábra Egerszalók-Demjén térségében a jellemző geotermikus lépcső (GL) meghatározásához felhasznált egyenlet ( $R^2=0,86$ ) mellett, megadva a felhasznált hévízkutak geotermikus lépcső és talphőmérséklet adatai (szerző saját szerkesztése)

**A geotermikus lépcső grafikus ábrázolása nem várt eredményt adott. Klasszikus esetben az egyes kutakra számított értékekre illesztett egyenesnek közel lineáris összefüggést kellene adnia, mivel a hőmérséklet általánosan a mélységgel egyenes arányban növekszik. Látható a 20. ábrán, hogy egy dinamikus karsztrendszer esetére ez nem feltétlenül igaz. A tört-gyűrt szerkezet miatt számos törés található a rendszerben, melyek mentén intenzív termásvíz áramlás valósulhat meg, amely megváltoztatja a terület hőháztartási viszonyait.**

A kapott (2) egyenlet pontosságának ellenőrzése céljából összevettem a segítségével számolt adatokat, valamint a mérési adatokat. Az eltérések átlaga 14,9 %-ra adódott, így az egyenletet elfogadhatónak tartom, de szem előtt kell tartani a számítások során a hibaszázalék lehetőségét.

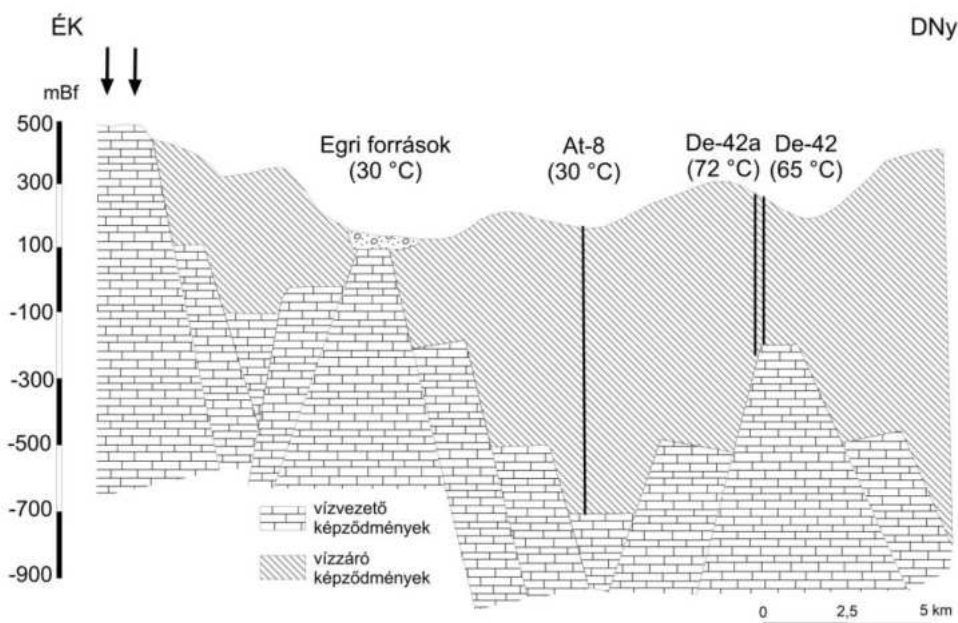
A következő lépésben a (2) egyenlet segítségével kutanként meghatároztam a geotermikus lépcső értékét, melyet felhasználva számítottam a mélység szerinti hőmérséklet adatokat.

Ezután, különböző mélységszintekre (-250 mBf, , -350 mBf, , -450 mBf, , -550 mBf, -650 mBf) vonatkozóan elkészítettem a vizsgált terület hőmérséklet-eloszlás térképét.

Az egyes térképszeletek elkészítése során számos interpolációs algoritmus eredményét megvizsgáltam (pl. háromszögelésen alapuló, lineáris, távolság hatványával fordítottan arányos, módosított Shepard-módszer, természetes szomszéd, krigelés, csúszóátlagos, polinomiális regresszió). Az eredmények alapján egyértelmű volt, hogy kizárólag a minimális görbület (minimum curvature) algoritmus alkalmazható, így ezt használtam. A grid háló 10 m-es rácsközzel készült. A módszert gyakran használják a földtudományok területén, azonban szem előtt kell tartani, hogy vannak hibái. A számított felület a legkisebb négyzetek elve optimalizáló algoritmus szerint a legjobban, de nem tökéletesen illeszkedő felületet adja, mely illesztés nem torzításmentes (Kovács & Szanyi, 2005).

A szerkezeti sajátosságok és a kiugró pozitív hőanomália miatt a De-42 és De-42/a kutak esetében nem számítottam mélységbeli hőmérséklet eloszlást, mert nem reprezentálná az adott pontokban jellemző viszonyokat. Ehelyett, a mindkét kút esetében ismert hőmérsékleteket integráltam a -250 mBf szinten. Az 1961-ben mélyített De-42 jelű kút 396 m-en érte el az eocén mészkövet, a szűrőzés alja 403,5 m-en, a kúttalp 407,5 m-es található, talphőmérséklete 67 °C. A kút műszaki hibái miatt 1987-ben melléfúrásos kútfelújítás került kivitelezésre, az új kutat, a De-42/a jelűt a De-42-től K-re 15 m-re létesítették. Igen különös, hogy a kút talpmélysége 426 m, de az eocén mészkövet nem érték el, a víz hőmérséklete 400 m-es mélységben 72 °C (21. ábra) (Lénárt, 1987).

A De-42 sz. fúrás befejező jelentése szerint az eocén mészkő a vizsgált terület É-Ny-i részén szerkezetileg kiemelt helyzetben van. A tőle 180 m-de délre mélyített De-28 számú fúrásban az eocén mészkő 120 m-re mélyebb helyzetben található (Karsztvízgazda Bt., 2001).

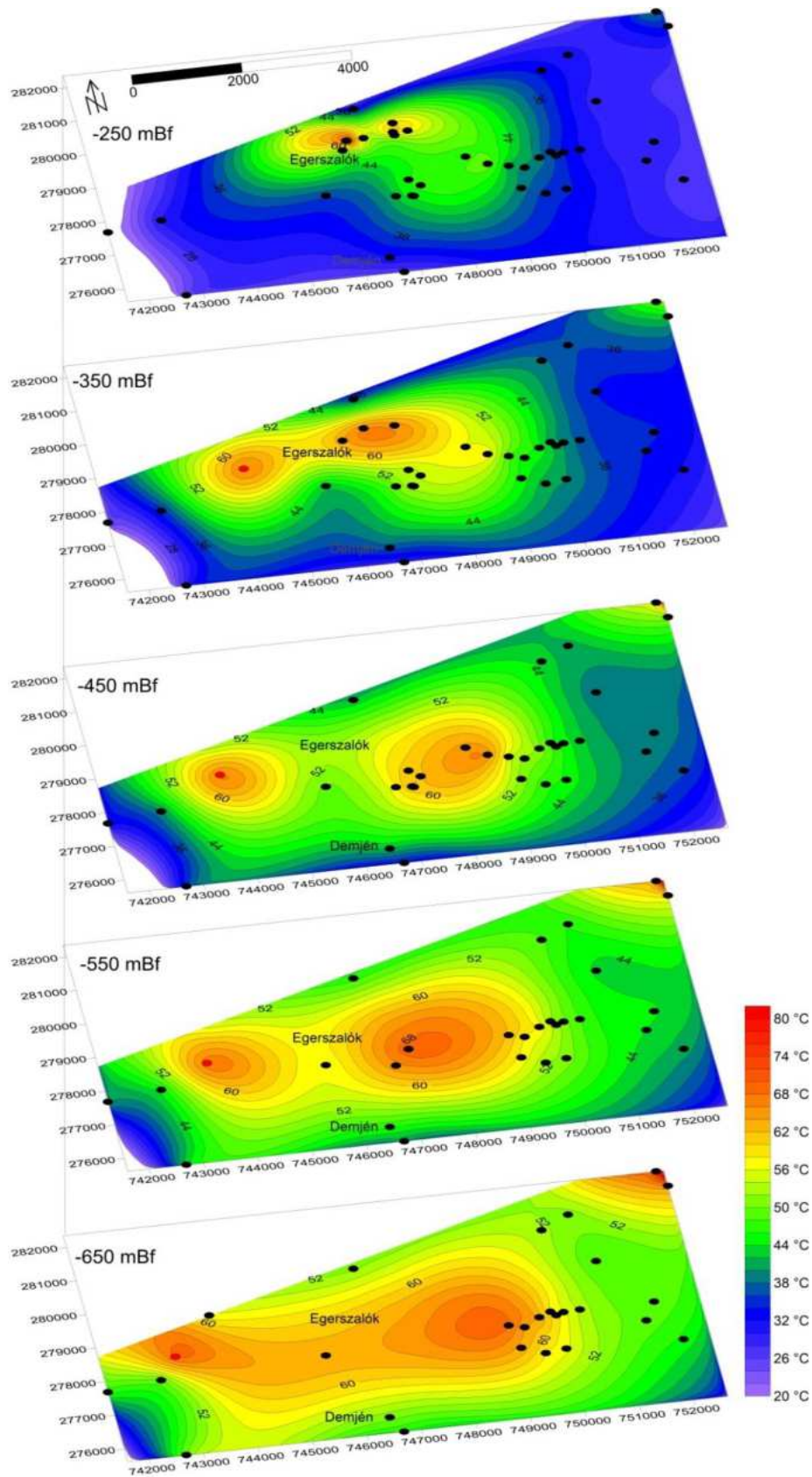


21. ábra Földtani szelvény az egri források környezetében, a vizsgált területen (Karácsonyi & Scheuer Gy., 1970) nyomán

A rendelkezésre álló adatok alapján azt feltételezem, hogy ezen a részen egy meredek dőlésű törésraj található, mely egy nagyon jó vízvezető zónát képez, ezért koncentrált feláramlási zóna található a vizsgált területen (16. ábra). Emiatt a térképek elkészítéséhez az egyes mélységszinteken a törésraj meredek dőlése, valamint a 21. ábra alapján a -350 mBf, -450 mBf, -550 mBf, -650 mBf mélységszinteken egy pseudo-kutat (22. ábra, piros jelölés) helyeztem el a rendszerben, mely a törés helyzetét hivatott reprezentálni. A jó vízvezető törés mentén kvázi konstans hőmérsékletet feltételeztem (támaszkodva arra, hogy a De-42 és De-42/a jelű kutak hozama jelentős, és nem jellemző jelentős hőmérsékletcsökkenés a termelés során). Így -250 mBf mélységszinten a De-42 és De-42/a kutak hőmérséklet adatait, -350 mBf-n 66 °C, -450 mBf-en 66 °C, -550 mBf-n 67 °C, -650 mBf-n 68 °C hőmérsékletértékeket alkalmaztam a pseudo-kút esetében.

Az eredményeket 100 m-es mélységközzel a 22. ábra mutatja be, az egyes mélységszintekre szerkesztett térképek a 4. mellékletben találhatóak.





22. ábra Az Egerszalók-Demjén térségében a különböző mélységszinteken a hőmérséklet-eloszlás alakulása (piros jelölés: a törésrendszer helyzetét reprezentáló pszeudo-kút) (szerző saját szerkesztése)

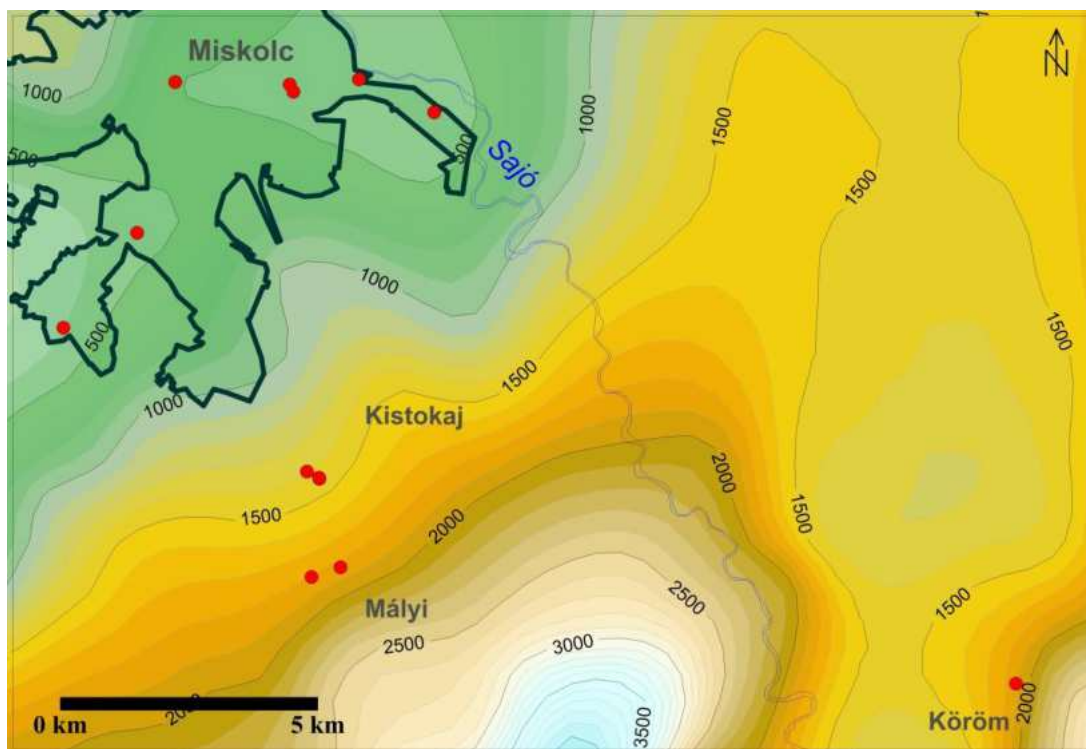
A 22. ábrán is látható, hogy Egerszalók-Demjén térségében -250 mBf mélységszinttől kezdve két lokális hőanomália jelenik meg. Számos szerző koncepciója a bükki termálkarszt áramlási viszonyaival kapcsolatban az, hogy vetők, törések, törésrajok mentén a mélybeli, magasabb hőmérsékletű termálkarsztvíz felfelé mozog (Lénárt, et al., 2002; McIntosh, et al., 2011) (hivatkozás – Miklós, Lénárt, stb). A 21. ábra, valamint fúrási naplók leírása (Lénárt, 1987) szerint vázolt földtani helyzet szerint a két település alatt egy mészkőkúp kiemelt helyzetben található. E szelvény, az áramlási koncepciók, valamint a fúrási tapasztalatok (nagy hozamú, magas hőmérsékletű termelőkutak), és a tomografikus mélységszelvényezés eredményei is azt támasztják alá, hogy ebben a térségben a törések, törésrajok mentén magasabb hőmérsékletű termálkarsztvíz mozgása valósul meg. Ezek lokális hőmérséklet anomáliaként jelentkeznek a területen. Számításaim alapján elmondható, hogy körülbelül -650 mBf mélységszinten e mészkő kiemelkedésen, vagy a demjéni mészkő felboltozódásban a hőmérsékleti viszonyok kezdenek kiegyenlítetté válni, és a jellemző hőmérséklet 60-68 °C körül alakul.

***Tézis 1: Megállapítottam, hogy Egerszalók-Demjén térségében a vizsgált 1647 m-es mélységig a geotermikus lépcső a mélység függvényében nem lineárisan változik. A legjobb illeszkedést mutató kapcsolat logaritmikus összefüggéssel írható le, amit a  $G_i=9,6212*\ln(z_i)-51,0165$  egyenlettel fejeztem ki (ahol:  $G_i$  [m/°C] - geotermikus lépcső a vizsgált pontban,  $z_i$  [m]- talpmélység ugyanott).***

### **5.3.3. Eredmények a Miskolc és környéke területen**

#### **5.3.3.1. Pretercier aljzattérkép pontosítása, szelvény menti hőmérséklet-eloszlás**

A Miskolc és környéki vizsgálati terület Miskolc D-DK-i részét, valamint Kistokaj, Mályi, Köröm, Sajóhídvég környékét foglalja magába. A kutatási területről a BTIX Kft. 2010-ben készített pretercier aljzattérképet. Átfogó munkájuk során igyekeztek minden fellelhető információt felhasználni (fúrási, szeizmikus, geoelektromos és gravitációs geofizikai adatok). A Bükk K-i, DK-i előterében csekély számú szeizmikus szelvény áll rendelkezésre, azok sem használhatóak megfelelő reflexiók hiányában. A nagy vastagságú vulkáni összletek megléte egyes geofizikai módszerek alkalmazását nem teszi lehetővé, így főként gravitációs adatokra támaszkodva készült az általuk szerkesztett pretercier aljzattérkép (23. ábra).



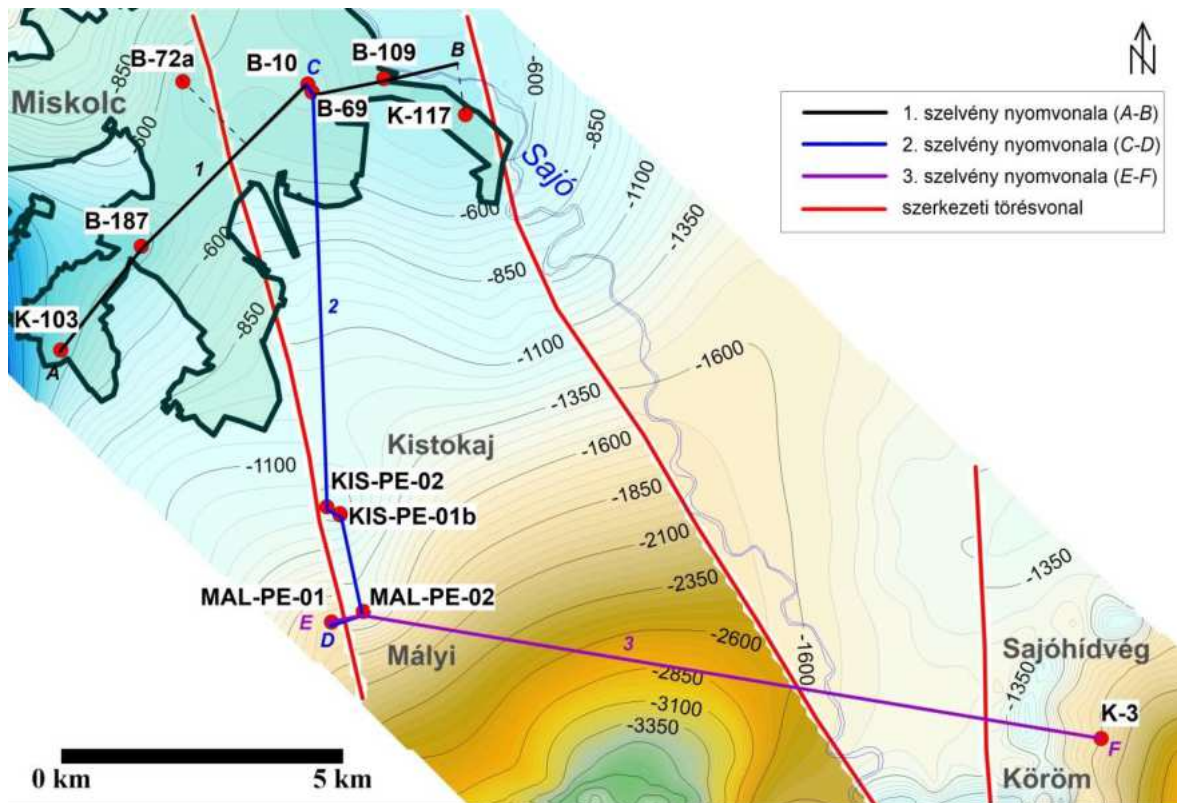
23. ábra A Bükk DK-i előterében 2010-ben készült pretercier aljzattérkép (BTIX Kft., 2010)

Munkám során felhasználtam a 2010 után, vagyis a térkép elkészülte után létesült fúrások rétegsor adatait is, melyekkel korrigáltam a pretercier aljzattérképet. Emellett (Lexa, et al., 2000) munkája alapján a területen átfutó fő szerkezeti törésvonalakat is integráltam, tovább pontosítva ezzel a terület pretercier aljzatának képét. Látható, hogy dél felé a mészkő felszíne meredeken zökken le, mely két fő É-ÉNy – D-DK csapású vetőzóna hatására tovább töredezett. Rövid lefutással 500 méteres mélységből 3000-3500 méteres mélységbe bukik alá, csatlakozva a Vatta-Maklári árokba, melynek ÉK-i csücske látható (24. ábra).

A területen kevés fúrás mélyült, melyek közül egyik sem harántolta a triász korú mészkő feküjét. Egy, a Kistokajban létesült, kút (KIS-PE-01) fúrása során a mészkötető elérése után még további 680 méteren keresztül haladtak a triász mészkő aljzatban, melyet Bükkfennsíki Mészkő Formációként azonosítottak a Vízföldtani Naplóban, és nagy vastagságú, repedezett mészkő rétegekként írtak le. Ezen információ alapján az általam készített szelvényeken az aljzatot triász korú mészkőként tüntettem fel.

A területen három szelvény mentén vizsgáltam a mélységbeli hőmérséklet-eloszlást, valamint a triász korú mészkötető helyzetét (24. ábra).





24. ábra A Miskolc és környéke vizsgálati terület pretercier aljzattérképe; a főbb törésvonalak, valamint a három vizsgált szelvény nyomvonala (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000) nyomán szerző saját szerkesztése

A területen kevés számban mélyültek fúrások, az általam felhasznált adatok mind termálkarsztvíz-termelő kutak vízföldtani naplóiból származnak. A Miskolc területén található kutak 1953-2011 között, a Kistokaj-Mályi környékiek 2010-2012-ben mélyültek. A körömi kút eredetileg szénhidrogén-kutató fúrás volt, mely termálkarsztvíz-termelő kúttá lett kiképezve 1953-ban.

Következő lépésben elkészítettem a területen három kijelölt szelvény mentén a hőmérséklet-eloszlás térképet. Ehhez az általam vizsgált kutak közül 7 esetben modellezett hőmérséklet adatokat használtam, Miskolc területén található 5 kút esetében pedig geotermikus lépcsőből számítottam a mélység szerinti hőmérsékletváltozást (1. táblázat).

1. táblázat Miskolc és környéki területen készült hőmérséklet-eloszlás szelvényekhez felhasznált kutak, a hőmérsékletadatok típusa (szerző saját szerkesztése)

Kút neve	Település	Felhasznált hőmérsékletadat típusa
KIS-PE-01b	Kistokaj	modellezett
KIS-PE-02	Kistokaj	modellezett
MAL-PE-01	Mályi	modellezett
MAL-PE-02	Mályi	modellezett
K-3	Köröm	modellezett
B-187	Miskolc	modellezett
K-117	Miskolc	modellezett
B-109	Miskolc	GL összefüggés alapján számított
K-103	Miskolc	GL összefüggés alapján számított
B-69	Miskolc	GL összefüggés alapján számított
B-10	Miskolc	GL összefüggés alapján számított
B-72a	Miskolc	GL összefüggés alapján számított

Mivel csak a Miskolc területén mélyült hévízkutak esetén volt szükségem geotermikus lépcső összefüggés alapján számított hőmérséklet adatokra, így csak az itt létesültek adatait használtam fel a geotermikus lépcső összefüggés meghatározásához. A kutak viszonylag sekély mélysége (300-650 m), és hozzá tartozó fajlagosan nagy talphőmérséklet adatok (33-52 °C) alapján a várostól délebbre (Kistokaj, Mályi, Köröm) mélyült több mint 1000 méter mélységű kútadatokat nem használtam fel, mert azok nagyon eltérőek, és jelentős mértékben torzítanak a számítási eredményeket, és már nem lokális szinten lennének érvényesek a számítások. Ez a jelenség ilyen tagoltság, valamint lefedettség-változás mellett természetes.

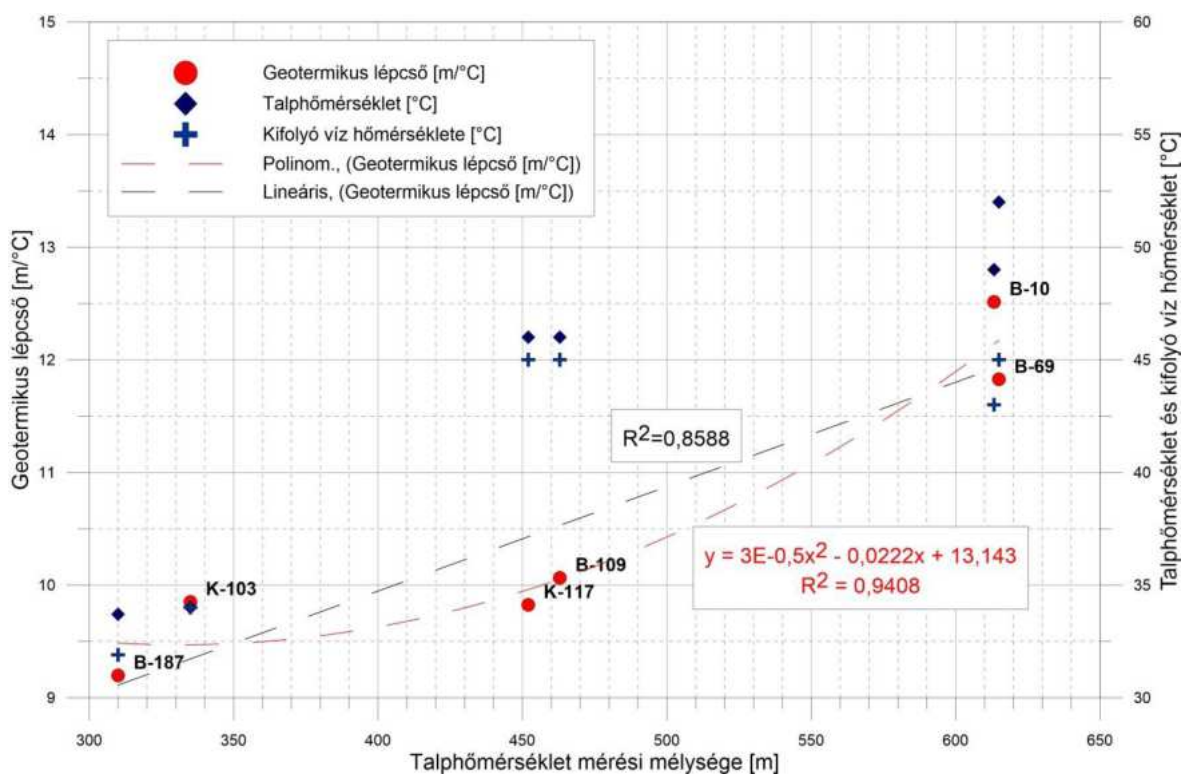
Mint ahogyan a 25. ábra is mutatja, az egyes kutakra jellemző geotermikus lépcső értékekre lineáris és másodfokú közelítést is vizsgáltam. Lineáris illesztés esetén a négyzetes korreláció értéke  $R^2=0,86$ -ra, másodfokú illesztés esetén pedig  $R^2=0,94$  adódott. Mivel a magasabb rendű illesztés erősebb korrelációt mutat az adatokkal, ezért a továbbiakban ezt alkalmaztam.

Először meghatároztam Miskolc területén jellemző geotermikus lépcső értékekre vonatkozó egyenletet (25. ábra), melyhez 6 db hévízkút mélység-talpfőmérséklet adatait használtam fel:

$$Gl_i = 3 \cdot 10^{-5} \cdot z_i^2 + 0,022 \cdot z_i + 13,143 \quad (3)$$

ahol

- $Gl_i$  – az adott kútra számított geotermikus lépcső [ $m/^\circ C$ ]
- $z_i$  – az adott kút talpmélysége [m].



25. ábra A Miskolc területén jellemző geotermikus lépcső meghatározásához felhasznált egyenlet ( $R^2=0,94$ ), megadva a felhasznált hévízkutak geotermikus lépcső, talphő és kifolyó vízhőmérséklet adatai (szerző saját szerkesztése)

Az így kapott (3) egyenlet pontosságának ellenőrzése céljából összevettem a segítségével számolt mélységbeli hőmérsékleteloszlás adatokat, valamint a mérési adatokat. Az eltérések átlaga 6,3 %-ra adódott, így az egyenletet elfogadhatónak tartom, és a továbbiakban alkalmazom.

A (3) összefüggés segítségével előállított mélység szerinti hőmérséklet-eloszlás görbéket, valamint modellezett adatokat felhasználva készítettem el három szelvényt a vizsgált

területen, melyeknek nyomvonalai a 24. ábrán látható. Az első Miskolcon húzódik DNy-ÉK irányban, mely azt mutatja, hogy a hegység lábától távolodva hogyan változnak az elvi hőmérséklet-viszonyok. Továbbá látható az is, hogy e nyomvonal mentén található felszín alatti mészkő gerincen igen speciális hőmérsékleti viszonyok alakultak ki (a korábban említett relatíve sekély mélységben előforduló termálvizek miatt). Az É-D irányú szelvény segítségével szemléltetem a mészkő gyors mély felé bukását, a harmadik, K-Ny irányú szelvény pedig a vizsgált terület déli részét reprezentálja. A kis számú fúrás megléte miatt ez a szelvény főként a pretercier mészkőaljzat szerkezetéről, felszínének változásáról ad tájékoztatást.

A szelvények Golden Software Surfer nevű programmal készültek. A rendelkezésre álló interpolációs módszerek közül összesen négy ad lehetőséget arra, hogy vetőket is figyelembe vegyen a számítási folyamatok elvégzése során (*Inverse Distance to a Power*, *Minimum Curvature*, *Nearest Neighbour*, *Data Metrics*), melyet kiemelten fontosnak tartottam. Mind a négy módszer alkalmazhatóságát vizsgáltam, az eredmények alapján egyértelmű volt, hogy csak a „*Minimum Curvature*” algoritmus ad elfogadható eredményt, mely egyébként gyakran és széles körben alkalmazott számítási módszer a földtudományok területén.

#### 5.3.3.1.1. 1. 1-es szelvény értékelése:

A szelvény többek között a Miskolc alatt húzódó triász korú mészkő felszínének mélybeli helyzetéről ad információt (26. ábra). Látható, hogy az egyetemi kutak (K-103, B-187) még a hegység keleti lábához közel helyezkednek el, ahol még a mészkőtető sekélyebb mélységben található. Emiatt, valamint a hegységből leszálló hideg karsztvíz miatt a két kút talphőmérséklete alacsonyabb, de törvény által elfogadott hőfok szerinti beosztás alapján már termálvíznek számítanak 34 és 33,7 °C-os hőmérséklettel (101/2007. (XII. 23.)). A város keleti része felé haladva a mészkőréteg körülbelül 200 méterrel mélyebb helyzetbe kerül, és a területen ÉÉNY-DDK irányban húzódó törésraj (törések, ill. feltolódások) is elveti. A B-187-es jelű Egyetem-2-es kút és az Erzsébet-téri B-72a kút közötti távolság légvonalban közel 3 km, a talphőmérséklet értékei között már több mint 17 °C-os a különbség. Emellett látszik az is, hogy az Erzsébet-téri kút egy mészkő kiemelkedést ért el. Itt is feltételezhető vetők jelenléte, melyek lehetőséget teremtenek a magasabb hőmérsékletű mélybeli vizek felfelé történő áramlására, de erről semmilyen más földtani, geofizikai információ nem áll rendelkezésre.

Tovább haladva kelet felé a mészkőtetőn egy kis területű kiemelkedés figyelhető meg, ennek a tövében mélyült a két selyemréti kút (B-10 és B-69). A két kút közötti távolság nagyon kicsi, 156 méter, ennek ellenére a fúrások által elért mészkő tető szintje közötti különbség 25 méteres. Továbbá érdekes az a jelenség, hogy a két kútban közel azonos

mélységben mért (B-10 esetén 482,6 mBf-en, B-69 esetén 483,1 mBf-en) vízhőmérsékletek között viszont 8 °C eltérés adódik. Ilyen rövid távolságon bekövetkező jelentős különbségek miatt azt feltételezem, hogy a két kút közötti területen szerkezeti törés, törésraj helyezkedik el, melyet szaggatott vonallal jelöltem.

A szelvény keleti felén látható lokális kiemelkedett mészkő platón került kiképzésre a kertészeti (B-109), valamint a húsipari vállalat kútja (K-117). A Selyemrét-2-es kúttól való távolságuk 1263 m és 1553 m, talpmélységük 466 és 453 m. Sajátos jellegűek, hiszen sekélyebb mélységben 46 °C-os talphőmérséklet mérhető bennük. A szelvényen magán ugyan nem, de a 24. ábrán látható, hogy ez a mészkőtető a K-DK-D-i irányban található területekhez képest kiemelt, feltolt helyzetű, melyet sűrű törésrajok kísérnek, határolnak és tagolnak is (Kozák M. szóbeli közlése, 2021).

#### 5.3.3.1.2. 2. 2-es szelvény értékelése:

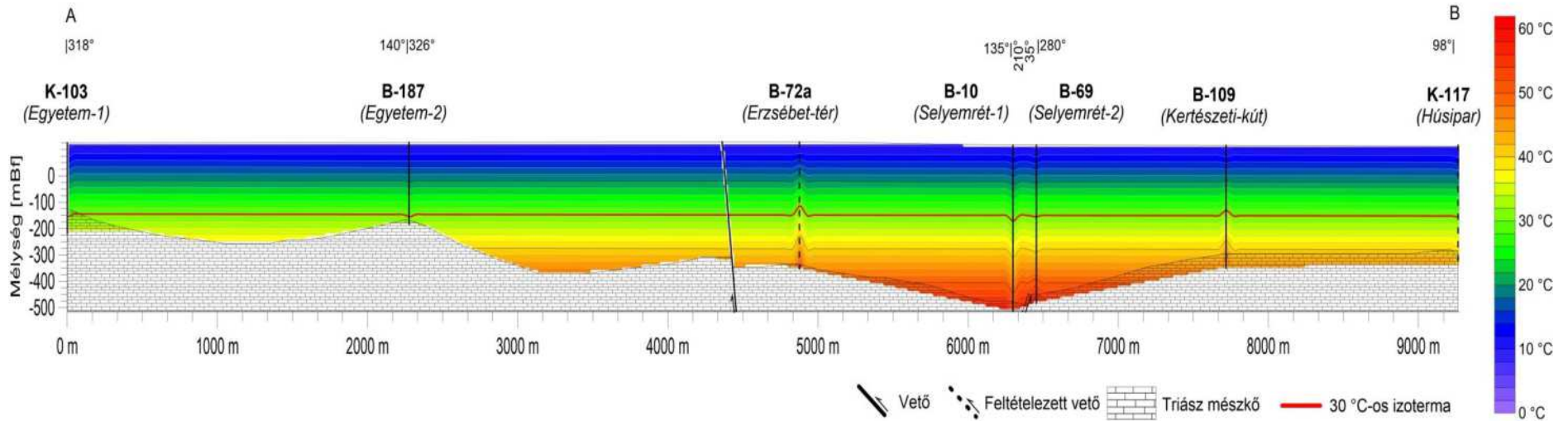
A második szelvény É-D-i irányú, Miskolc-Mályi közötti területet reprezentálja (27. ábra). Látható, hogy dél felé haladva a triász korú mészkő felszíne folyamatosan egyre mélyebbre süllyed, a rétegben uralkodó hőmérsékletek egyre nőnek. A szelvény utolsó előtti, déli pontján (MAL-PE-02) iránya kelet felé megváltozik. Ezt azért tartottam érdekesnek ilyen módon ábrázolni, mert látható, hogy Mályiban a MAL-PE-01 és MAL-PE-02 jelű kutak között húzódik egy szerkezeti törésvonal, bár a két kút nagyon közel helyezkedik el egymáshoz képest (580 m), de fúrási adataik alapján a mészkőtető szintjéből számítva az elvetési magasság 400 méter. Mint ahogyan az a szelvényen is látszik, ez jelentősen befolyásolja a lokális hőmérsékleti viszonyokat. A MAL-PE-01-es fúrás talphőmérséklete lényegesen nagyobb (105,3 °C), mint a MAL-PE-02-es kúté (89 °C), viszont a talpmélységeket is figyelembe véve a MAL-PE-02-es kút esetében pozitív hőanomália tapasztalható (MAL-PE-01 esetén 39,01 °C/km, MAL-PE-02 esetén pedig 48,84 °C/km). Ennek oka a termálkarszt kiemelt helyzete, valamint a törésvonal menti feláramló magasabb hőmérsékletű víz.

Ugyanez a helyzet elmondható a Kistokajban mélyült KIS-PE-01b és KIS-PE-02-es kutak esetében is. A két kút közti felszíni távolság 255 méter és az elért mészkőtető szintek között 15 méteres a különbség. Emellett a talphőmérsékletek között is adódik különbség (81,6 °C és 75,9 °C-ból adódó 5,7 °C). Ugyan a fellelhető földtani térképek alapján a két kút között nem található vető, de az információk alapján mégis azt feltételezem, hogy a triász korú mészkőben itt is található egy törés, melyet szaggatott vonallal jelöltem a szelvényen, 15 méteres elvetési magassággal. Az is látható, hogy a Bükk felé eső kút (KIS-PE-02) talphőmérséklete kisebb. Ezt azzal magyarázom, hogy a hegység felől

# 1. szelvény

**DNY**

**ÉK**



26. ábra A Miskolc területén készült DNY-ÉK irányultságú elvi hőmérséklet-eloszlás szelvény (1), jelölve a 30 °C-os izoterma és az triász korú mészkő aljzat [szerző saját szerkesztése (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000) nyomán] (szerző saját szerkesztése)

érkező árapályákon némileg alacsonyabb hőmérsékletű víz mozog ebben a mélységben a karsztban, és a törésvonal mentén a mélyebb szintekről felfelé áramló víz okozza a KIS-PE-01b kút magasabb talphőmérsékletét.

Fontos azt hangsúlyozni, hogy a területen a törések, vetők, feltolódási síkok száma az ábrázoltnál sokkal nagyobb lehet, de ezek helye, sűrűsége nem ismert.

#### *5.3.3.1.3. 3. 3-as szelvény értékelése:*

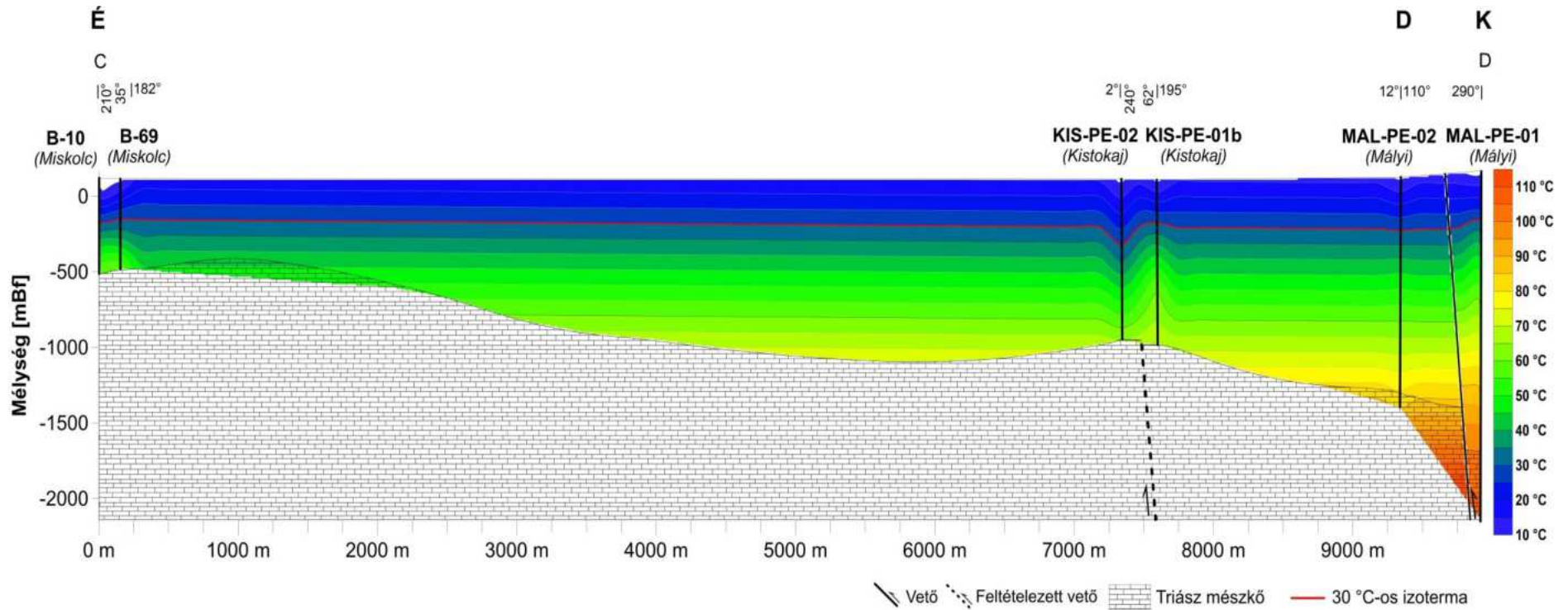
A 3. jelű szelvény a vizsgált terület déli részén fut. Mivel ezen a szakaszon nagyon kevés fúrás létesült, a szelvény főként a mészkötető nagy mélységbe bukásáról ad információt, valamint arról, hogy a területen végigfutó É-D-i irányú szerkezeti törés milyen nagy elvetést okozott a triász mészkőben (28. ábra). Látható, hogy kelet felől, a hegységtől távolodva, a mészkő több mint -2 000 mBf-i mélységbe bukik alá. A vizsgált terület középső, lezökkenegysége D felé csatlakozik a Vatta-Maklári-árokhoz (24. ábra). A szelvény Ny-i felén a K-3 jelű - eredetileg szénhidrogén-kutató - fúrás érte el a triász aljzatot 1881 m-es mélységben, 105 °C-os talphőmérséklettel.

Összegezve elmondható, hogy a Miskolc és tőle délre fekvő területen a triász korú mészkő több szerkezeti vonal hatására igen különböző mélységekben helyezkedik el. Miskolc alatt húzódik egy sekélyebb helyzetű mészkő gerinc, mely a hegység lábától kelet felé bukik alá. A gerincen létesült hévízkutak adatai alapján elmondható, hogy helyzete lehetővé teszi körülbelül 46-51 °C-os termálkarsztvíz kitermelését 450-640 méteres átlagos mélységből. A hőmérséklet-eloszlás alapján a triász mészkőben több vető megléte feltételezhető, amelyek a környezetükben hévíz-kitermelés szempontjából kedvezően hatnak, lokálisan a területre jellemző átlagnál magasabb hőmérsékletű víz kinyerésére adnak lehetőséget.

A várostól D-i irányba haladva a mészkő folyamatos mélyülő helyzetbe kerül. A Mályi-Kistokaj térségében létesített kutak kis területen igen változatos mélységekben érték el a triász mészkő aljzatot. Az itt létesített kutak fűtési célú termálkarsztvíz kivétel céljából készültek, 2 db termelő és 3 db visszajutató kúttal. Ennek megfelelően a kutatás, kúttervezés és kútlétesítés során magasabb hőmérsékletű víz kitermelését célozták meg, melyet el is értek (105,3 és 108 °C).



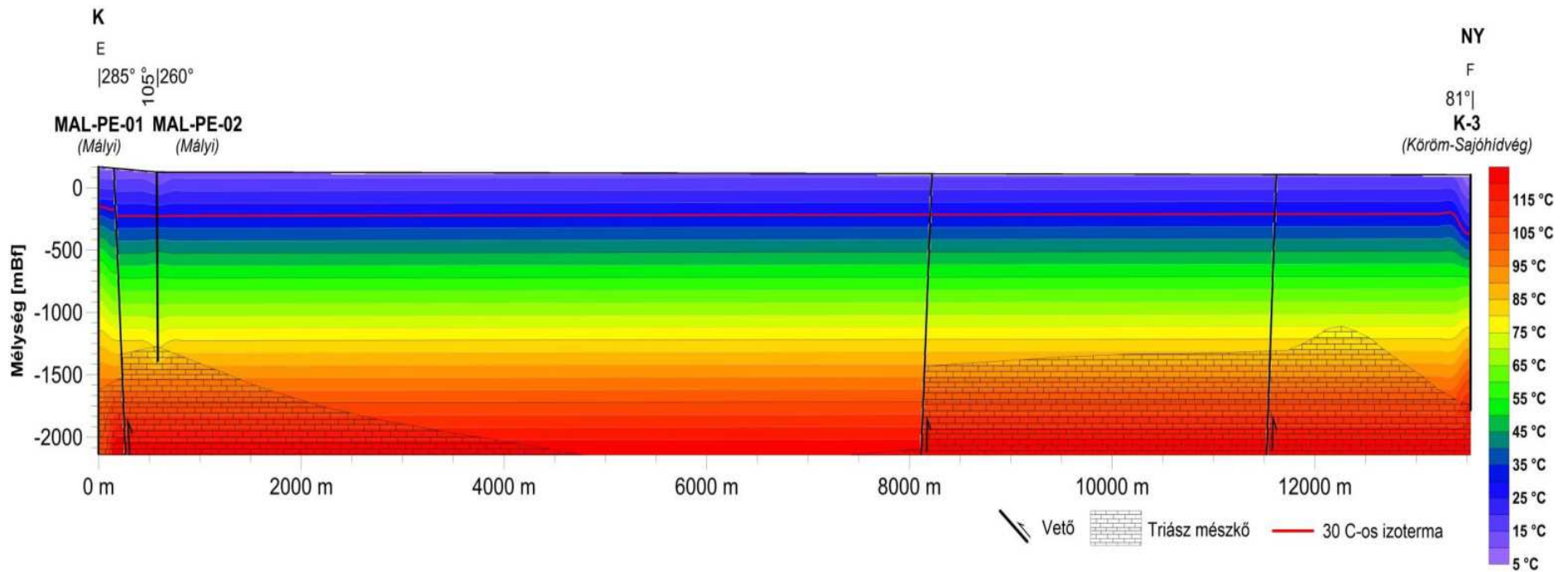
## 2. szelvény



27. ábra A Miskolc és környéke területén készült É-D-i irányultságú elvi hőmérséklet-eloszlás szelvény (2), jelölve a 30 °C-os izoterma és az triász korú mészkő aljzat [a szerző saját szerkesztése (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000) nyomán]



### 3. szelvény



28. ábra A Miskolctól délre fekvő vizsgálati területen készült K-Ny-i irányultságú elvi hőmérséklet-eloszlás szelvény (3), jelölve a 30 °C-os izoterma és az triász korú mészkő aljzat [a szerző saját szerkesztése (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000) nyomán]

Érdekes az a helyzet, hogy a vizsgált területen mélyült két legmélyebb kút 1848,4 m-en (K-3), valamint 1795 m-en (MAL-PE-01) érte el a mezozoós aljzatot. Sajátos földtani és karsztvíz-áramlási rendszert sejtet azonban az, hogy a MAL-PE-01 fúrás esetében 2280 m-es mélységben 105,3 °C-os, a tőle Ny-ra 13 km-re létesült K-3 esetében pedig 1877 m-es mélységben 108 °C-os talphőmérsékletet regisztráltak, tehát 400 m-es szűrőzési mélységkülönbség ellenére közel azonos hőmérsékletű karsztvizet tártak fel. A MAL-PE-01 kút lényegesen közelebb helyezkedik el a Bükk hegység lábához, Miskolc-Tapolcától csupán 7 km-es légvonalbeli távolságban. Egyrészt a triász mészkő ilyen rövid távolságon több mint 1500 m-es mélységbe kerül, és a nagy hőmérsékletű közeg és nagy vízáadó képesség jelentős, nagy mélységű termálkarsztos árampályák meglétét feltételezi. Viszont a csökkent hőmérsékletanomália oka lehet az, hogy a Bükk lábához közelebb a leszálló karsztvíz hűtő hatása jobban érvényesül. A hegységet fejlődéstörténete során több olyan irányú erőhatás érte ( $P_{II}$  erő; ÉNy-ias vergenciájú), melyeknek hatására a feltolódásokhoz kapcsolódó haránttörések keletkeztek (McIntosh, et al., 2011; McIntosh & Kozák, 2017), valamint a Mályi-Sajóhidvég-Köröm területén lépcsős szerkezetű mészkő aljzat jött létre. Ezek a haránttörések a leszálló hideg karsztvizet mélyebb zónákba is képesek elvezetni, de a hegységtől távolodva ez a hatás kevésbé érvényesül.

### **5.3.3.2. Koncepcionális karsztvíz-áramlási irányok**

#### **5.3.3.2.1. Vízkémiai vizsgálatok rövid módszertani ismertetése**

A vizsgált területen terepi mintavételezéseket végeztem, majd a Környezetgazdálkodási Intézet vízkémiai laboratóriumában meghatároztam a vízminták összetételét. A mintavételezések kivitelezése technikai körülmények miatt két időpontban történt (a MAL-PE-01, MAL-PE-02 jelű kutak esetén 2018.12.06-án, a B-69 és B-109 esetében pedig 2019.01.30-án). Mindkét esetben a vízmintákat 24 órán belül laboratóriumba szállítottam és elvégeztem a szükséges vizsgálatokat.

A hidrogén-karbonát koncentráció meghatározását az MSZ 448-11:1986 számú szabvány, a kloridion koncentráció meghatározásához az MSZ 448-15:1982-es számú szabvány követelményeinek megfelelően, titrálás módszerével végeztem el (MSZ 448-11:1986; MSZ 448-15:1982). A vízminták  $SO_4^{2-}$  tartalmának mérése koloriméteres vizsgálattal történt. A fő kationok ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) meghatározása Agilent 4210 típusú mikrohullámú plazma atomemissziós spektrofotométerrel készült. A műszer különlegessége, hogy az ICP-hez hasonlóan plazmában történik az atomizálás és gerjesztés, viszont ez a plazma mikrohullámmal gerjesztett, nitrogén gáz alapú plazma, amit egy nitrogén generátor dúsít a gép számára a levegő nitrogénjéből. A plazma hőmérséklete 5000 °K, ami miatt az érzékenysége elmarad az ICP-hez képest, így a

kimutatási határ a mért elemtől, valamint a háttér mátrixtól függően ppm és ppb tartomány között mozog. Az ICP-hez hasonlóan multielemes mérést tesz lehetővé ez a készülék is.

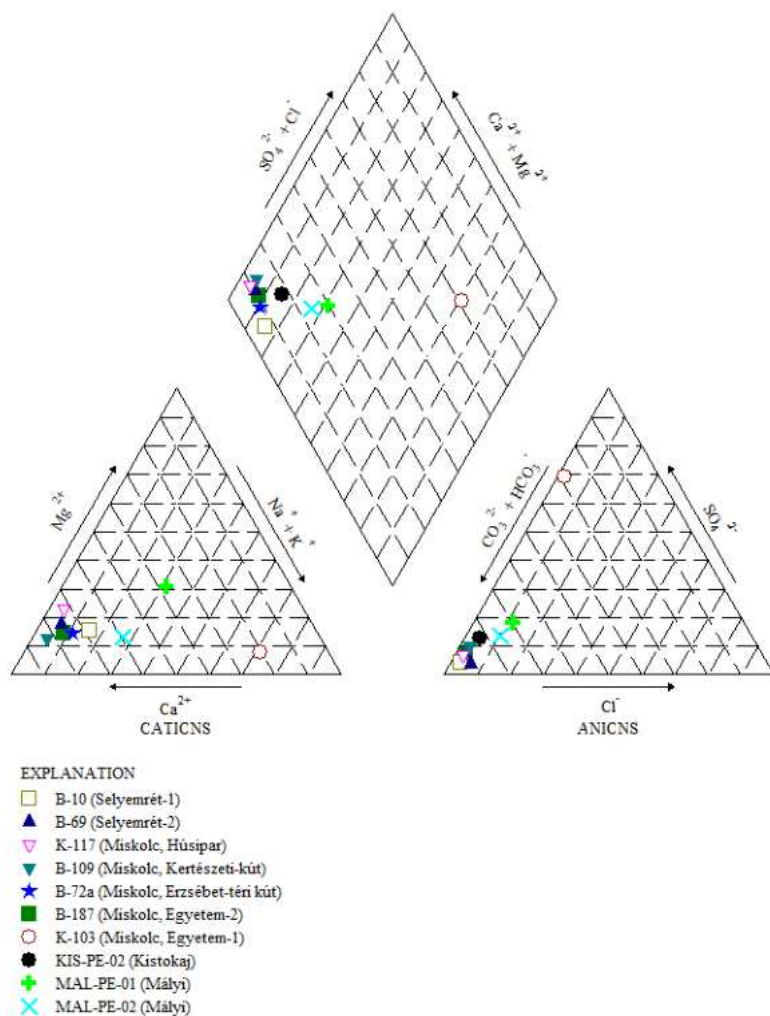
#### 5.3.3.2.2. *Konceptcionális karsztvíz-áramlási irányok meghatározásához elvégzett vizsgálatok és azok eredményei*

A vizsgált területen előzőekben három szelvény mentén elkészítettem a hőmérséklet-eloszlást (26-28. ábra). Az 1. és 2. szelvényt a továbbiakban kiegészítettem az egyes kutak víztípusainak megjelölésével is. A felszín alatti vizek kémiai jellegét a földtani felépítés nagyban befolyásolja, és információ nyerhető a vízkémiai fáciesből a víz eredetét illetően (Back, 1961). A vízkémiai fácies meghatározáshoz a saját mérési adatokat, a Vízföldtani Naplókban található vízkémiai eredményeket, vagy ezek híján az Országos Geotermikus Rendszer adatbázisából származó adatokat használtam fel (6. melléklet, 14. táblázat) (mbfsz.gov.hu, 2021).

A vízkémiai fácies meghatározását Piper-diagram segítségével végeztem el, mely gyakran alkalmazott grafikus eljárás. Lényege, hogy két háromszög diagramon ábrázolja a legfontosabb kationok ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), valamint anionok ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) egymáshoz viszonyított arányát, majd ezeket együttesen ábrázolja egy gyémántdiagramon. Hátránya, hogy a normalizálás következtében az oldott ion koncentrációk nem olvashatóak le róla. A vízkémiai fáciesek meghatározása (29. ábra) során a 6. mellékletben található beosztást vettem alapul. A diagramot az Egyesült Államok Geológiai Szolgálat (United States Geological Survey – USGS) által fejlesztett GW Chart nevű programmal készítettem.

A vizsgálatba bevont kutak közül négy kút esetében (B-69, B-109, MAL-PE-01 és MAL-PE-02) meghatározásra került a vett vízminták pMC (percent Modern Carbon) tartalma is, mely vizsgálatot a debreceni Atommagkutató Intézet laboratóriumában végeztek el. Az értékeket feltüntettem a szelvényeken (30. **ábra** és 31. ábra). Minél kisebb az adott minta pMC értéke, annál idősebb maga a víz (IAEA & UNESCO, 2000; IAEA & UNESCO, 2001). Vízkor meghatározás nem történt, de az egyes minták pMC értékeit egymással összevetve megállapítható az egymáshoz viszonyított koruk mértéke.

Így a rendelkezésre álló komplex földtani – hidrogeológiai - hőmérsékleti információk alapján az 1-es és 2-es szelvény esetében elkészítettem a szelvények mentén vizsgálva a termálkarsztvíz konceptcionális áramlási képét (30. ábra és 31. ábra).



29. ábra A Miskolc és környéki kutak vízkémiai fáciesének meghatározásához készített Piper-diagram (szerző saját szerkesztése)

Az 1. szelvény vizsgálata esetén (30. ábra) a legszembeűnőbb az, hogy a K-103-as kút víztípusa teljesen eltér a többi vizsgált kútétól, valamint a karsztvizekre általánosan jellemző kémiai összetételtől is. Ezen anomáliára magyarázat lehet, hogy ezen kút esetében a mészkő fedője 17 méter vastagságú homok, homokkő réteg, melyből történhet lokális vízátadás a karsztrendszer felé, melyet jelöltem a szelvényen is. Ettől a kivételtől eltekintve a vizsgált kutak vizei klasszikus karsztvizekre jellemző  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{CaMgHCO}_3$  típusba sorolhatóak. Az Erzsébet-téri (B-72a) kútnak a környezeténél magasabb talphőmérséklete arra enged következtetni, hogy a tőle nem messze található vetőzóna mentén mélyebb rétegbeli vizek felfelé mozognak. A város K-i felén található kútcsoport vízkémiai fáciese egységesen  $\text{CaMgHCO}_3$  típusba sorolható.

A meghatározott pMC értékek tekintetében igen érdekes eredményt tükröz a szelvény. A B-69-es és B-109-es kutat tekintve az figyelhető meg, hogy a B-69-es kút némileg idősebb vizet termel, mint a B-109-es. Ez a jelenség első megközelítésben magyarázható

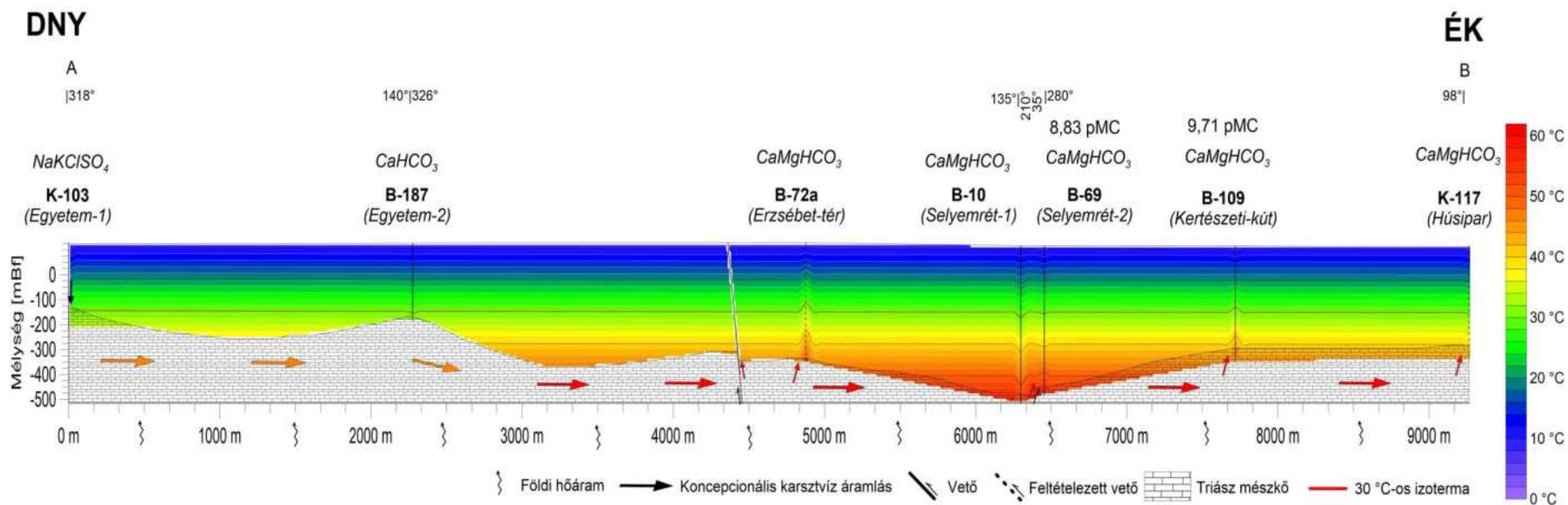
azzal, hogy a B-69-es kút szűrőzési mélysége lényegesen nagyobb. Azonban azt fentebb kifejtettem, és a pretercier aljzattérképen is látható (24. ábra), a B-109-es kút egy lokális, kiemelt helyzetben lévő mészkőplatót ér el. Ezen információkat figyelembe véve valószínűbb az az eset, hogy a B-69-es kút mellett feltételezett vető valóban megtalálható, és némileg nagyobb mélységű vízfeláramlást okoz. Továbbá, a B-109-es kút esetében fennáll a fiatalabb korú rétegvizekkel való keveredés lehetősége is, melyet a feltolódási folyamatok során kialakult törésrajok is lehetővé tesznek.

Az áramlási kép tisztázásában segítene a további szelvénymenti kutakból származó vízminták  $^{14}\text{C}$  vizsgálata, mely mérések folyamatban vannak, de ez a dolgozat elkészültéig sajnos nem valósult meg.

A 2. szelvényt vizsgálva megállapítható, hogy míg Miskolc város K-i részét a kitermelt termál karsztvizek víztípusa  $\text{CaMgHCO}_3$  jellegű, addig a Kistokajban és Mályiban létesült kutak jellemzően  $\text{CaHCO}_3$  típusú meleg karsztvizet tárnak fel. A terület az utánpótlódását a hegység felől kapta, ám a vízkémiai jellegükből adódó különbség arra enged következtetni, hogy e két terület karsztvizei más-más áramlási pályákon érkeznek. Ugyan a Kistokajban található két kút (KIS-PE-02, KIS-PE-01b) között a hőmérsékletkülönbség miatt feltételeztem egy vetőt, ez a kutak vizének típusára nincs befolyással.

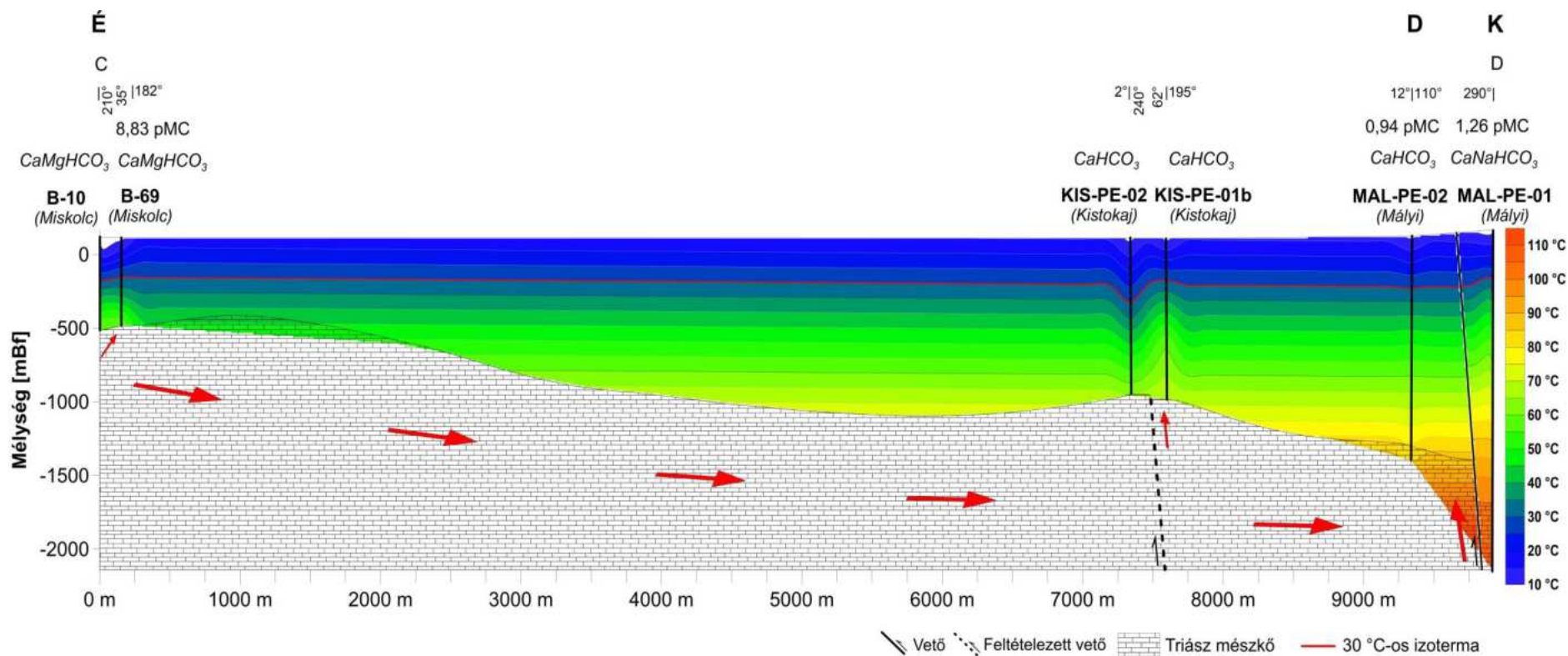
A Mályi termelő kutaknál földtani okokból zavart helyzet alakul ki. Látható a 31. ábra is, hogy a MAL-PE-02 és MAL-PE-01 kút vizének jellege alapvetően eltér egymástól. A 01-es jelű kút vize  $\text{CaNaHCO}_3$  típusba sorolható, és az átlagnál magasabb  $\text{Cl}^-$ , és  $\text{SO}_4^{2-}$  tartalom jellemzi. Ez is azt jelzi, hogy a közvetlen közelében található vető mentén mélységi vizek feláramlása történik meg (erre utal a kútnak a vártnál nagyobb talphőmérséklete is), amely feláramlási sebességet valószínűsíthetően a nagy ütemű termelés megnövelte. A vízkémiai fácies kialakításában emellett szerepet játszik a nagy mélységbe lezökkent mészkövet fedő jura korú agyagpala réteg, amelyben a domináns ionok jellemzően  $\text{Na}^+$  és  $\text{Cl}^-$ , de az emelkedett  $\text{SO}_4^{2-}$  tartalom már nagy mélységű árapályákon mozgó vizekre jellemző (Mádliné Szőnyi, et al., 2013). Továbbá fennáll annak a lehetősége is, hogy a termálkarszt mélyebb zónáiban fosszilis tengervíztestek maradhattak vissza, melyek szintén magyarázhatják a megnövekedett  $\text{Na}^+$ -tartalmat (Kozák M. szóbeli közlése, 2021).

## 1. szelvény



30. ábra A Miskolc területén készült DNY-ÉK irányultságú elvi hőmérséklet-eloszlás szelvény (1), jelölve a 30 °C-os izoterma és az triász korú mészkő aljzat, két kút pMC (percent Modern Carbon) tartalma, és a termálkarsztvíz koncepcionális áramlási rendszere [szerző saját szerkesztése (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000; mbfsz.gov.hu, 2021) nyomán]

## 2. szelvény



31. ábra A Miskolc és környéke területén készült É-D irányultságú elvi hőmérséklet-eloszlás szelvény (2), jelölve a 30 °C-os izoterma és az triász korú mészkő aljzat, három kút pMC (percent Modern Carbon) tartalma, és a termálkarsztvíz koncepcionális áramlási rendszere [szerző saját szerkesztése (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000; mbfsz.gov.hu, 2021) nyomán]

A pMC értékek tekintetében egyértelműen megállapítható az, hogy a Miskolc alatt sekély mélységben található mészkő összlet által szolgáltatott termálkarsztvíz fiatalabb, mint a Mályi területén termelt., viszont a MAL-PE-01 és MAL-PE-02 kút esetében a pMC értékek igen különös áramlási viszonyokra engednek következtetni. Amellett, hogy a két kút vízkémiai fáciése eltér egymástól, a  $^{14}\text{C}$  vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a MAL-PE-01 kút által termelt, 400 méterrel mélyebbről érkező, nagyobb hőmérsékletű termálkarsztvíz kis mértékben fiatalabb, mint a mellette termelő MAL-PE-02 kút által szolgáltatott víz.

***Tézis 2: Egerszalók-Demjén és Miskolc térségében földtani információkat, új fúrási adatokból származó geológiai, hőmérsékleti adatokat felhasználva az alábbi eredményeket értem el:***

- A. Egerszalók-Demjén térségében két szelvény mentén elkészítettem a terület hőmérséklet-eloszlását. Felhasználva számos szénhidrogén-kutató fúrás információit, valamint modellezett hőmérséklet adatokat, megadtam a terület tomografikus hőmérséklet-eloszlás térképét. Így horizontális és vertikális irányban is meghatároztam területi szinten az eddig nem ismert felszín alatti hőmérséklet-viszonyokat.***
- B. Miskolc térségében fúrási adatokkal pontosítottam a triász korú aljzat meglévő térképét. Modellezett és számított hőmérséklet viszonyok alapján három szelvény mentén elkészítettem a területen a mélységbeli hőmérséklet eloszlást. Vízkémiai, földtani és  $^{14}\text{C}$  mérési eredmények alapján két szelvény mentén meghatároztam a terület koncepcionális karsztvíz áramlási viszonyait.***



## 6. Idősor elemzések

A fejezetben a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatait használom fel különböző idősor elemzések elvégzésére. A dolgozat elején bemutatásra került az Nv-17 jelű kút (4.7.1.1. fejezet), de ismét fontos kiemelni, hogy számos korábbi kutatás eredményei alapján ezt a kútát tekintjük etalonnak, ez közelíti meg a lehető legjobban a tetőhelyzetben lévő karsztvíz szintjét. Input adatokként ennek az idősorát használom, valamint a jávorkúti meteorológiai állomás csapadékadatait. Output adatok a bükki termálkarsztos mérőhelyek közül a Selyemrét-2 (Miskolc), Kertészeti-kút (Miskolc), Termál-forrás (Miskolctapolca), Tükör-forrás (Kács), K-11 (Demjén), valamint a Zsóry-III. kút (Mezőkövesd) adatsorai.

A különböző módszerek segítségével vizsgálom a hideg és termál karsztrendszer közötti kapcsolatot, annak erősségét, mellyel célom bizonyítani a két rendszer hidraulikai folytonosságát. A termálkarsztos monitoringkutak kiválasztásának során egyik kritérium volt az adatsorok megfelelő hosszúsága, hiánytalansága. Mivel pontos termelési adatsorok nem állnak rendelkezésemre, további szempont volt, hogy pozitív, nem szivattyúval termelt termálkutak adatsorait használjam, mert a termelés hatása ezekben a típusú kutakban kevésbé befolyásoló tényező. Így vizsgáltam azt is, hogy ezek a mérőhelyek alkalmasak-e monitoring tevékenységre.

### 6.1. Alkalmazott módszerek (szakirodalmi áttekintés)

Az idősor elemzések során alkalmazott legtöbb módszer Jenkins&Watt, 1968 munkájához kötődik. Karsztrendszerek működésének leírására elsőként Mangin alkalmazta (Mangin, 1971; Mangin, 1981; Mangin, 1984a). A klasszikus idősor elemzések során beszélhetünk egyváltozós (autokorrelációs, spektrálanalízis), valamint kétváltozós (keresztkorreláció, kereszt spektrum vizsgálat) módszerekről. Az egyváltozós módszerek egy önálló adatsor szerkezetét vizsgálják, míg a kétváltozós módszerek két adatsort vetnek össze, és jellemzik az input jel output jellé változását (Kovács, 2003).

#### 6.1.1. Keresztkorrelációs vizsgálat

A keresztkorreláció két adatsor, pl.  $x_t$  ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) és  $y_t$  ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) (ahol  $n$  az adatok számát jelöli) között fennálló kapcsolat szorosságát vizsgálja (időben vagy térben). Ha vesszük az egyik adatsor értékeit, és azokat összevetjük a másik adatsor időben eltoltt megfelelő értékeivel, akkor a keresztkorreláció segítségével a két adatsor közötti késleltetett hatások is kimutathatóak. Két adatsor között értelmezett keresztkorrelációs függvény a két jelben közösen meglévő harmonikus komponensek, vagyis azonos frekvenciájú komponenseket adja meg. Ellentétben az autokorrelációs függvényvel, a

keresztkorrelációs függvény nem szimmetrikus adott időpontra, tehát  $r_{+k} \neq r_{-k}$ . Maga a függvény  $m$  metszésponttal,  $k=0, 1, 2, \dots, m$  a következő:

$$r_{+k} = r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sqrt{C_x^2(0)C_y^2(0)}} \quad (4)$$

$$r_{-k} = r_{yx}(k) = \frac{C_{yx}(k)}{\sqrt{C_x^2(0)C_y^2(0)}} \quad (5)$$

ahol:

$$C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad (6)$$

$$C_{yx}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad (7)$$

$$C_x(0) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \quad (8)$$

$$C_y(0) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2 \quad (9)$$

ahol:

- $\bar{x}, \bar{y}$  az  $x_t$  és  $y_t$  adatsorok átlaga
- $r$  – a keresztkorreláció értéke
- $k$  – eltolás mértéke
- $n$  – az idősor hossza (napok száma)
- $C$  – keresztkovariancia elemszámmal normált értéke

Az időbeli eltolás mértékét és az ún. „truncation point”, metszéspont ( $m$ ) értékét az idősor hossza határozza meg, meghatározását (Chatfield, 1975)  $m = 2\sqrt{n}$  módon javasolja, (Wei, 1990) pedig  $n/10$  gyanánt.

A keresztkorrelációs vizsgálat alkalmas többek között arra, hogy zajjal erősen terhelt mérési adatsorban periodikus komponenseket keressünk. Ez esetben ún. keresőjeleket alkalmazunk, melyek frekvenciája megegyezik a keresett periodikus komponensével. Ezen alkalmazási módszer főleg a földtudományok más ágaiban (pl. geofizikai mérések feldolgozása) alkalmazható nagy sikerrel. Hidrogeológiában a mérési adatsorok általában konkrét méréseken alapulnak, és nagyobb eséllyel terheltek hibával, mint zajjal (Padilla&Pulido-Bosch, 1995; Turai, 2005).

### 6.1.2. Autokorrelációs vizsgálat

Autokorrelációs vizsgálat eredménye megmutatja, hogy egy adatsor és annak időben eltolta között milyen összefüggés van. A módszer alkalmas arra, hogy ismeretlen frekvenciatartalmú jelekben periodikus komponenseket keressünk, és azok frekvenciáját meghatározzuk. A korrelogram leírja a rendszer memóriaeffektusát, az eredmény számszerűsíthető, és további összehasonlításokra alkalmazható. Ha egy adott eseménynek hosszú távú befolyása van a vizsgált idősorra, akkor az autokorrelációs függvény meredeksége kicsi, az  $r_k$  kisebb mértékű és lassabb csökkenést mutat, mint olyan esetben, mikor az esemény rövid távú befolyással bír. Egy adott jel autokorrelációs függvénye a jelben lévő harmonikus komponensek, vagyis a jel frekvenciatartományának kimutatására alkalmas. Az eltolás következtében az adatsor hossza  $k$ -val csökken, mert az első  $k$  ponthoz nem rendelhető hozzá korábbi adat. Kiszámítása az alábbi módon történik:

$$r_x(k) = \frac{C_x(k)}{C_x(0)} \quad (10)$$

$$C_x(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad (11)$$

ahol:

- $k$  - az időbeli eltolódás (0 és  $m$  között változó)
- $C_k$  - autokovariancia
- $n$  - az idősor hossza
- $x$  - az egy adott esemény
- $\bar{x}$  - az események átlaga.

Az időbeli eltolás mértékét és az ún. „truncation point”, metszéspont ( $m$ ) értékét a keresztkorrelációs vizsgálatok során alkalmazottal azonos módon határoztam meg (Chatfield, 1975; Wei, 1990).

### 6.1.3. Fourier-transzformáció, spektrálanalízis

#### 6.1.3.1. A frekvencia, amplitúdó és fázis értelmezése

*A frekvencia értelmezése:*

A  $2\pi$  szerint ismétlődő  $\cos(t)$  függvény átalakításából kiindulva bevezeti az  $1/T$  arányt, mely megmutatja, hogy a vizsgált  $t$  változó időszakában hány darab ismétlődő periódus van az argumentumban. Ez az arány a periódus sűrűség, vagy más néven a frekvencia ( $f$ ), melynek mértékegysége [Hertz=1/s]:

$$f = \frac{1}{T} \tag{12}$$

Az időben értelmezett frekvencia a vizsgált jel egy szekundumra eső periódusok/hullámok számát adja meg (Turai, 2005).

*Az amplitúdó értelmezése:*

Ha az előzőekben ismeretett  $\cos(2\pi ft)$  függvényt megszorozzuk  $A$ -val, és maximumhelyét  $\Delta t$ -vel eltoljuk, akkor a függvény maximuma ( $F_{max}$ ) és minimuma ( $F_{min}$ ) különbségének fele értelmezhető a függvény amplitúdójaként (Turai, 2005):

$$A = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \tag{13}$$

*A fázis értelmezése:*

A fázis (fázisszög) azt mutatja, hogy a periódushossz (periódusidő vagy hullámhossz) hányad részével tolódott el a jel maximum helye a  $t=0$  origóhoz képest.

#### 6.1.3.2. A Fourier-transzformáció

A fejezetben a Fourier-transzformáció módszertanát (Turai, 2005) munkája alapján tekintem át. A módszer lényege, hogy segítségével a mért jel a tér-idő tartományból a frekvenciatartományba vihető át, így már elvégezhető az adatsoron például a periodicitás vizsgálat. Az eredményül kapott, frekvenciatartomány-beli adatsort más néven spektrumoknak nevezzük. A Fourier-transzformációnak elvégezhető a fordítottja is, az

inverz Fourier-transzformáció, mely során a spektrumok visszaállíthatóak jellé a tér-idő tartományban.

A teljes valós tartományon egy négyzetesen integrálható  $f(t)$  jelnek az  $F(f)$  Fourier-transzformáltja 1D esetben a következő:

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt \tag{14}$$

ahol:

- $j = \sqrt{-1}$  , képzetes egység
- $t$  az idő
- $f$  a frekvencia
- $f(t)$  az időtartománybeli jel
- $F(f)$  az időjel spektruma

Az  $F(f)$  spektrum megmutatja, hogy az  $f$  frekvencia egységnyi sáv szélességű környezetében milyen súllyal vesz részt az  $f(t)$  jel kialakításában, ha a jelet harmonikus függvényekből  $\cos(2\pi ft)$ ,  $\sin(2\pi ft)$  építjük fel. A Fourier-spektrum komplex lesz, vagyis lesz valós és képzetes része, az alábbiak szerint:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j2\pi ft} dt &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos(2\pi ft) dt + j \left( - \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin(2\pi ft) dt \right) \\ &= \text{Re}[F(f)] + j \text{Im}[F(f)] \end{aligned} \tag{15}$$

ahol:

- $\text{Re}[F(f)]$  - a spektrum valós része (mely a valós cosinus transzformációval határozható meg)
- $\text{Im}[F(f)]$  - a spektrum képzetes része (mely a valós sinus transzformációval határozható meg)

Spektrálanalízis elvégzése során egy általunk vizsgálni kívánt adatsor teljes hosszában végezzük el a Fourier-transzformációt.

#### 6.1.4. Keresztspektrál analízis és fázis függvény

A keresztkorrelációs függvény asszimétriája miatt szükséges az egyszerű spektrálsűrűség komplex számokkal való kifejezése, amely a következőképp adható meg (Padilla&Pulido-Bosch, 1995):

$$\Gamma_{xy}(f) = |\alpha_{xy}(f)| \exp[-i\Phi_{xy}(f)] \quad (16)$$

ahol  $i = \sqrt{-1}$ ,  $\alpha_{xy}(f)$  és  $\Phi_{xy}(f)$  a keresztamplitúdó és fázis függvények értékei  $f$  frekvencián értelmezve (Padilla&Pulido-Bosch, 1995):

$$\alpha_{xy}(f) = \sqrt{\Psi_{xy}^2(f) + \Lambda_{xy}^2(f)} \quad (17)$$

$$\phi_{xy}(f) = \arctan \frac{\Lambda_{xy}(f)}{\Psi_{xy}(f)} \quad (18)$$

melyben a négyzetes spektrum  $\Lambda_{xy}(f)$  és a kereszt spektrum,  $\Psi_{xy}(f)$  az alábbi módon fejezhető ki (Padilla&Pulido-Bosch, 1995):

$$\Psi_{xy}(f) = 2 \left\{ r_{xy}(0) + \sum_{k=1}^m [r_{xy}(k) + r_{yx}(k)] D_k \cos(2\pi f k) \right\} \quad (19)$$

$$\Lambda_{xy}(f) = 2 \left\{ \sum_{k=1}^m [r_{xy}(k) - r_{yx}(k)] D_k \sin(2\pi f k) \right\} \quad (20)$$

ahol  $D_k$  egy súlyfüggvény, mely arra szolgál, hogy a  $\Psi_{xy}(f)$  és  $\Lambda_{xy}(f)$  együtthatókban jelentkező torzítást kiküszöbölje. Frekvenciatartományba való áttérés során az adatsor korrelálatlanná válik, így a spektrum ingadozó lesz. Erre megoldást ad a spektrumsimítás. A számtalan súlyozási függvény közül a Tukey ablak szűrő bizonyult a legalkalmasabbnak hidrogeológiai adatsorok esetére (Jenkins&Watts, 1968):

$$D_k = \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos\left(\frac{\pi k}{m}\right) \right] \quad (21)$$

Hidrológiai idősorok esetén alkalmazva e módszert, a keresztamplitúdó függvény,  $\alpha_{xy}(f)$  összefüggésbe hozható a rendszer impulzusválaszának hosszával, valamint jelzi a csapadékatok periodikus komponenseinek szűrését is. Ezen paraméterek jellemzik a vízáadó rendszer moduláló hatását rövid, közepes és hosszabb időtávokon is. A fázis függvény,  $\phi_{xy}(f)$ , különböző frekvenciákon mutatja csapadék és áramlásbeli változások bekövetkezése közti késleltetés mértékét. Ennek értéke  $2\pi$  között változik, jellemzően  $-\pi$

és  $+\pi$  között. A számítások során figyelembe kell venni azt, hogy a  $\phi_{xy}(f) = \pi + c$  és  $\phi_{xy}(f) = -\pi + c$  azonos értéket fognak adni, mely kétértelműség a függvény tendenciájából adódik. Az input adatok túlzott csillapítása a rendszerben megjelenik a keresztamplitúdó és gain függvényekben, a fő késleltetés,  $d$ , az egyenes meredekségével írható le a legjobban (Padilla&Pulido-Bosch, 1995):

$$\phi_{xy}(f) = 2\pi df \quad (22)$$

### 6.1.5. Koherencia függvény

A keresztamplitúdó függvény és egyszerű spektrálsűrűség függvény segítségével további függvények adhatók meg, mint a koherencia,  $\kappa_{xy}(f)$ , függvény (Padilla&Pulido-Bosch, 1995):

$$\kappa_{xy}(f) = \frac{\alpha_{xy}(f)}{\sqrt{\Gamma_x(f)\Gamma_y(f)}} \quad (23)$$

ahol  $\Gamma_x(f)$  és  $\Gamma_y(f)$  az  $x_t$  és  $y_t$  adatsorok spektrálsűrűség függvényei, mely a következő módon adható meg (Padilla&Pulido-Bosch, 1995):

$$\Gamma_x(f) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \sum_{k=1}^m D_k r_x(k) \cos(2\pi f k) \right] \quad (24)$$

ahol:

- $r_x(k)$  – az  $x_t$  adatsor autokorrelációs függvénye [(9) és (10) egyenletek]

A koherencia függvény eredménye megmutatja, hogy a kimenő adatsorban bekövetkező változások reagálnak-e a bemenő adatsorban bekövetkező változásokra, tehát, hogy a két adatsor között fennáll-e az információcsere. Ez egyben a két adatsor között fennálló korrelációt is mutatja (Turai, 2005).

## 6.2. Eredmények

A fejezetben bemutatott eredményeket a 6.1. fejezetben ismertetett módszertan és képletek felhasználásával számítottam. A számításokat Excel számológéptáblában végeztem el, a keresztkorrelációs vizsgálatokhoz szükséges keresztkovariancia, valamint az autokorrelációs vizsgálatokhoz szükséges autokovariancia értékeket Matlab segítségével határoztam meg.

A felhasznált adatok Dataqua gyártmányú mérőműszerek mérési adatai. A gyártó által megadott megadott pontosság folyadékszint és nyomásmérés esetében műszertípustól függően  $\pm 0,1-0,2$  % (Dataqua Elektronikai Kft., 2022).

### 6.2.1. Az Nv-17 és a termálkarsztos mérőhelyek görbéinek összevetése

Első lépésben grafikusan ábrázolva összevettem az Nv-17, valamint a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek [Miskolc, Selyemrét-2-es kút (B-69); Miskolc, Kertészeti-kút (B-109); Mezőkövesd-Zsóry, III. sz. megfigyelőkút; Kács, Tükör-forrás; Demjén, K-11-es kút] adatsorait. Annak érdekében, hogy a görbék könnyebben összevethetőek legyenek egymással, valamint mivel ez esetben nem az értékek, hanem a görbék jellege, alakja érdekes, az adatsorokat önmagukkal normálva ábrázoltam. Ehhez az alábbi képletet alkalmaztam (Lénárt, 2019):

$$y_i = \frac{x_i - k_{min}}{k_{max} - k_{min}} \cdot 100 \quad (25)$$

ahol:

- $y_i$  – a normált adatsor [%]
- $x_i$  – az eredeti adatsor
- $k_{min}$  – az adatsor minimum értéke
- $k_{max}$  – az adatsor maximum értéke.

Ezzel az egyszerű módszerrel céloim vizsgálni azt, hogy az Nv-17 adatsorában bekövetkezett változások megjelennek-e a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek adatsoraiban. Nyilvánvaló, hogy az Nv-17 vízszintjében bekövetkezett kisléptékű vízszintváltozások nem fognak jelentkezni, viszont a jelentős csapadékok okozta hirtelen vízszintemelkedések olyan változások, melynek következtében, véleményem szerint, egy nyomáshullám generálódik, és terjed tova a karsztrendszerben. Három évben történt ilyen jellegű esemény, 2006-ban, 2010-ben, valamint 2013-ban, mindhárom alkalommal komoly karsztárvizet okozva a hegységben és környékén.



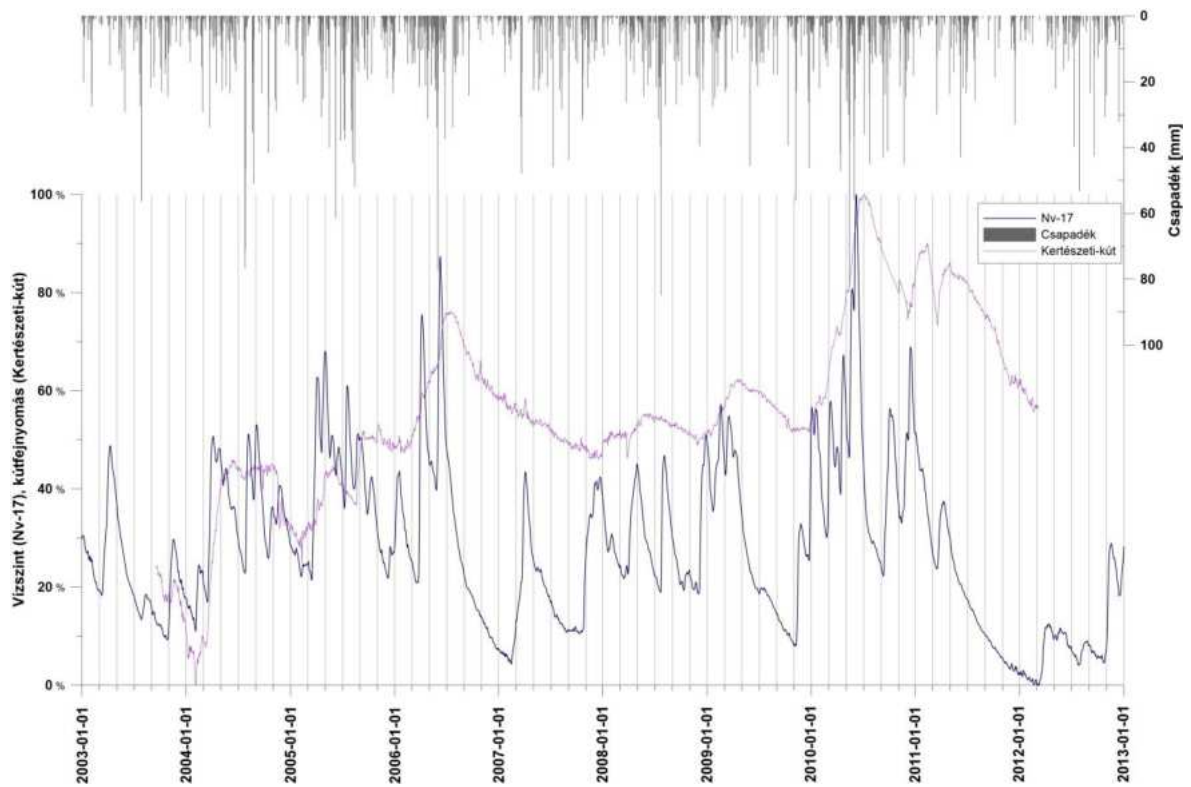
2. táblázat Az Nv-17 és a termálkarsztos mérőhelyek közötti jellemző adatok (szerző saját szerkesztése)

Mérőhely	Nv-17-től való légvonalbeli távolsága	Nv-17 csőperemszintje (778,813 mBf) és a mérőhelyek szűrőközep szintje/fakadási szintje közti vertikális távolság
Selyemrét-2	23km	1268m
Kertészeti-kút	24 km	1119m
K-11	30 km	1524 m
Zsóry-III. sz. kút	32km	1577 m
Tükör-forrás	15 km	583 m

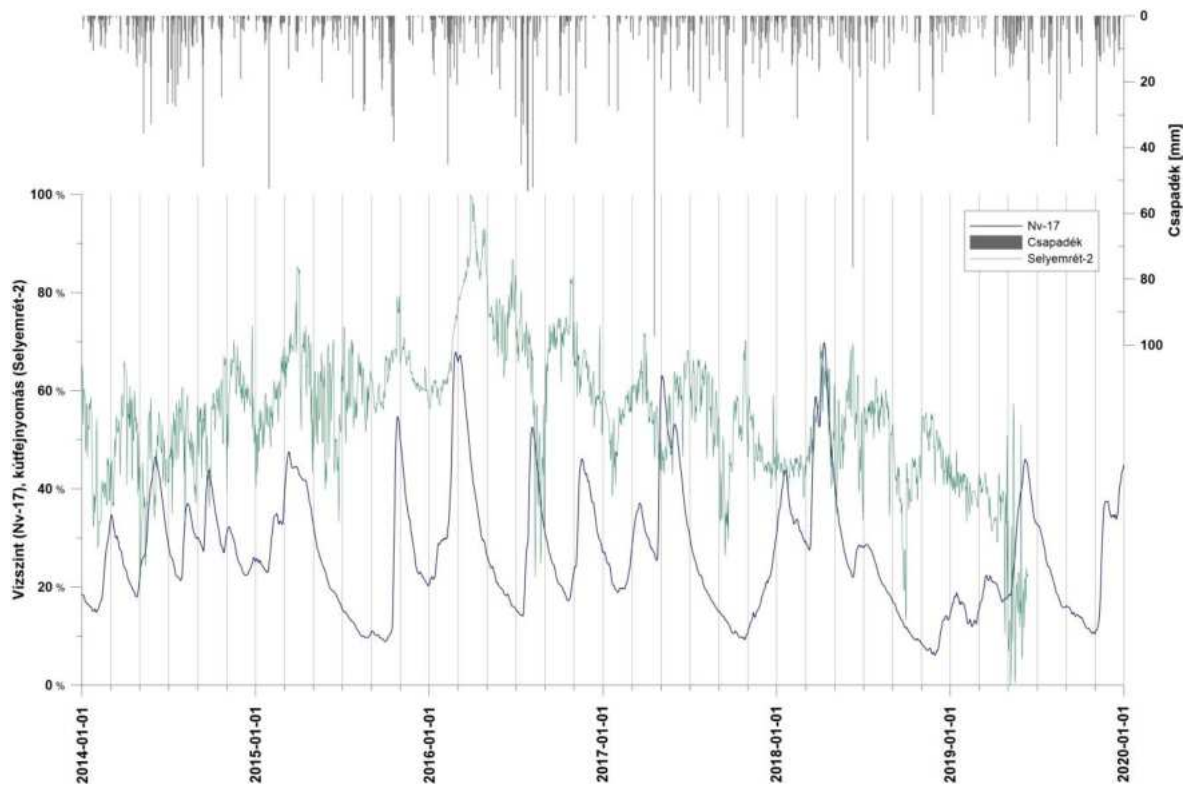
A könnyebb értelmezhetőség kedvéért az egyes mérőhelyekre vonatkozó ábrákat külön-külön készítettem el, melyek a 32. **ábra**- 36. ábra láthatóak. Az 2. táblázat összefoglalja az Nv-17 és a termálkarsztos mérőhelyek közötti légvonalbeli távolság mértékét, továbbá az Nv-17 csőperem szintje, és a kutak szűrőközep mélysége valamint a források fakadási szintje közötti vertikális távolságot.

Az Nv-17 és a Kertészeti-kút önmagukkal normált görbéit összevetve (32. ábra) látható, hogy a Kertészeti-kút nyomásszintje általában véve jól reagál az Nv-17 vízszintjében bekövetkezett változásokra. Két markáns időszakot emelnék ki, a 2006-os, valamint a 2010-es árvízi csúcst. E két időszakban mindkét esetben jelentkezik egy rövid idejű tetőzés a Kertészeti-kút görbéjén is. 2006-ban az Nv-17 vízszintjének tetőzése 06.23-án volt, 539,85 mBf értékkel. Ugyanezen időszakban a Kertészeti-kút maximális nyomását 2006.07.14-én mérte a műszer 1,71 bar értékben, így a tetőzések közötti különbség 21-23 nap. 2010-ben az Nv-17 vízszintjének tetőzése 06.08-án volt, 549,85 mBf értékkel. Ugyanezen időszakban a Kertészeti-kút maximális nyomása 07.04-07. között tetőzött 1,940 bar értékben, így a tetőzések közötti különbség 25-28 nap.

Összevetve az Nv-17 és a Selyemrét-2-kút önmagukkal normált görbéit (33. ábra) látható, hogy a termálkarsztos mérőhely viselkedése hektikusabb, mint a Kertészeti-kút esetében volt. A két görbe jellege, lefutása alapvetően hasonló. Az árvízi időszakok közül csak 2016-ra rendelkezünk mért adatokkal a Selyemrét-2-es kútban. Az Nv-17 ebben a periódusban dupla csúccsal tetőzött, mely jelleg megfigyelhető a termálkút adatsorában is, természetesen eltolással. Ezen árvízi dupla csúcs az Nv-17 esetében 2016.02.26-án (540,83 mBf) és 2016.03.17-én (540,65 mBf) következett be. A Selyemrét-2 esetében 2016.03.29-én (1,62 bar) és 2016.04.04-én (1,61) jelentkezett, 33 és 19 napos eltolással.



32. ábra Az Nv-17 és a Kertészeti-kút önmagukkal normált adatsorainak összevetése, kiegészítve a jávorkúti csapadékatokkal 2003-2013 között (szerző saját szerkesztése)

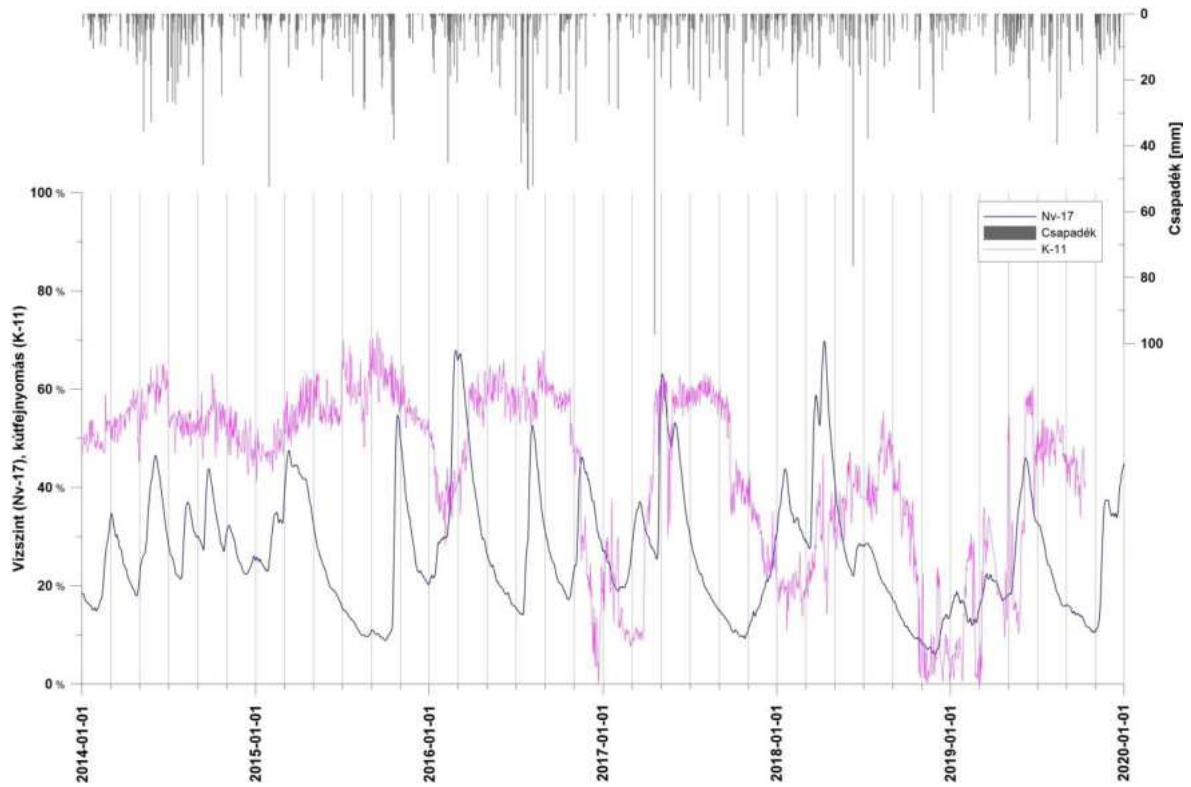


33. ábra Az Nv-17 és a Selyemrét-2-kút önmagukkal normált adatsorainak összevetése, kiegészítve a jávorkúti csapadékatokkal 2014-2020 között (szerző saját szerkesztése)

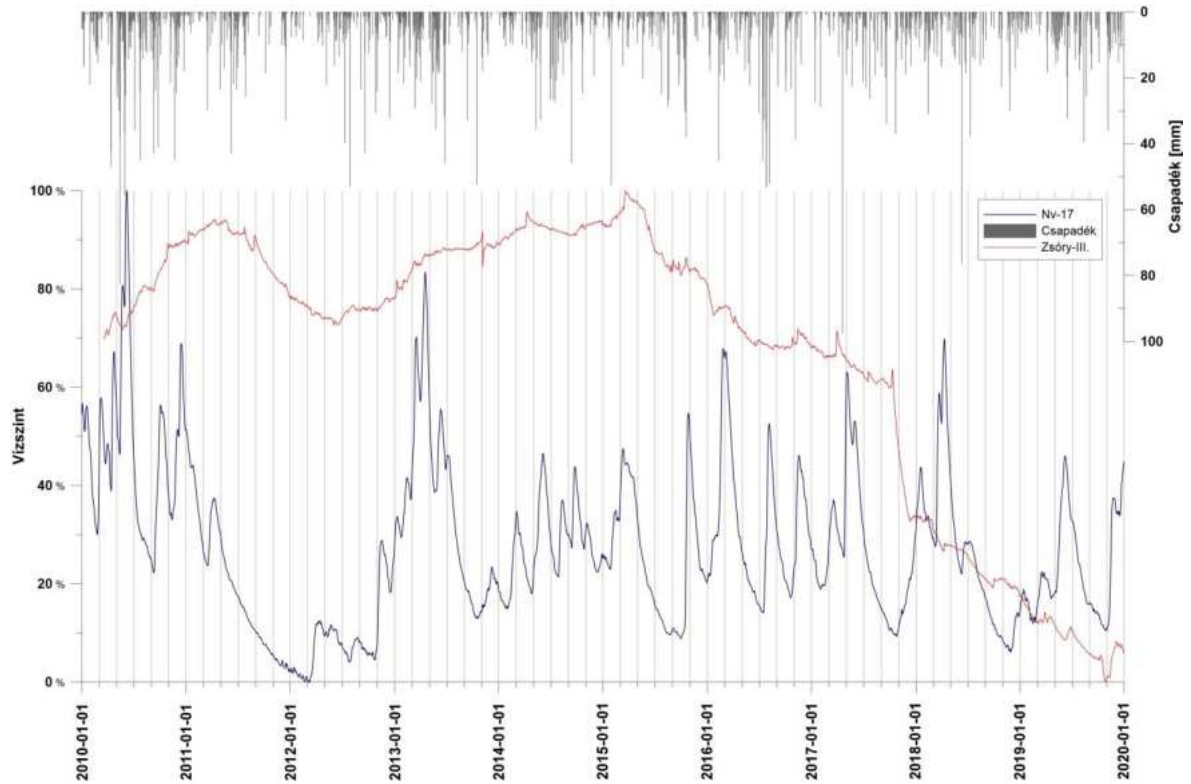
A K-11 kút esetében (34. ábra) árnyaltabb a kép. A határozott csúcsok helyett inkább hosszan tartó tetőzések jellemzőek a görbére, inkább az Nv-17-ben bekövetkezett nagy vízszintesések hatására jellemző nyomásesési szakaszok figyelhetők meg. 2015-ben, 2016-ban ez a jelleg nem egyértelmű, 2014 utolsó negyedében, 2017 és 2018 második felében 3-4 hónapos eltolással jelentkeznek a csökkenő periódusok K-11 adatsorában az Nv-17 görbéjéhez képest. Ez a hosszú eltolás, és a K-11 adatsorában határozott csúcsok helyett hosszabb ideig tartó tetőzések természetesen nem meglepőek, hiszen jelentős térbeli távolságra található a hegység központi részétől és az Nv-17 kúttól.

Megvizsgálva az Nv-17 és a Zsóry-III-kút önmagukkal normált görbéit (35. ábra) az figyelhető meg, hogy a termálkarsztos mérőhely vízszint adatsora nagy léptékben változik. 2010-2013 között az Nv-17 magas vízállását, majd csökkenését a Zsóry-III-kút elnyújtottan, nagy léptékben követi. Hasonlóan a K-11 esetéhez, ebben a periódusban is inkább a csökkenési szakaszok feleltethetők meg egyértelműbben egymásnak. A 2013-tól kezdődő időszakban a Zsóry-III-as kút trendjében egyértelmű csökkenés mutatkozik több csúcs időszakkal. A csökkenő trendet okozhatja a fürdő időközbeni fejlesztése kapcsán megnövekedett vízigény és termelés a környező kutakban.

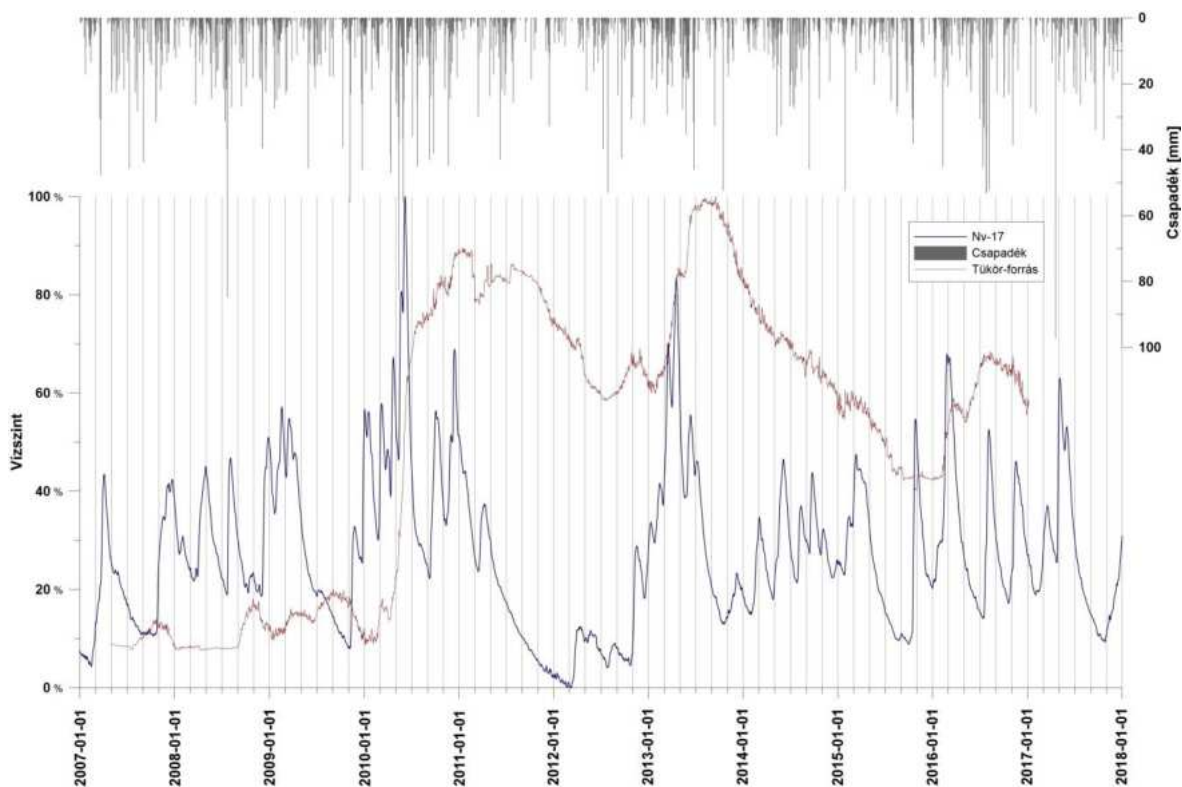
Az utolsó vizsgált melegvizes mérőhely a Tükör-forrás, mely esetében a termálkarsztos ág felszálló típusú. A 36. ábra alapján a forrás görbéjén három jellegzetes csúcsidőszak látszik, 2010-ben és 2013-ban, valamint 2016-ban. Ezek közül 2013 ezen időszakát emelném ki. Látható, hogy az Nv-17 vízszint görbéjén a tavaszi magas vízállási időszak két csúccsal jelentkezik, mely jelleg a Tükör-forrás görbéjén is felfedezhető.



34. ábra Az Nv-17 és a K-11-kút önmagukkal normált adatsorainak összevetése, kiegészítve a jávorkúti csapadékadatokkal 2014-2020 között (szerző saját szerkesztése)



35. ábra Az Nv-17 és a Zsóry-III-kút önmagukkal normált adatsorainak összevetése, kiegészítve a jávorkúti csapadékadatokkal 2010-2020 között (szerző saját szerkesztése)



36. ábra Az Nv-17 és a Tükör-forrás önmagukkal normált adatsorainak összevetése, kiegészítve a jávorkúti csapadékatokkal 2007-2018 között (szerző saját szerkesztése)

Természetesen a fejezetben megadott késleltetési idők mindenképpen csak tájékoztató jellegűek. A görbék összehasonlításával a célom volt vizsgálni azt, hogy fedezhető-e fel kapcsolat az Nv-17 és a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek között. Az adott időszakokban jelentkező késleltetési időket több tényező is befolyásolhatja, például a karsztrendszer telítettségének mértéke (pl. aszályos időszak, alacsony hideg karsztvízszintek), a vizsgált időszakban és előtte hullott csapadék mennyisége, a hatékony csapadékcsoportok mértéke. Viszont a bemutatott összehasonlítások értékelése alapján azt gondolom, hogy mindenképpen indokolt és érdemes a továbbiakban több fajta idősor elemzési módszerrel vizsgálni azt, hogy az Nv-17 és a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek között milyen jellegű és erősségű kapcsolat mutatható ki számszerűen. Ezáltal – a további eredmények tekintetében – erősíthető, részben alátámasztható lehet az az állítás, hogy a Bükk hegységben a hideg és a termál karsztrendszer szoros kapcsolatban áll egymással, valamint az Nv-17 és az egyes mérőhelyek közötti késleltetés mértéke is pontosabban megadható. A további fejezetekben ezen alkalmazott idősor elemzések eredményeit mutatom be.

***Tézis 3: Az Nv-17 és a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek hosszú távú adatsorainak grafikus összevetése alapján megállapítható, hogy az Nv-17 vízszint adatsorában a nagy árvízi csúcsok különböző eltolással és mértékben megjelennek a termálkarsztos mérőhelyek adatsorában is. Ennek alapján joggal feltételezhető, hogy a hideg és meleg karsztrendszer hidraulikai kapcsolatban áll egymással.***

### **6.2.2. A keresztkorrelációs vizsgálat eredményei, átlagos hidraulikus terjedési sebességek meghatározása**

A szakirodalom a keresztkorrelációs vizsgálatokat előszeretettel alkalmazza hosszú távú, részletes hidrológiai adatsorokon. Jellemzően csapadék-forráshozam, vagy csapadék-karsztvízszint adatok esetében alkalmazzák ezen módszereket, ahol a hideg karszt rendszer viszonylag hamar reagál az input paraméterben (csapadék) beállt változásokra (Jukic&Denic-Jukic, 2015; Padilla&Pulido-Bosch, 1995). Viszont a keresztkorrelációs vizsgálatok hasznos információkkal szolgálhatnak karsztrendszerek regionális vizsgálata során is, mert jó becslést adnak a rendszerben a nyomásimpulzus változásáról, a késleltetés idejéről (Larocque & Mangin, 1998).

A dolgozatban a vizsgálatot hideg karsztvízszint adatok, valamint termálkarszt vízszint/nyomás adatokon végzem el. Céлом az, hogy megvizsgáljam, vajon a karsztvízdomborzat tetőhelyzeti pontján bekövetkező vízszintváltozások generálta nyomásváltozás kimutathatóan megjelenik-e a termálkarsztos mérőhelyek adatsoraiban, valamint milyen eltolással. Vizsgálom a módszer alkalmazhatóságát nagy csillapítással rendelkező rendszeren is, mely regionális léptékben tekintve nagy hidraulikus ellenállással jellemezhető. További céloom megvizsgálni azt, hogy a hideg és a termál karsztrendszer kapcsolatban áll-e egymással, és milyen hidraulikus ellenállást fejt ki maga a hegység tömege.

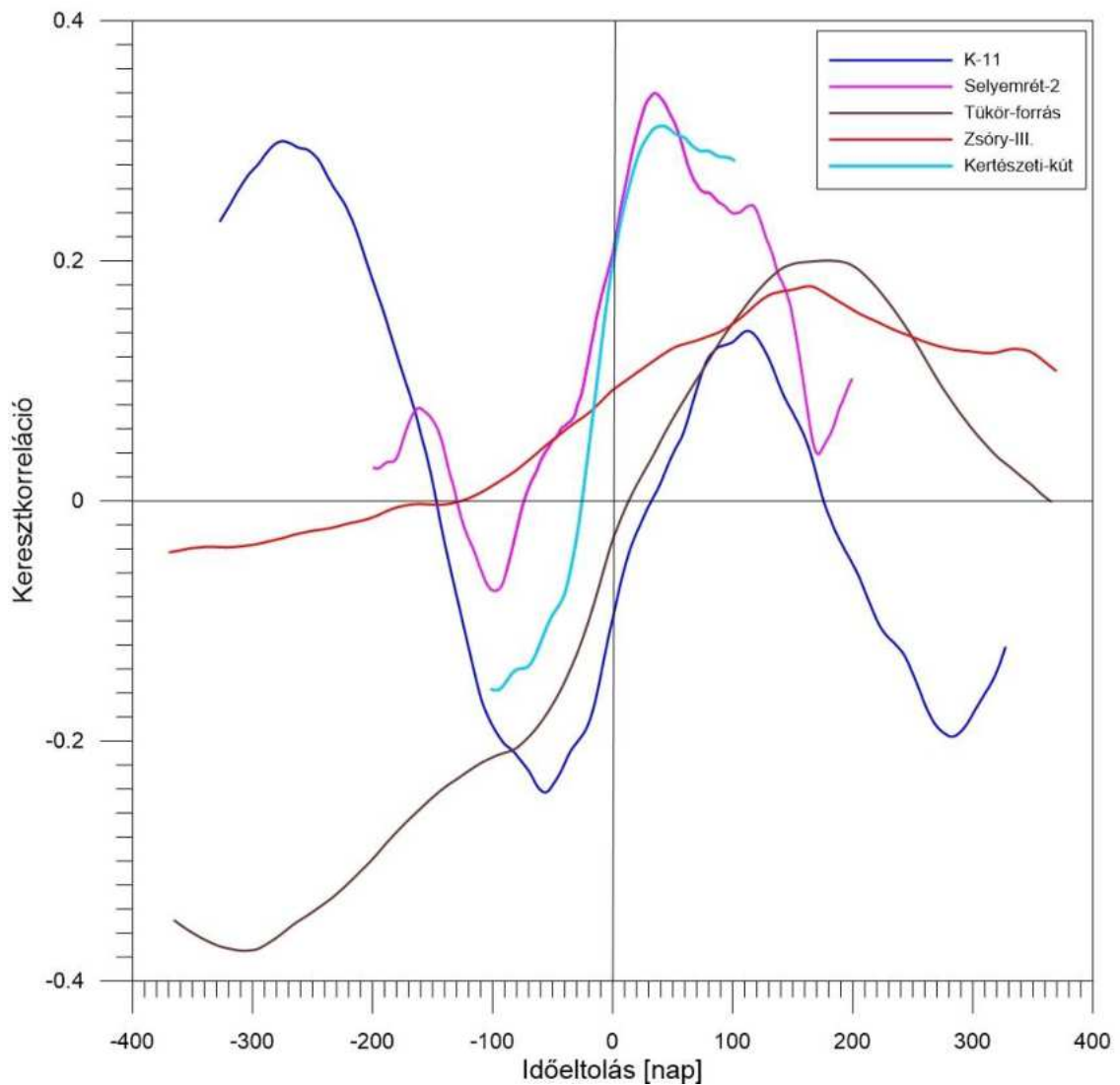
Ebben az esetben úgy gondolom, hogy a tetőhelyzetben bekövetkezett változások (főként a nagy vízszintemelkedési események) következtében pozitív nyomásváltozási hullám [ún. „Piston-effect” (Hunkeler & Mudry, 2006)] generálódik és indul el a rendszerben. Amennyiben ezen nyomásváltozás kimutatható az output mérőhelyeken, véleményem szerint ez a hideg és a termál rendszer kapcsolatára vonatkozóan bizonyító erővel hat.

Vizsgálataim során a referencia, tehát az input adatsor minden esetben az Nv-17 vízszint adatsora, hiszen ezt tekintjük a karsztvíz domborzat tetőhelyzetében lévő pontnak. Output adatsorok pedig a termálkarszt rendszerhez tartozó mérőhelyek (Selyemrét-2, Kertészeti-kút, Tükör-forrás, Zsóry-III., K-11).

A számításokat a 6.1.1. fejezetben bemutatott módszer szerint végeztem el, az időbeli eltolás mértékét és az ún. „truncation point”-ot, avagy az  $m$  metszéspontot elsőként  $m = 2\sqrt{n}$  módon határoztam meg (Padilla&Pulido-Bosch, 1995) munkája alapján. Az ilyen típusú vizsgálatokat a szakirodalom általában csapadék-hideg karsztrendszer tekintetében alkalmazza, ahol relatíve gyors reagálási idők jellemzőek. Esetemben a késleltetési idők olyan nagyok adódtak, hogy a számítások nem hoztak kielégítő eredményt (kivéve a Kertészeti-kút esetén). Ez azt jelenti, hogy a keresztkorrelációs görbék maximum pontjai nem jelentek meg, tehát a késleltetés mértéke nagyobb, mint a számítások során az ( $m = 2\sqrt{n}$  módon meghatározott) eltolási idők mértéke. Így második lépésben (Wei, 1990) munkája alapján az időbeli eltolás mértékét és az ún. „truncation point”-ot, avagy az  $m$  metszéspontot  $m = n/10$  módon határoztam meg, és végeztem el újra a számításokat a további négy mérőhely esetén. Ez az oka annak, hogy a Kertészeti-kút keresztkorrelációs görbéje rövidebb (37. ábra).

A keresztkorrelációs vizsgálatok eredményeit a 37. ábra mutatja be. A görbéken jelentkező asszimetria  $+k$  irányú eltoltsága azt jelzi, hogy az input és output adatok megfelelően lettek megválasztva, mert az input adatsor változásaira reagálnak az output adatsorok. A görbéknek az x-tengely pozitív felén jelentkező maximum pontja jelöli ki a késleltetési időt, mely eredményeket a 3. táblázat és 38. ábra mutatja be. A keresztkorreláció maximum értéke  $[r_{xy}(k)]$  láthatóan alacsony, ami azt jelzi, hogy az input jel erőssége (melyet az Nv-17 vízszintjében beálló változás generál) a rendszeren való áthaladása során jelentősen csökkent (Larocque & Mangin, 1998), ez az adott körülmények, a nagy mélység, a változatos földtani felépítés és földrajzi távolság függvényében érthető.

A görbe alakja tájékoztatást ad a rendszer tárolási kapacitásáról is. Az értékek lassú csökkenése az eltolási idő növekedtével lassú leürülésre, nagy tárolókapacitásra utal, mely szabályozza az input mennyiségeket (Larocque & Mangin, 1998). Ez a lassú csökkenő tendencia főleg a Zsóry-III-as mérőhely esetén figyelhető meg, valamint kisebb mértékben, de jellemző a Kertészeti-kútra és a Tükör-forrásra is. A Selyemrét-2 görbéjén az első csúcs után még továbbiak is megfigyelhetők, melyek további árampálya-komponenseket jeleznek (Padilla&Pulido-Bosch, 1995), mely megfelel a 5.3.3.1.1 fejezetben bemutatott eredményeknek is (26. ábra).



37. ábra Az Nv-17 és a termálkarszthoz tartozó mérőhelyek közötti keresztkorreláció (szerző saját szerkesztése)

3. táblázat Késleltetési idők az Nv-17 és a termálkarszthoz tartozó mérőhelyek keresztkorrelációs számításai alapján (szerző saját szerkesztése)

Mérőhely	Késleltetés [nap]
Selyemrét-2	35
Kertészeti-kút	41
K-11	112
Zsóry-III. sz. kút	163
Tükör-forrás	178

A késleltetés tekintetében érdekes eredmény az, hogy a Tükör-forrás nagyobb értékkel rendelkezik, mint a Zsóry-III. sz. kút, annak ellenére, hogy a Tükör-forrás földrajzilag közelebb található a hegységhez. Ez a különbség abból adódhat, hogy a forrás felszínre lépése közben, a feláramlás következtében veszít az input jel erősségéből. A „túlfolyó”



jellegű forráshoz kisméretű repedéshálózaton, karsztos és nem karsztos összleteken keresztül jut el a csúcshozamok jele, mely tényezők jelentősen csökkentik a jelentkező hatásokat és azok mértékét. Emellett a lokális árampályák hatásai is megjelenhetnek az adatsorban.

**A késleltetési időre vonatkozó eredmények jó összhangban állnak az előző fejezetben bemutatott grafikus összevetés során néhány időpontra meghatározható késleltetésekkel.**

A keresztkorrelációs vizsgálatot elvégeztem a Miskolctapolcán található Termál-forrás esetében is. Az eredmények nem tükrözik a forrás és az Nv-17-es kút kapcsolatát. Ez adódhat abból, hogy az Nv-17-ben generált jel elveszik a rendszerben, a nem karsztos összletek (jelentős kiterjedésű pala és magmatit összletek találhatóak a két mérőhely között) olyan csillapító hatással vannak rá, hogy ez már nem jelentkezik a forrásban, valamint a Termál-forrás a felszínre lépés közben szintén elveszíti az impulzusokat, továbbá a termelés hatásai is jelentkeznek az adatsoron.

Összehasonlításként a szakirodalomban közölt késleltetési idők egy jól fejlett, gyors áramlási rendszerrel jellemezhető karsztrendszer esetén 2 napnak (Aliou és Baget források, francia Pireneusok), a kevésbé fejlett, főként alaphozam komponenssel rendelkező El Torcal rendszer (DK Spanyolország) esetében 12-35 napnak adódtak (Padilla&Pulido-Bosch, 1995).

A számítások során kapott késleltetési időket felhasználva meghatároztam az egyes vizsgálati irányokban a hideg és termál karsztrendszerre vonatkozó átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebességeket. Az Nv-17 sokéves átlagvízszintje (529,75 mBf – 1992.10.11.-2020.12.29. időszakra vonatkozóan), valamint az egyes mérőhelyek szűrőközép mélységét/fakadási szintjét alapul véve meghatároztam a vektoriális távolságokat az Nv-17 és az egyes termálkarsztos monitoring pontok között. A felhasznált adatokat és eredményeket a 4. táblázat foglalja össze, és a 38. ábra mutatja be.

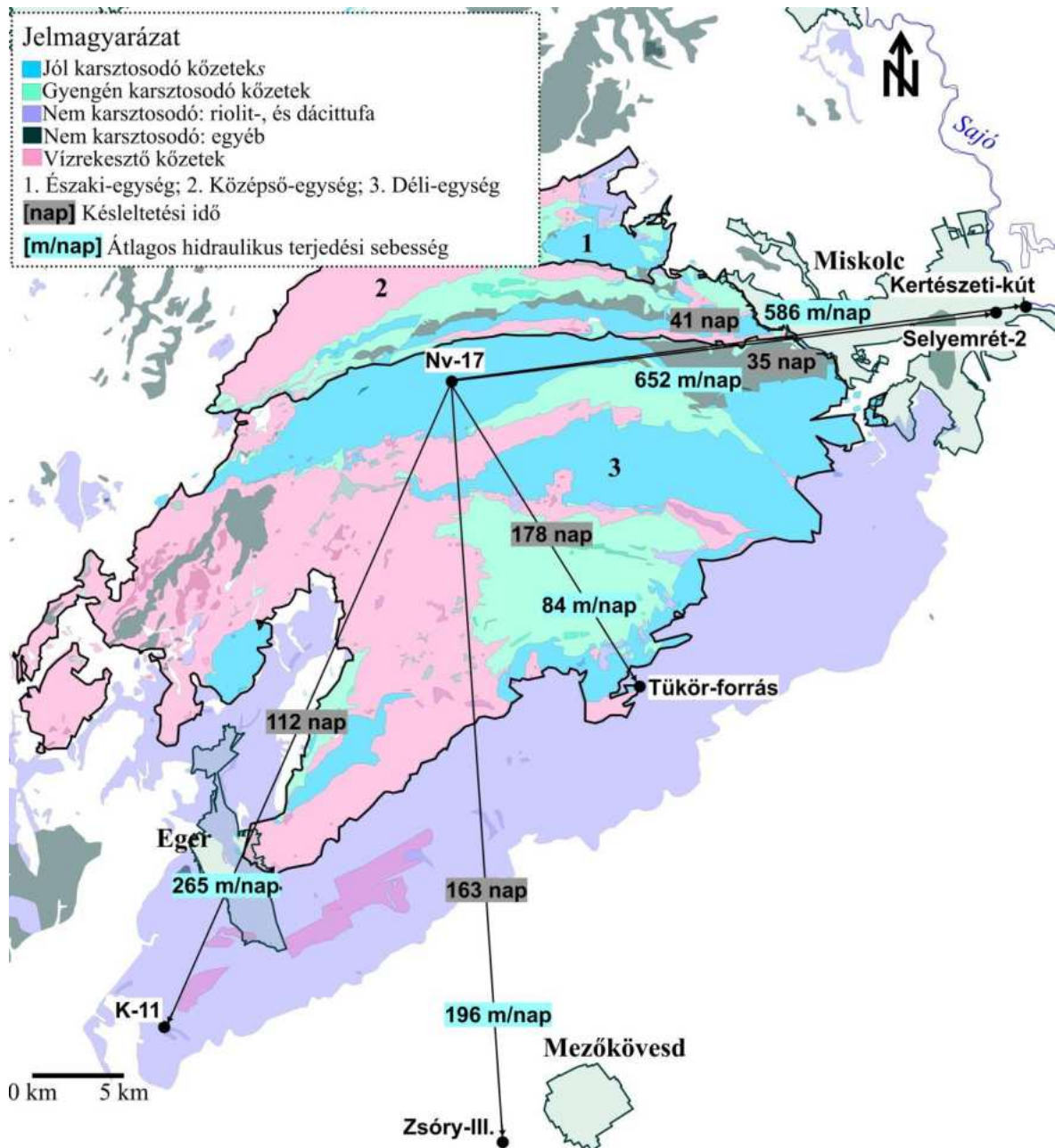
4. táblázat A hideg és termál karsztrendszer közötti átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebesség az Nv-17 és a vizsgált mérőhelyek között (szerző saját szerkesztése)

Mérőhely	Nv-17 átlagsz. - mérőhely szűrőközép közti vertikális távolság [m]	Elméleti hidrosztatikus nyomás [bar]	Vektoriális távolság [m]	Késleltetési / elérési idő [nap]	Átlagos hidraulikus nyomásterjedés i sebesség [m/nap]
Selyemrét-2	1019	102	22823	35	652
Kertészeti-kút	869	87	24016	41	586
K-11	1316	132	29630	112	265
Zsóry-III.	1375	138	31930	163	196
Tükör-forrás	335	34	15004	178	84

Mint azt az eredmények is tükrözik, a hegység különböző pontjaira számolt átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebesség igen változatos. Megállapítható, hogy K-i irányban áll fenn a legjobb hidraulikai kapcsolat a hideg és termál karsztrendszer között, melyet a Selyemrét-2-re meghatározott 652 m/napos és a Kertészeti-kút esetén megadott 586 m/napos sebességértékek is mutatnak. A két kút közelsége ellenére szembeűnően nagy a különbség, azt azonban nem szabad elfelejteni, hogy a két mérőhely szűrőközép-mélységük között 150 méter különbség van, és a triász korú mészkőfelszín reliefjében is nagy a változás a két kút között (30. ábra).

A Demjénben található K-11-es termálkút és az Nv-17 között 112 napos késleltetés adódott, és az ebből származó 265 m/nap átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebesség alapján megállapítható, hogy a hegység központjából kiindulva DNy-i irányban is jó hidraulikai kapcsolat áll fenn. A Délnyugati-Bükkben a felszínen nagy vastagságú jura korú palák találhatóak, mely alatt a triász korú, lezökkent helyzetű mészkő összleteken keresztül fennáll a vízforgalom a hideg és termál karsztrendszer között.

D-i irányban az előzőekhez képest alacsonyabb átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebesség tapasztalható. Az Nv-17 és Zsóry-III. megfigyelőkút esetére ez az érték 196 m/napra adódott. A K-i és DNy-i területekhez képesti nagy eltérés oka, hogy a hegység előterében található Vatta-Maklári-árok miatt a mélységi vizek 4000-4500 méteres mélységbe kényszerülnek, majd az árok D-i szárnyán kiemelkedő sasbérc jellegű szerkezeten, feltolódási pikkelyfronton (Kozák, et al., 2009) keresztül ismét felemelkednek. A Zsóry-III-as megfigyelőkút ezen szerkezetet érte el.



38. ábra A keresztkorrelációs számítások alapján meghatározott késleltetési idők [nap], valamint a hideg és termál karsztrendszer közötti átlagos hidraulikus terjedési sebességek [m/nap] az Nv-17 és a vizsgált termálkarsztos mérőhelyek között [alaptérkép (Darabos, 2017) nyomán] (szerző saját szerkesztése)

Annak ellenére, hogy az Nv-17 és a Tükör-forrás között adott a legkisebb távolság és szintkülönbség, mégis ebben az irányban adott a leglassabb átlagos hidraulikus terjedési sebesség. Ennek egyik oka, hogy a mélybeli árampályákról a termálkarsztvíz felemelkedésre és felszínre lépésre kényszerül, másik pedig a feltolódási frontok alá becsípődött jura korú agyag összetek szigetelő hatása is (Kozák M. szóbeli közlése, 2021).

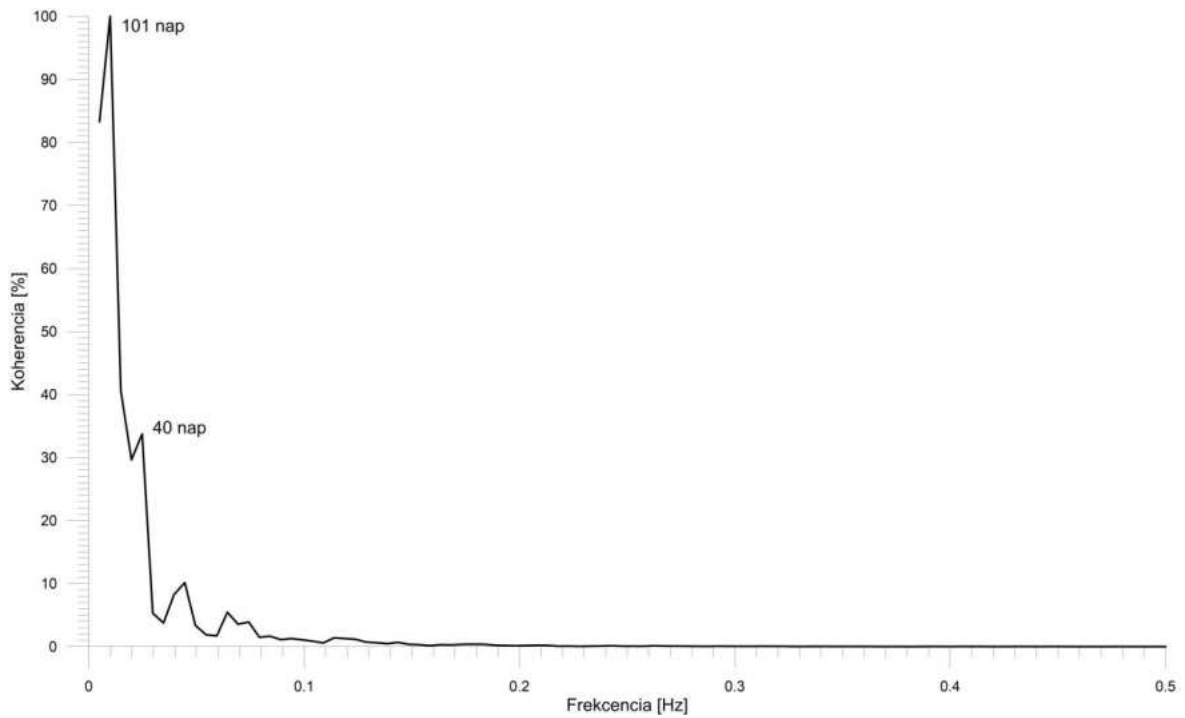
### 6.2.3. Koherencia függvények vizsgálata, eredmények

A koherencia függvény azt mutatja, hogy az input adatsorokban bekövetkező változásokra reagál-e az output adatsor, tehát a két adatsor között fennáll-e az információcsere.

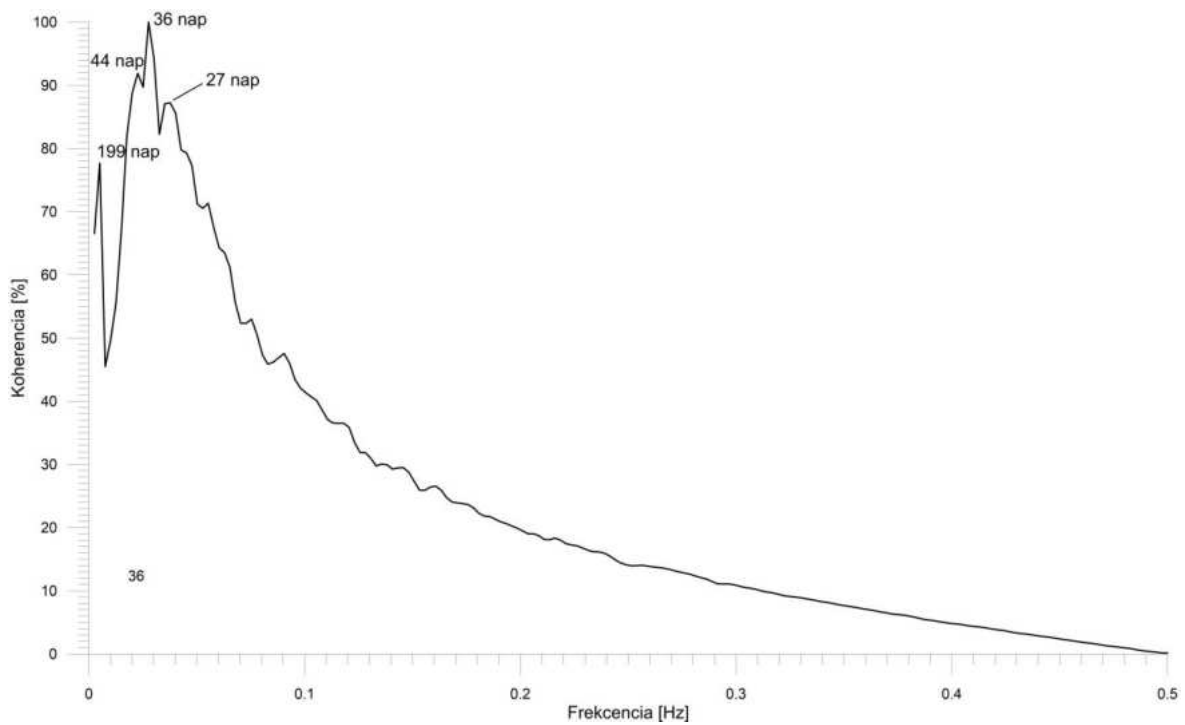
A magas koherenciájú csúcsokhoz tartozó frekvencia/idő értékek alapján periódusidők jelölhetők ki a vizsgált mérőhelyek tekintetében. Ez azt jelenti, hogy azon periódusidők fogadhatóak el nagy megbízhatósággal, melyekhez magas koherencia érték társítható. Első lépésben elkészítettem az Nv-17 és a többi mérőhely esetére a koherencia függvényeket, majd meghatároztam a magas koherencia értékekkel rendelkező csúcsokhoz tartozó periódusidőket (5. táblázat). A könnyebb értelmezhetőség kedvéért az egyes mérőhelyekre vonatkozó eredményeket külön-külön ábrákon mutatom be (39 - 44. ábra). A vizsgálatba szintén bevontam a Miskolc-Tapolcán található Termál-forrást is, melyre vonatkozó eredményeket megbízhatónak tekintem. Habár a keresztkorrelációs vizsgálat nem mutatott kapcsolatot az Nv-17 és a Termál-forrás között, a koherencia vizsgálatok alapján elmondható, hogy a két mérőhely között kapcsolat áll fenn, ám a hatások csak jelentős késéssel jelentkeznek a hidraulikai gátat képező földtani összletek hatása miatt.

5. táblázat A koherencia függvény alapján meghatározott periódusidők a vizsgált mérőhelyek esetén (szerző saját szerkesztése)

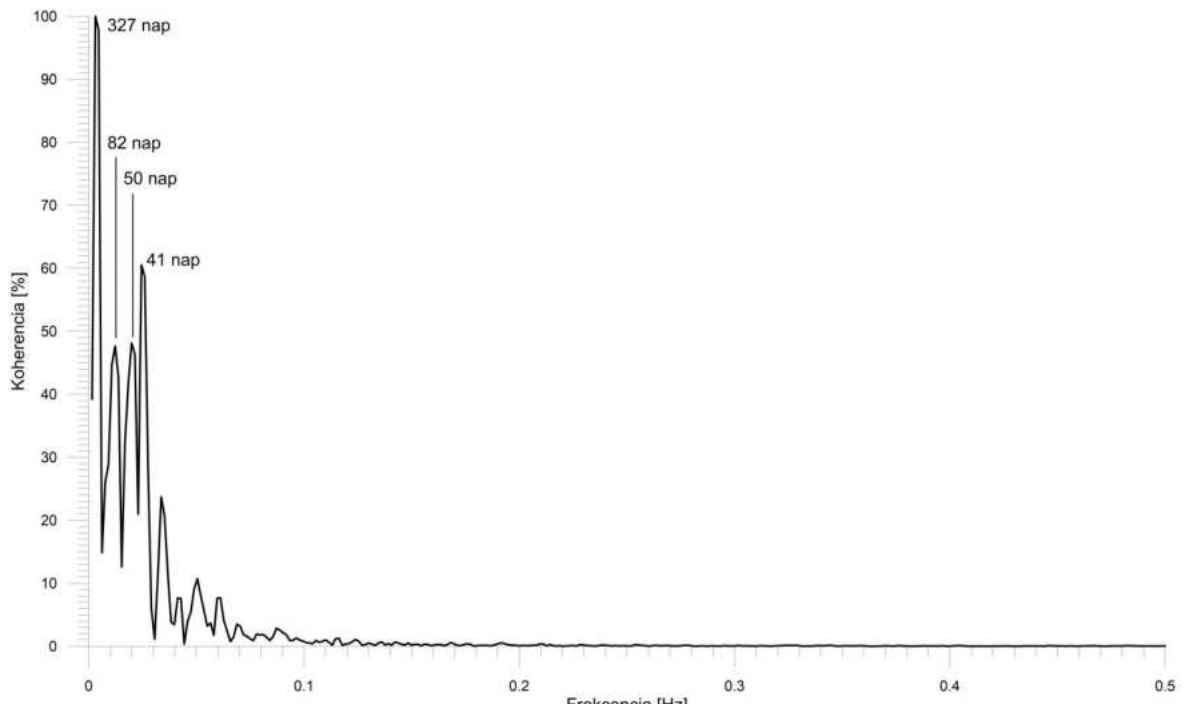
Mérőhely	Periódusok [nap]
Kertészeti-kút	101, 40
Selyemrét-2-kút	199, 44, 36, 27
K-11	327, 82, 50, 41
Zsóry-III. sz. kút	148, 74, 46, 35, 22
Tükör-forrás	365, 183, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 44, 30



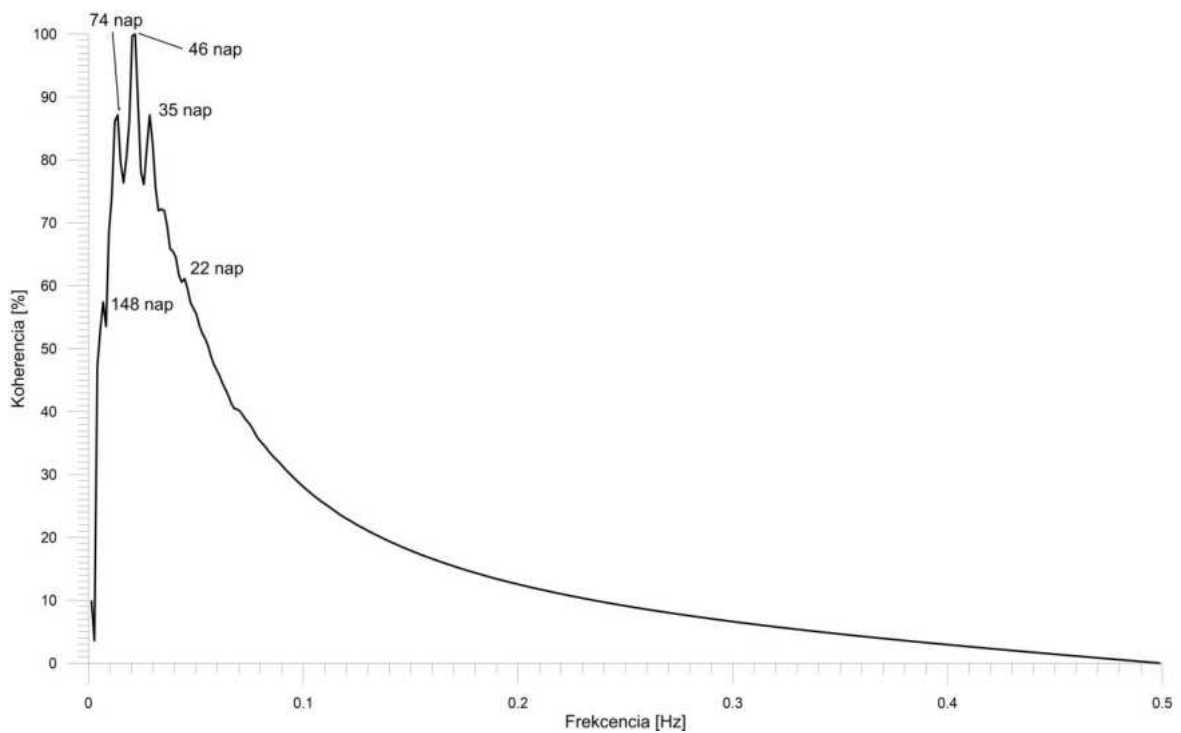
39. ábra Az Nv-17 és a Kertészeti-kút koherenciája, jelölve a magas koherenciaértékhez tartozó periódusok (szerző saját szerkesztése)



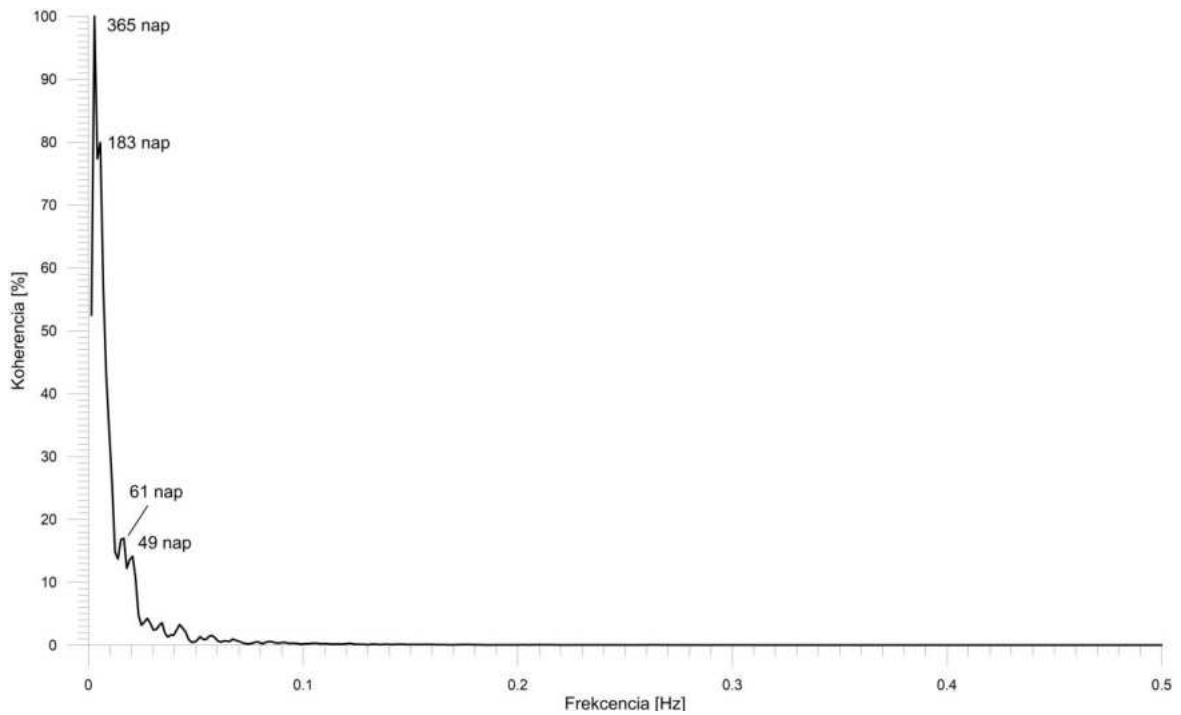
40. ábra Az Nv-17 és a Selyemrét-2-kút koherenciája, jelölve a magas koherenciaértékhez tartozó periódusok (szerző saját szerkesztése)



41. ábra Az Nv-17 és a K-11 koherenciája, jelölve a magas koherenciaértékhez tartozó periódusok (szerző saját szerkesztése)

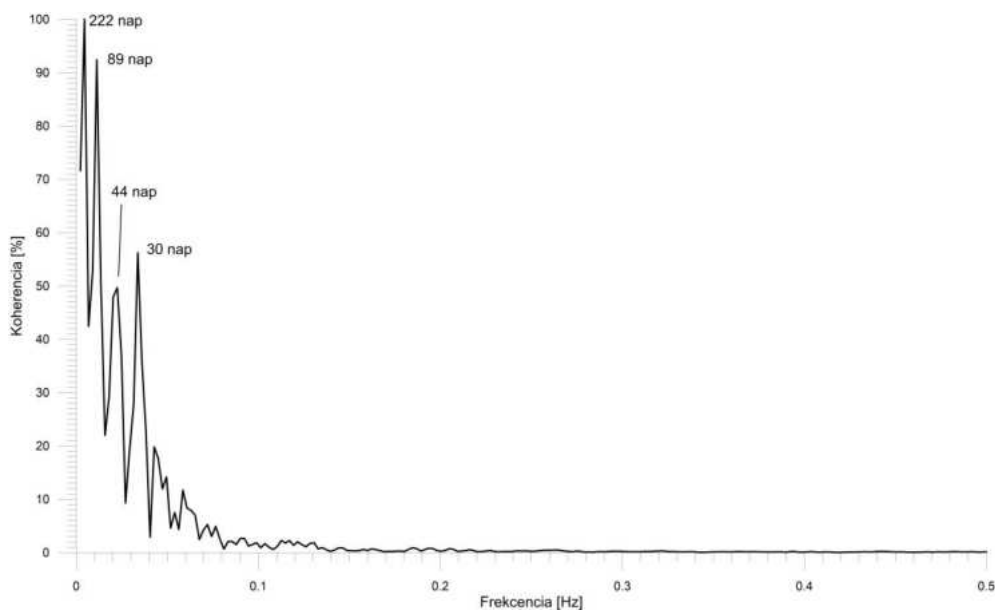


42. ábra Az Nv-17 és a Zsóry-III-kút koherenciája, jelölve a magas koherenciaértékhez tartozó periódusok (szerző saját szerkesztése)



43. ábra Az Nv-17 és a Tükör-forrás koherenciája, jelölve a magas koherenciaértékhez tartozó periódusok (szerző saját szerkesztése)

Látható, hogy a Tükör-forrás esetében a 61 és 49 napos periódusidőkhöz alacsony koherencia érték társul, de a későbbiekben elvégzett vizsgálatok miatt egyelőre jelöltem a görbén ezeket az értékeket is. A nagy késleltetéssel, majd gyors lecsengéssel jellemezhető görbe hidraulikai akadályt jelez, mely az input és output mérőhelyek közötti kommunikációban is megjelenik.



44. ábra Az Nv-17 és a Termál-forrás koherenciája, jelölve a magas koherenciaértékhez tartozó periódusok (szerző saját szerkesztése)

***Tézis 4: Az eredmények alapján megállapítható, hogy a regionális szinten kapcsolódó (hideg és termál), nagy léptékben vizsgálva jelentős hidraulikai ellenállással rendelkező karsztrendszer esetén erős kapcsolatot jelentő magas koherencia értékek alacsony frekvencián, magas periódusidőkben mutatkoznak meg a hideg és a termálkarsztos mérőhelyek adatsorai között.***

#### **6.2.4. Keresztspektrum analízis, a periodicitás vizsgálatok eredményei**

A karszthidrogeológiában a rendszeren átmenő jelek ingadozása nem állandó, hirtelen és gyors változások történhetnek benne. A Fourier-transzformáció az adatsort időtartományból frekvenciatartományba alakítja, ezáltal alkalmas arra, hogy a hidrológiai adatsorokon periodicitás vizsgálat legyen elvégezhető, periodikus viselkedések felfedését téve lehetővé (Chinarro, et al., 2010). Ennek során a markáns amplitúdó csúcsok jelölik a fő periódusokat az adatsoron. Két Fourier-transzformált adatsor összevetése során akkor mondható közösnek egy-egy periódus, ha mindkét adatsorban a jellegzetesebb csúcsok, törések ugyanarra az időpontra esnek, a görbék jellege, alakja nem befolyásoló tényező ebben az esetben (Jukic&Denic-Jukic, 2015).

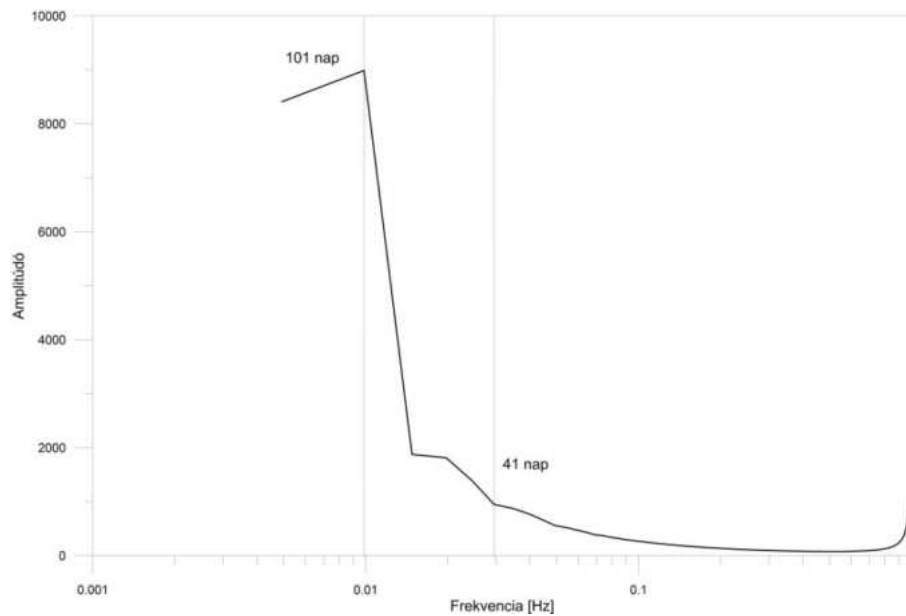
A vizsgálatok elvégzéséhez keresztspektrál analízist alkalmaztam. Első lépésben elvégeztem a Fourier-transzformációt az Nv-17 és a mérőhelyek közötti keresztkovariancia értékeken, valamint az egyes mérőhelyek adatsorain is. A keresztkovariancia értékek Fourier-transzformáltjának használata azért fontos, mert ezzel olyan periódusok vizsgálhatóak, melyek mindkét mérőhelyre vonatkoznak, hiszen ezek az értékek a két mérőhely adataiból adódnak. Ezzel kizárható az, hogy esetlegesen más hatásokból eredő periódusokat tévesen a hideg és termálkarszt rendszer kapcsolatának erősítéseként határozzak meg. Ezután megvizsgáltam minden mérőhely esetén, hogy az előző fejezetben bemutatott, koherencia függvény alapján meghatározott periódusok jelentkeznek-e a Fourier-transzformált adatsorokon. Az egyes mérőhelyek Fourier-transzformáltjai esetén a lényeg az, hogy az adatsorban található-e csúcs az adott periódus esetén (tehát nem a csúcshoz tartozó amplitúdó értéke, hanem magának a csúcsnak a megléte a feltétel).

##### **6.2.4.1. Kertészeti-kút**

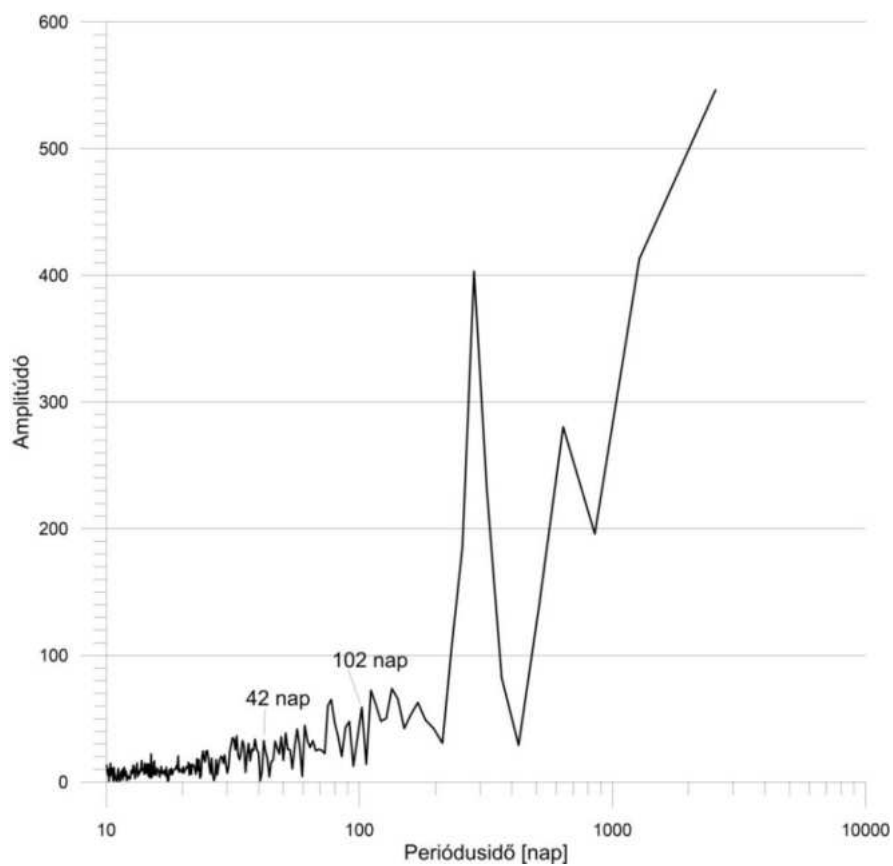
Az Nv-17 és Kertészeti-kút periodicitás vizsgálatainak eredményeit a 45. és 46. ábra mutatja be. A két mérőhely keresztspektrál analízisének eredménye alapján (45. ábra) látható, hogy a magas koherencia értékkel jellemezhető 101 napos periódus konkrét csúcsként, az alacsonyabb koherencia értékű 41 napos periódus töréspontként



jelentkezik a görbén. A mérőhely Fourier-görbéjén (46. ábra) a két vizsgált periódus egy-egy nappal hosszabb periódusként jelentkezik egy-egy csúcs képében, 102 és 42 nap értékkel.



45. ábra Az Nv-17 és a Kertészeti-kút kereszt-spektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

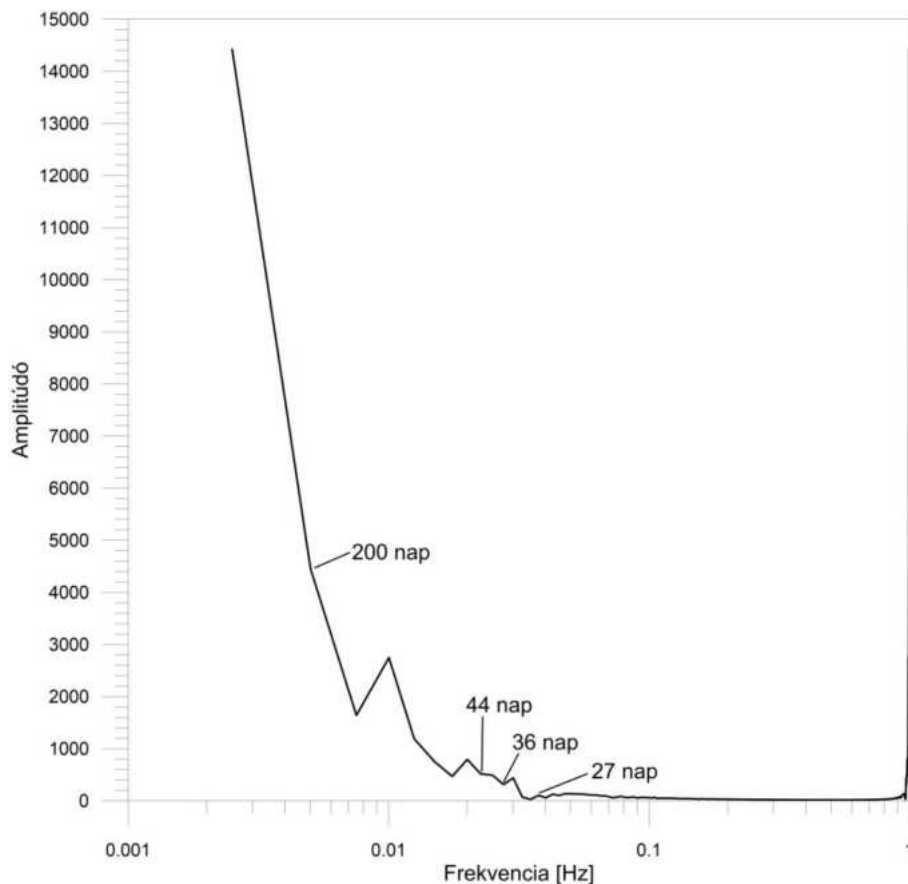


46. ábra A Kertészeti-kút adatsorának Fourier-transzformáltja, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

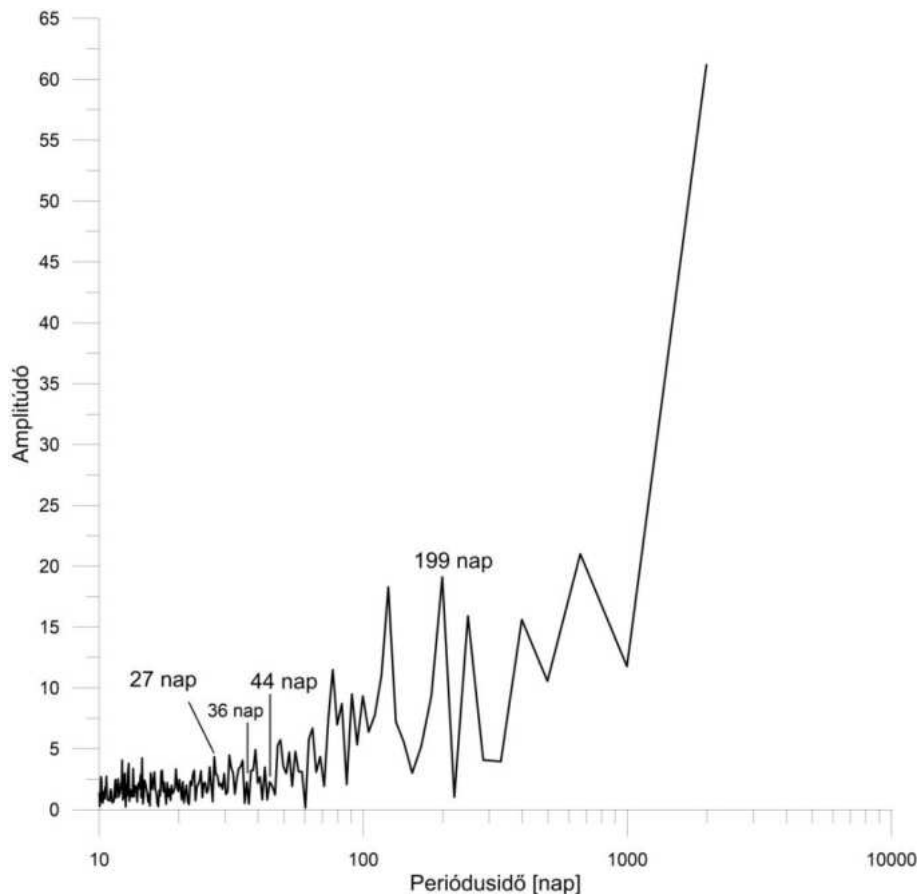
Az eredmények alapján megállapítható, hogy az Nv-17 és Kertészeti-kút adatsoraiban két periódus kimutatható, a 101 napos, valamint 41 napos, mely a mérőhely Fourier-transzformált görbéjén 102 és 42 napos periódusként jelentkezik, ezt az eredményt elfogadhatónak tartom.

#### 6.2.4.2. Selyemrét-2-kút

Az Nv-17 és Selyemrét-2-kút periodicitás vizsgálatának eredményeit a 47. **ábra** és 48. **ábra** mutatja be. A két mérőhely kereszt-spektrál analízisének eredménye alapján (47. **ábra**) látható, hogy a 200 napos periódus töréspontként, a 44 és 36 napos periódus negatív csúcsként, a 27 napos periódus pedig pozitív csúcsként jelentkezik a görbén. A mérőhely Fourier-görbéjén (48. **ábra**) a vizsgált periódusokhoz mind a négy esetben tartozik csúcs.



47. **ábra** Az Nv-17 és a Selyemrét-2-kút kereszt-spektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)



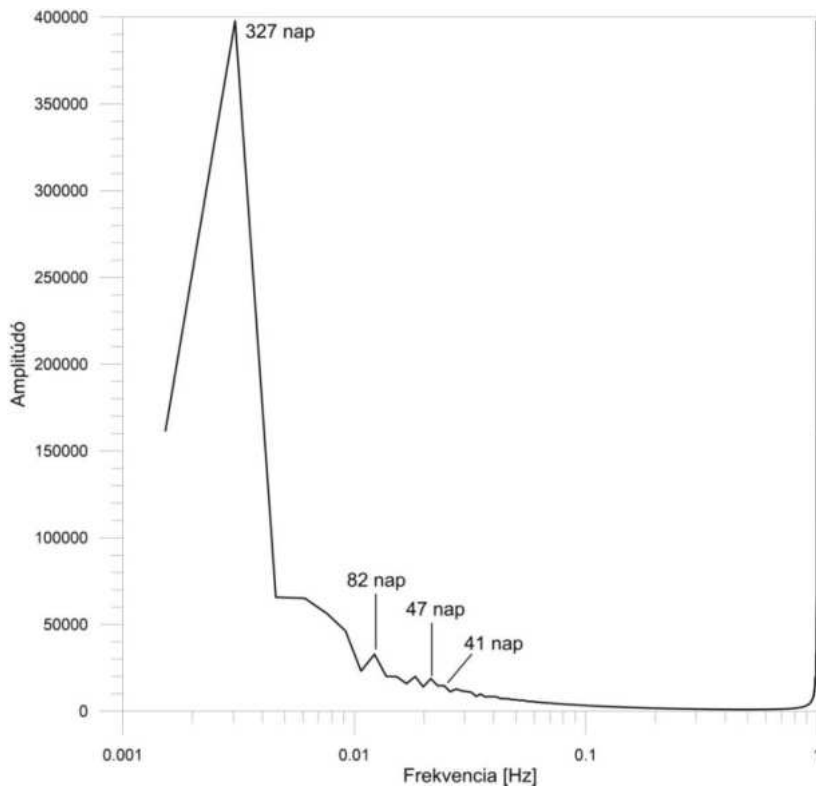
48. ábra A Selymrét-2-kút adatsorának Fourier-transzformáltja, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az Nv-17 és Selymrét-2-kút adatsoraiban is kimutatható az a négy periódus, mely a koherencia függvény alapján is kijelölhető volt. Ezen periódusok hossza 199, 44, 36 és 27 napra adódott.

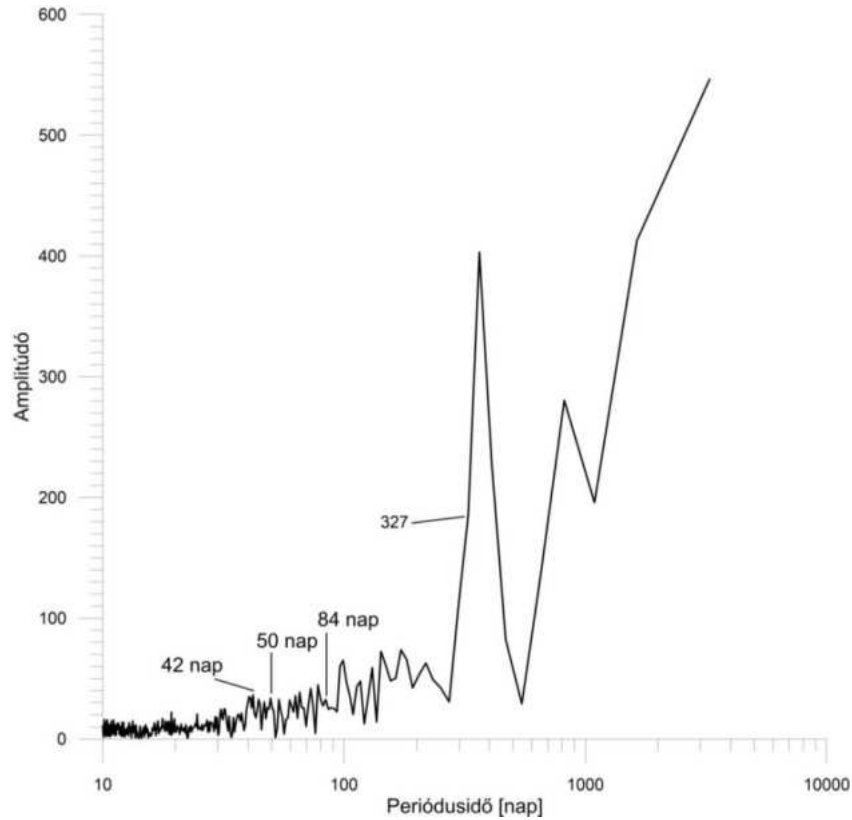
#### 6.2.4.3. K-11

Az Nv-17 monitoringpont és a K-11 mérőhely periodicitás vizsgálatának eredményeit a 49. **ábra** és 50. ábra mutatja be. A két mérőhely keresztspektrál analízis vizsgálatának eredményei alapján (49. ábra) megállapítható, hogy a koherencia függvény alapján kijelölt periódusidőkhöz (327, 82, 47, 41 nap) mind a négy esetben tartozik csúcs.

A mérőhely Fourier-görbéjén (50. ábra) a vizsgált periódusok közül három esetben rendelhető azonos periódusidő (42, 50 és 84 nap), a 327 napos periódusidőnél pedig töréspont jelentkezik a görbében.



49. ábra Az Nv-17 és a K-11 kereszt spektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

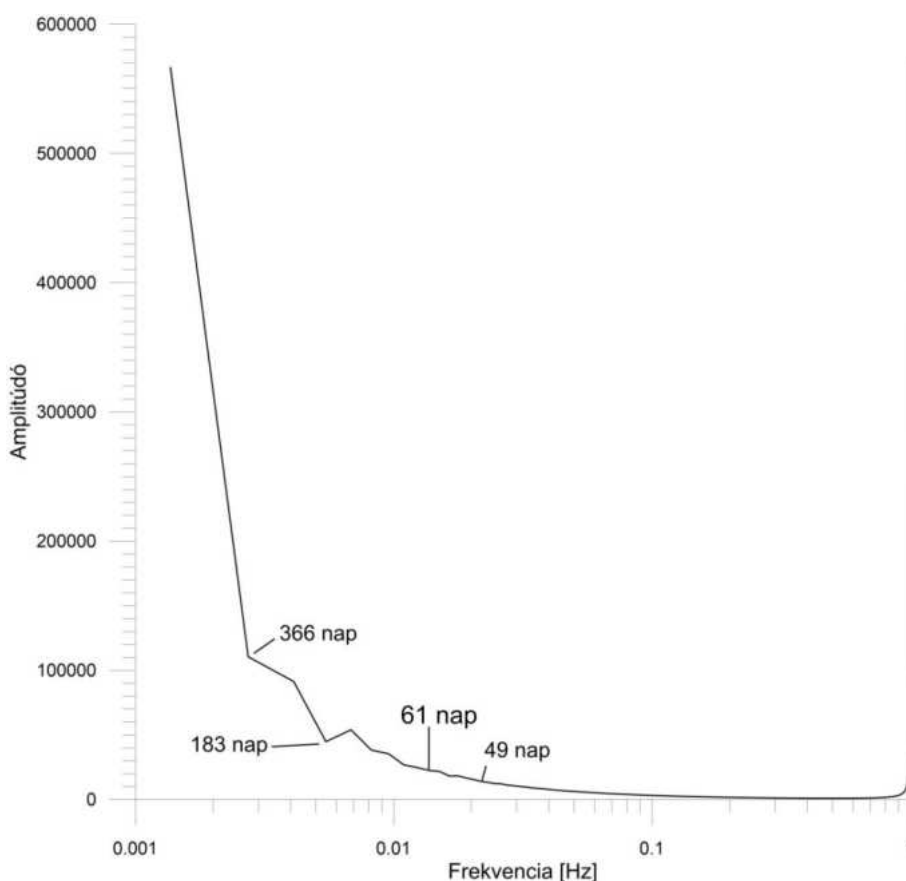


50. ábra A K-11 adatsorának Fourier-transzformáltja, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az Nv-17 és K-11 adatsorain elvégzett kereszt-spektrál analízis, valamint a termálkasztos mérőhely adatsorán elvégzett Fourier-transzformációs periodicitás vizsgálat alapján is kimutatható az a négy periódus, mely a koherencia függvény görbéjén is kijelölhető. Ezen periódusok hossza 327, 84, 50 és 42 napra adódott.

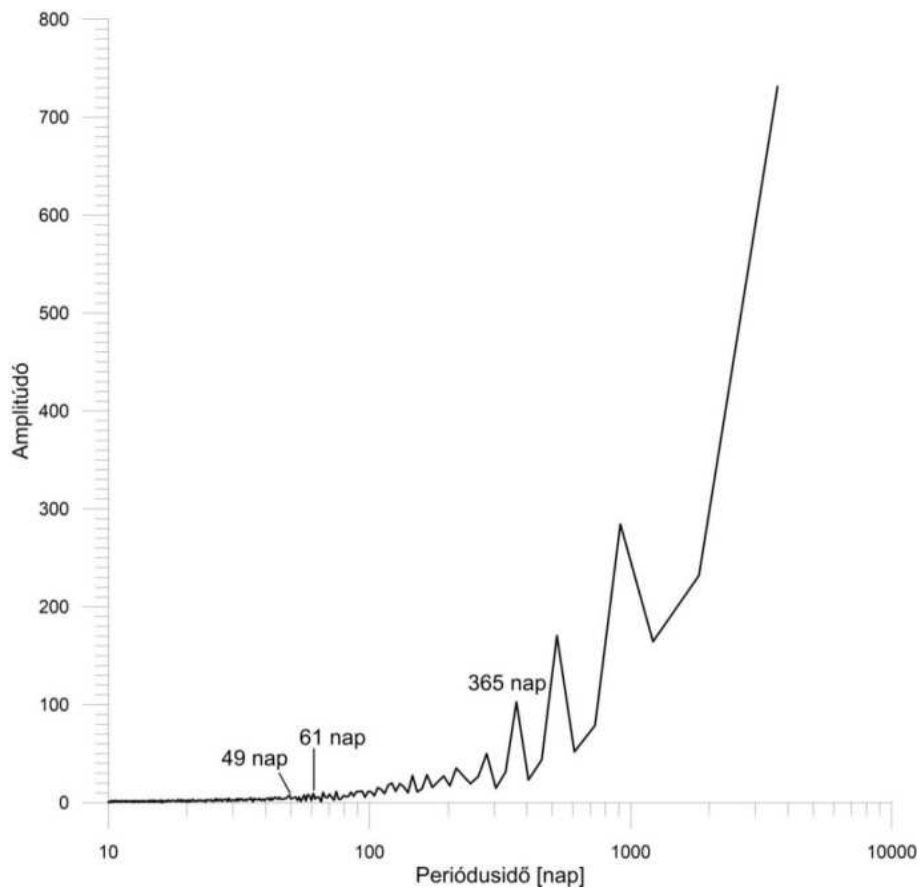
#### 6.2.4.4. Tükör-forrás

Az Nv-17 monitoring pont és a Tükör-forrás periodicitás vizsgálatának eredményeit az 51. **ábra** és 52. ábra mutatja be. A két mérőhely kereszt-spektrál vizsgálatának eredménye alapján (51. ábra) elmondható, hogy a koherencia függvény alapján 366 napos periódus esetében töréspont, a 183 napos periódusidő esetén negatív csúcs, a 61 és 49 napos periódusidő esetén pedig nagyon enyhe töréspont látható a görbén.



51. ábra Az Nv-17 és a Tükör-forrás kereszt-spektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

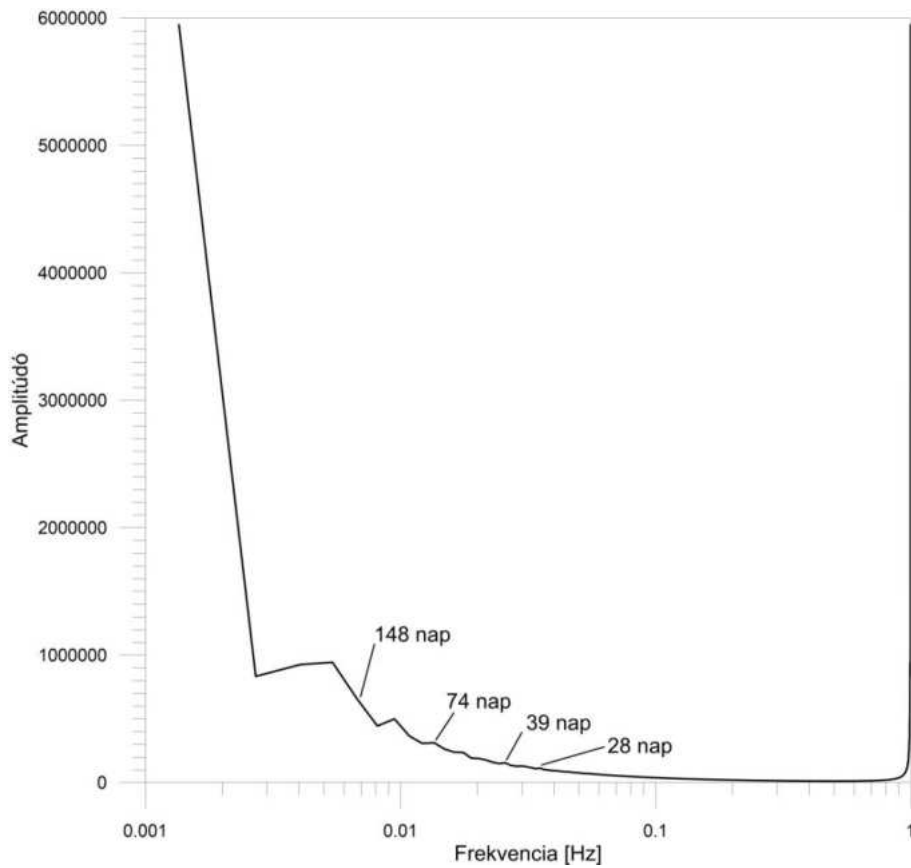
A mérőhely Fourier-görbéjén (52. ábra) a vizsgált periódusok közül három esetben rendelhető azonos periódusidőhöz tartozó csúcs (365, 61 és 49 nap), a koherencia függvény alapján kijelölt 183 napos periódushoz nem rendelhető csúcs.



52. ábra A Tükör-forrás adatsorának Fourier-transzformáltja, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

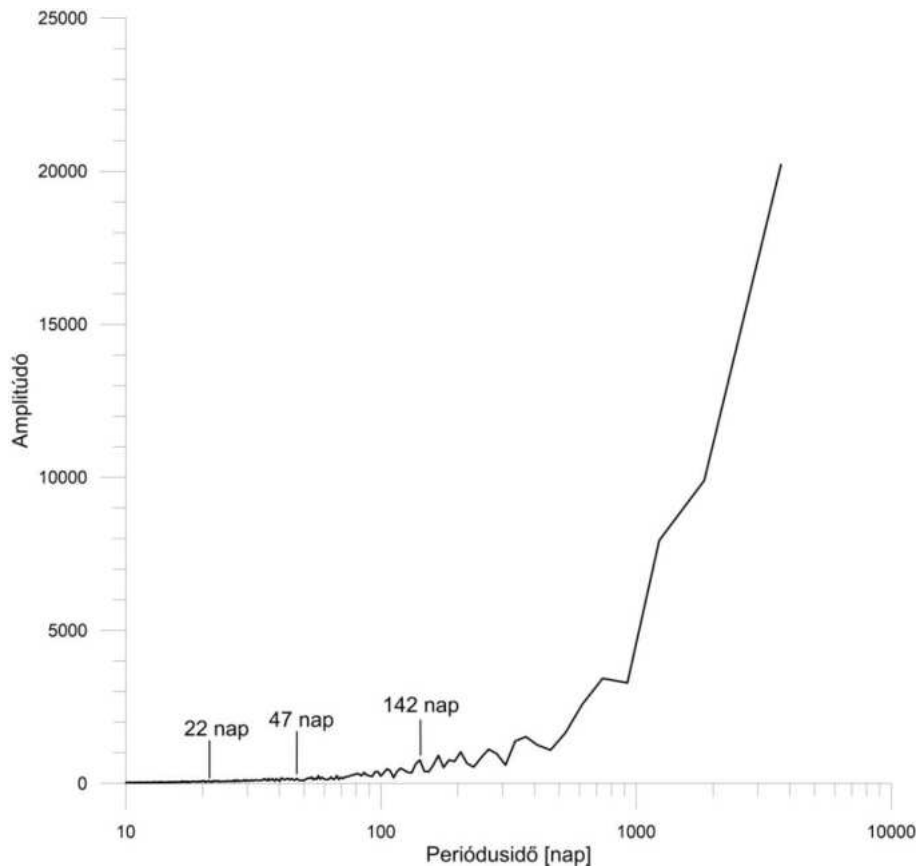
#### 6.2.4.5. Zsóry-III-as megfigyelőkút

Az Nv-17 figyelőkút és a Zsóry-III-as számú kút periodicitás vizsgálatának eredményeit az 53. **ábra** és 54. ábra mutatja be. A két mérőhely adatsorain végzett kereszt-spektrál analízis eredményei alapján (53. ábra) látható, hogy a koherencia függvény alapján kijelölt 148 napos periódus esetében enyhe töréspont, a 74 napos periódusidő esetén csúcs látható a görbén. A 46 napos periódus nem jelölhető ki, a 35 napos periódushoz a keresztkorreláció Fourier-transzformált görbéjén 39 napos periódusidőhöz rendelhető csúcs, 22 napos periódusidő esetén ez 28 napos csúcshoz rendelhető.



53. ábra Az Nv-17 és a Zsóry-III. kereszt spektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

A mérőhely Fourier-görbéjén (54. ábra) a vizsgált periódusok közül egy esetben rendelhető azonos periódusidőhöz tartozó csúcs (22 nap), a koherencia függvény alapján kijelölt 46 napos periódus 47 naphoz tartozó csúcsként jelentkezik, a 35 napos periódusidő nem jelölhető ki a görbén. A különböző vizsgálati eredményeket összefoglalva az 6. táblázat mutatja be.



54. ábra A Zsóry-III. adatsorának Fourier-transzformáltja, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

6. táblázat A Zsóry-III-megfigyelőkút esetén kijelölhető periódusidők a koherencia függvény, az Nv-17 és Zsóry-III kereszt-spektrál analízise és a Zsóry-III adatsorának Fourier-transzformációja alapján (szerző saját szerkesztése)

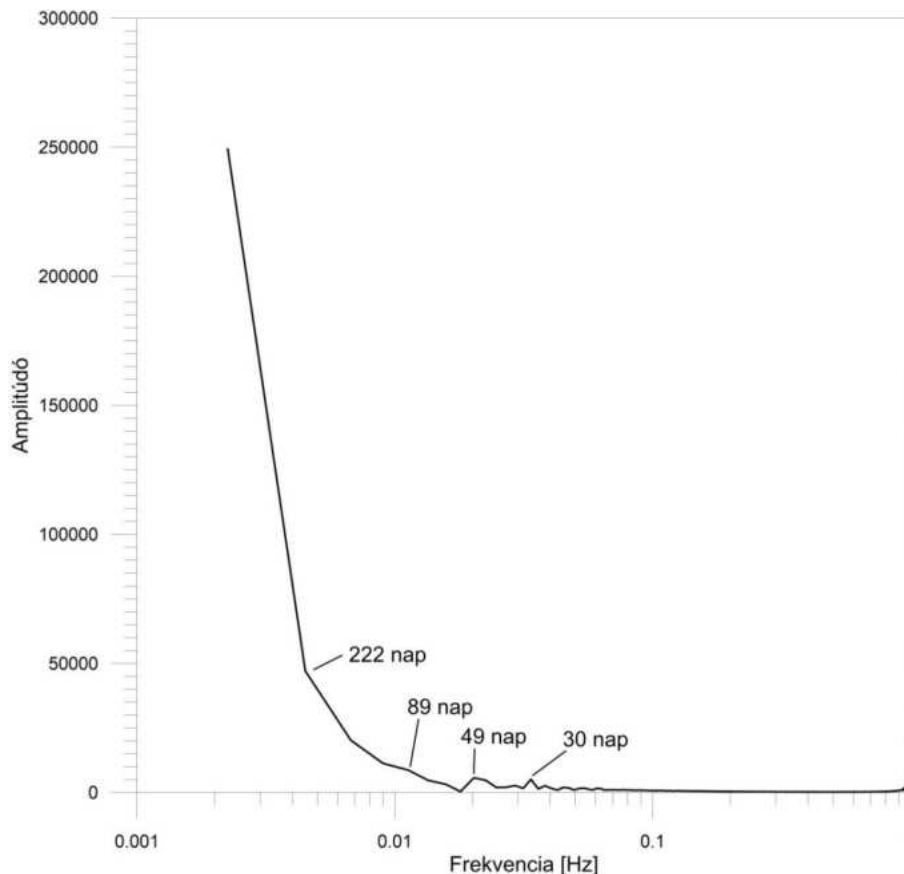
A koherencia függvény alapján kijelölhető periódusidők	Az Nv-17 és Zsóry-III. kereszt-spektrál analízise alapján kijelölhető periódusidők	A Zsóry-III. adatsorának Fourier-transzformációja alapján kijelölhető periódusidők
148	148	142
74	74	-
46	-	47
35	39	-
22	28	22

#### 6.2.4.6. Termál-forrás

Mint azt a 0. fejezetben megállapítottam, a kereszt-korrelációs vizsgálat nem mutatott kapcsolatot az Nv-17 és a Termál-forrás között. Ez az anomália magyarázható azzal, hogy a termálkarsztos árapálya felszálló ágon közlekedve teljes mértékben elveszíti az input adatsor által generált jelet. Mivel azonban a két mérőhely között mutatkozott koherencia, a vizsgálatokat elvégeztem e termálkarsztos mérőhely esetében is. Az

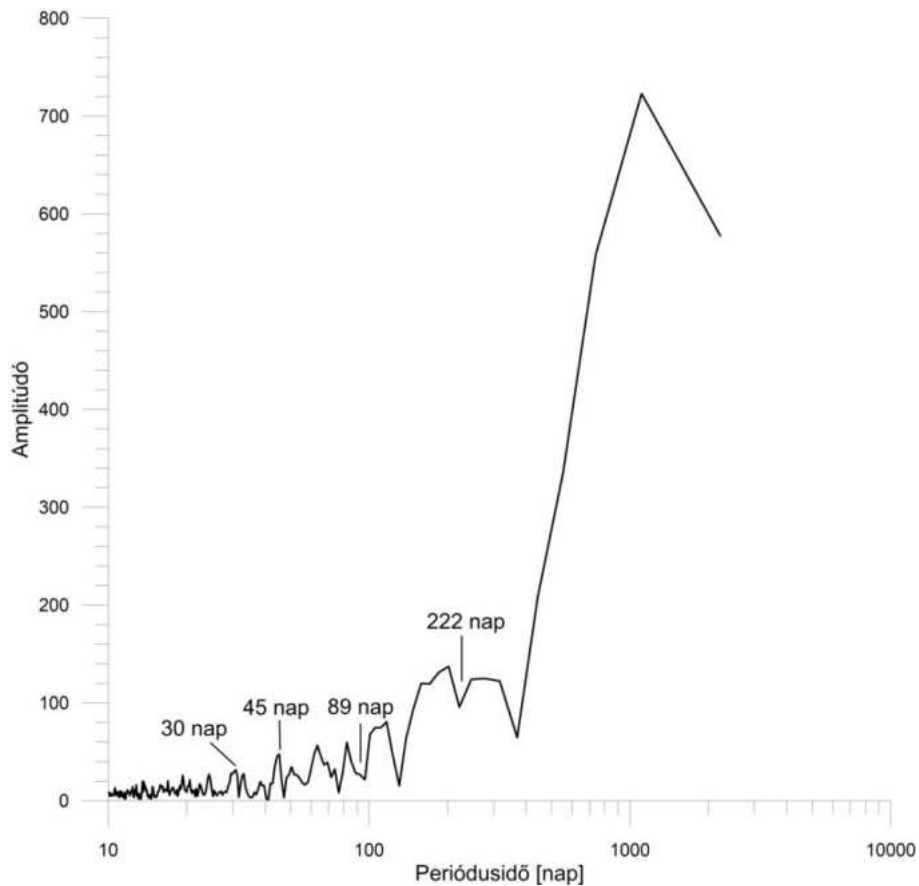


eredményeket az 55. **ábra** és 56. ábra mutatja be. A két mérőhelyre elvégzett kereszt-spektrál analízis eredményei (55. ábra) alapján elmondható, hogy a koherencia függvény alapján kijelölt 22 napos periódus esetében töréspont, a 89 napos periódusidő esetén enyhe csúcs látható a görbén. A 44 napos periódus ezen görbén 49 napos periódusidejű csúccsal azonosítható, a 30 napos periódus viszont határozott csúccsal jelentkezik.



55. ábra Az Nv-17 és a Termál-forrás kereszt-spektrál analízisének eredménye, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

A mérőhely Fourier-görbéjén (56. ábra) a vizsgált periódusok közül a 222 és 89 napos periódus negatív csúcsként azonosítható, a 44 napos periódus ezen görbén 45 napos periódusként jelentkezik, és a 30 napos periódus pozitív csúcsban azonosítható. Az eredményeket összefoglalva a 7. táblázat mutatja be.



56. ábra A Termál-forrás adatsorának Fourier-transzformáltja, jelölve a vizsgált periódusok (szerző saját szerkesztése)

7. táblázat Kijelölhető periódusidők a Termál-forrás esetén a koherencia függvény, az Nv-17 és Termál-forrás keresztkorrelációs értékeinek Fourier-transzformációja és a Termál-forrás adatsorának Fourier-transzformációja alapján (szerző saját szerkesztése)

A koherencia függvény alapján kijelölhető periódusidők	Az Nv-17 és Termál-forrás kereszt-spektrál analízis eredmény alapján kijelölhető periódusidők	A Termál-forrás adatsorának Fourier-transzformációja alapján kijelölhető periódusidők
222	222	222
89	89	89
44	49	45
30	30	30

#### 6.2.4.7. Összegzés

A 6.2.3. és 6.2.4. fejezetekben bemutatott, koherenciafüggvény, kereszt-spektrál analízis és Fourier transzformáció segítségével elvégzett periodicitás vizsgálatok eredményeit az egyes mérőhelyekre vonatkozóan összefoglalva a 8. táblázatban mutatom be. A magas koherencia érték alapján kijelölhető periódusidők, helyenként kis eltéréssel, azonosíthatóak voltak a kereszt-spektrál analízis és Fourier-transzformációs vizsgálatok

során is. Ez az eredmény is bizonyítja a Bükkben a hideg és termálkarszt kapcsolatának meglétét.

*8. táblázat A koherencia vizsgálatok, keresztspektrál analízis és Fourier transzformáció segítségével elvégzett periodicitás vizsgálatok eredményei a vizsgált termálkarsztos mérőhelyekre vonatkozóan (szerző saját szerkesztése)*

<b>Mérőhely</b>	<b>A koherencia függvény alapján kijelölhető periódusidők [nap]</b>	<b>Keresztspektrál analízis eredmény alapján kijelölhető periódusidők [nap]</b>	<b>A vizsgált adatsorok Fourier-transzformációja alapján kijelölhető periódusidők [nap]</b>
Kertészeti-kút	101, 40	101, 41	102, 42
Selyemrét-2-kút	199, 44, 36, 27	200, 44, 36, 27	199, 44, 36, 27
K-11	327, 82, 50, 41	327, 82, 47, 41	327, 84, 50, 42
Zsóry-III. sz. kút	148, 74, 46, 35, 22	148, 74, 39, 28	142, 47, 22
Tükör-forrás	365, 183, 61, 49	366, 183, 61, 49	365, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 44, 30	222, 89, 49, 30	222, 89, 45, 30

Összevetve a három módszer eredményeit (8. táblázat), meghatároztam az Nv-17 és a vizsgált termálkarsztos mérőhelyekre együttesen vonatkozó, közös periódusokat, melyeket a 9. táblázat mutat be.

*9. táblázat A koherencia vizsgálatok, keresztspektrál analízis és Fourier transzformációs vizsgálati eredmények alapján meghatározott periódusidők az Nv-17 és vizsgált termálkarsztos mérőhelyek tekintetében (szerző saját szerkesztése)*

<b>Mérőhely</b>	<b>Periódusidők [nap]</b>
Kertészeti-kút	101-102, 40-42
Selyemrét-2-kút	199-200, 44, 36, 27
K-11	327, 82-84, 47-50, 41-42
Zsóry-III. sz. kút	142-148, 39-47, 22-28
Tükör-forrás	365-366, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 44-49, 30

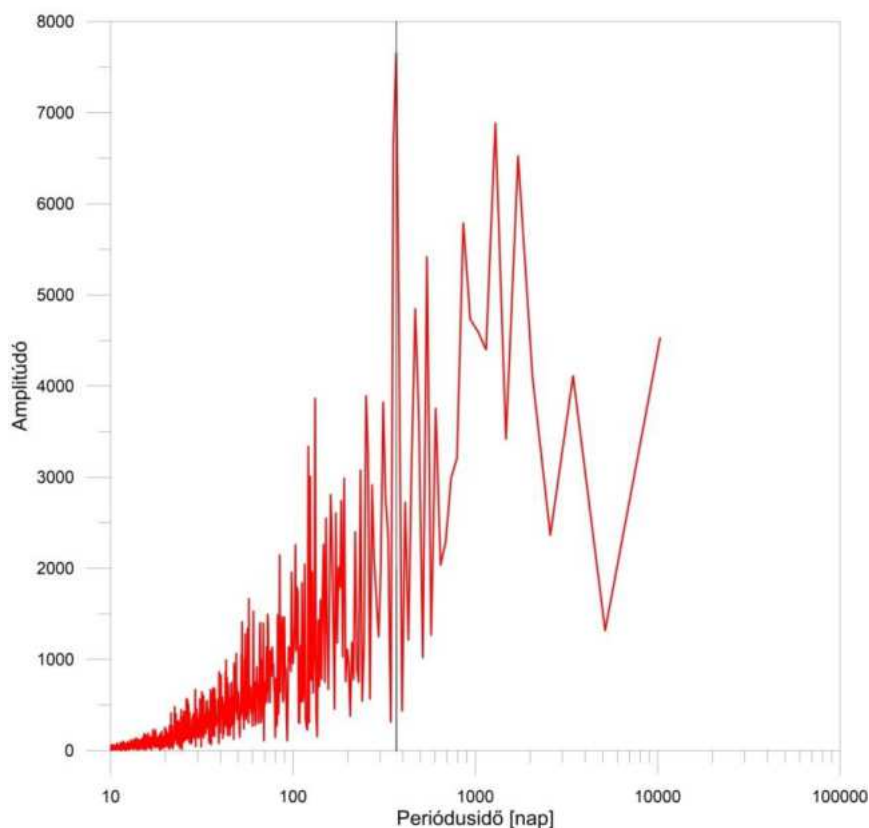
### **6.2.5. Spektrálanalízis, a periodicitás vizsgálatok eredményei a csapadék-hidegkarszt-termálkarszt rendszerben**

Korábbi kutatási eredmények, valamint az előző fejezetekben bemutatott idősor elemzések eredményei arra engednek következtetni, hogy a Bükkben a hideg és termálkarsztos rendszer szoros kapcsolatban áll egymással (Darabos, et al., 2014; Lénárt & Darabos, 2012). Amennyiben ez a kapcsolat fennáll, akkor közvetve ugyan, de a csapadékesemények is hatással lehetnek a termálkarszt rendszerre.

E gondolatmeneten elindulva vizsgálom, hogy a hegység központi területén hullott csapadék adatsoraiban kijelölhető fő periódusidő, az Nv-17 (mint a hideg karsztrendszer képviselője) fő periódusideje, valamint a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek periódusidői milyen azonosságot, különbségeket mutatnak egymással. A szakirodalom alapján ezt a típusú periodicitás vizsgálatot klasszikus esetben csapadék-vízszint adatsorok elemzésére használják (Jukic&Denic-Jukic, 2015), esetemben előfordulhat, hogy a hegység a regionális szintű nagy hidraulikus ellenállása következtében olyan mértékű csillapításként szolgál, hogy nem jelennek meg közös periódusok a hideg és a termálkarsztos pontok között.

A vizsgálatok elvégzéséhez első lépésben a jávorkúti csapadék adatsor leghangsúlyosabb, legnagyobb amplitúdóval jellemezhető periódusidejét vettem, mely korábban meghatározásra került (Darabos, 2017; Németh, et al., 2011), és 365, valamint 366 napra adódott. A vizsgálatok során a 365 napos periódusidőt használom fel, mert ez már hosszabb adatsor alapján került meghatározásra (Darabos, 2017).

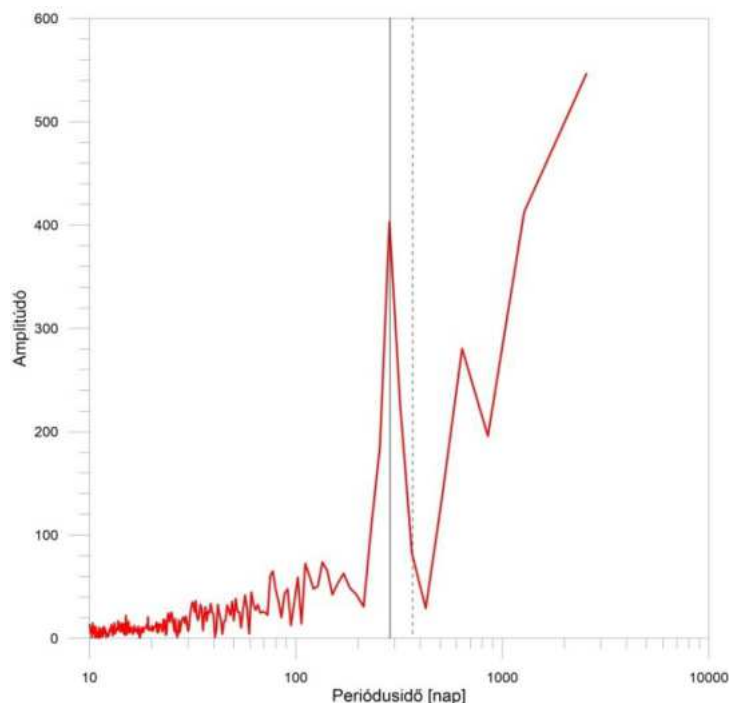
Második lépésben elvégeztem a Fourier-transzformációt az Nv-17-es mérőhely adatsorán, és kijelöltem rajta a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódusidőt. Az eredményt az 57. ábra mutatja.



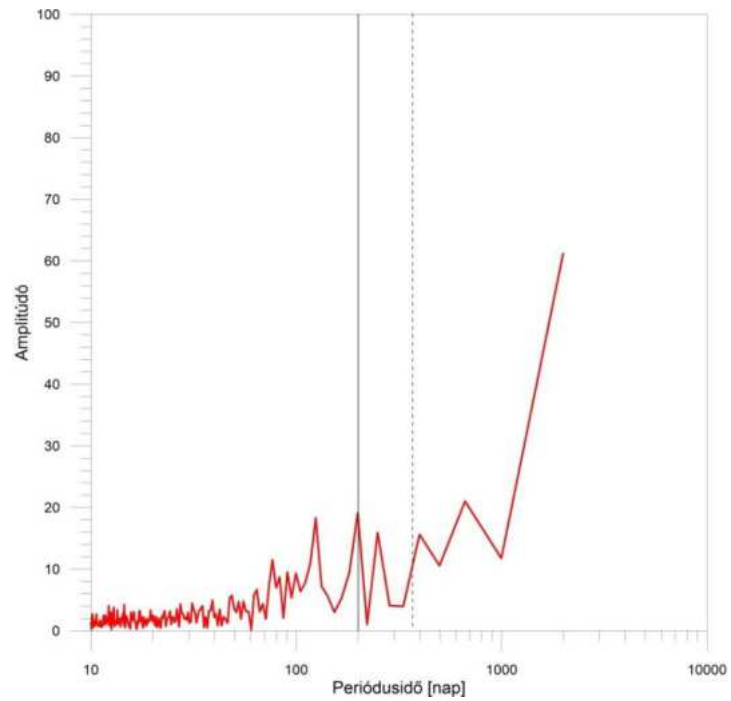
57. ábra Az Nv-17 vízszint adatain elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, függőleges vonallal jelölve a fő periódus (368 nap) (szerző saját szerkesztése)

A hideg karsztvízszint adatsoron elvégzett Fourier-transzformáció eredménye alapján az Nv-17 monitoring ponton az idősor leghangsúlyosabb, legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódusideje **368 napra** adódik. Ez az eredmény összhangban van (Darabos, 2017) munkájával. A csapadékadatok 365 napos (Darabos, 2017), valamint az Nv-17 368 napos legfőbb periódusidő is jelzik, hogy a Bükkben a hideg karsztrendszer, valamint a csapadék milyen szoros összefüggésben van egymással. Ez a kijelentés triviális, de a továbbiakban a hideg karsztrendszer és a termálkarszt kapcsolatrendszerének vizsgálatában is fontosnak tartom.

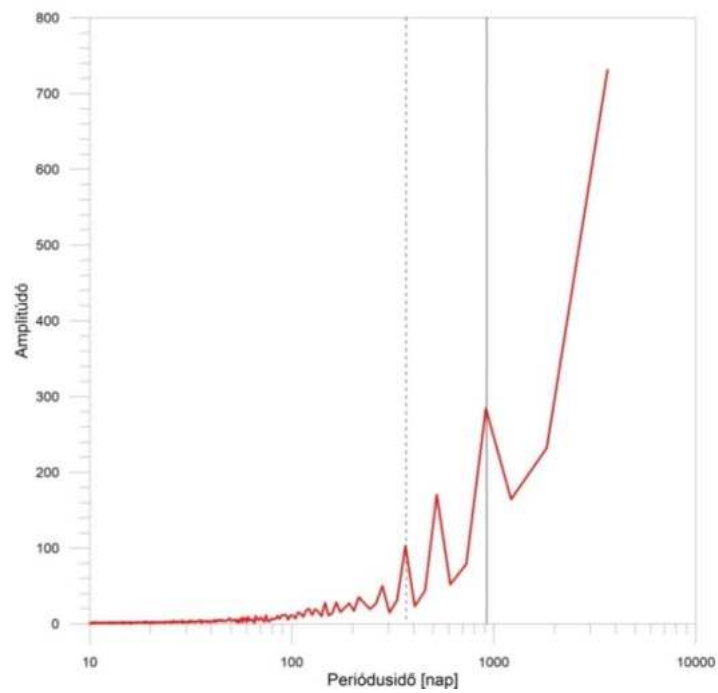
Következő lépésben elvégeztem a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek mérési adatsorain is a Fourier-transzformációt, majd vizsgáltam, hogy az Nv-17 esetén meghatározott 368 napos periódusidőhöz rendelhető-e csúcs vagy töréspont az egyes mérőhelyeken. Ez azért fontos, mivel két Fourier-transzformált adatsor összevetése során abban az esetben mondható közösnek egy-egy periódus, ha mindkét adatsorban a jellegzetesebb csúcsokhoz, törésekhez azonos periódusidő tartozik (Jukic&Denic-Jukic, 2015). Mivel a hegységet regionális szintű, átfogó vizsgálatnak vetem alá, a nagy hidraulikai ellenállásból származó csillapítás okán a hasonló periódusidőket is elfogadhatónak tartom. Az eredményeket az 58. **ábra**- 63. ábra, összefoglalva a 10. táblázat mutatja be.



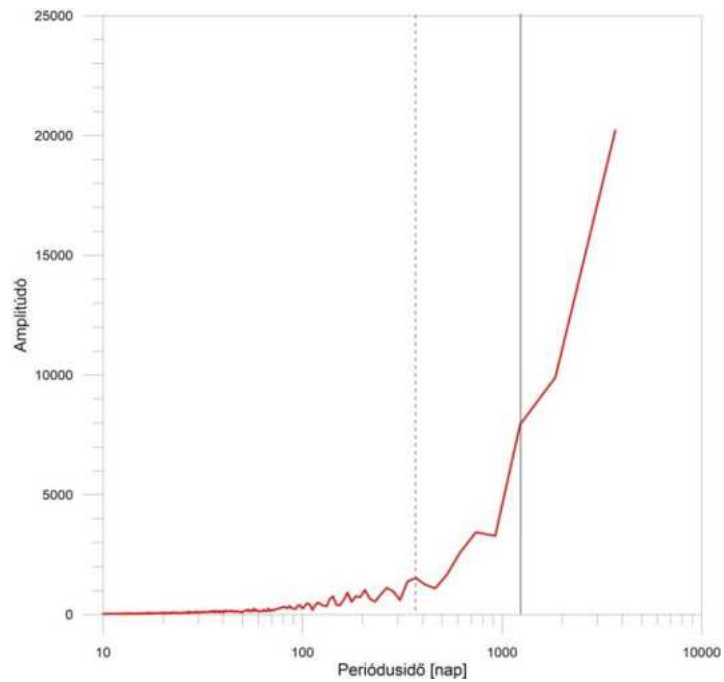
58. ábra A Kertészeti-kút adatsorán elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, folytonos vonallal jelölve a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódus, szaggatott vonallal jelölve a 368 napos periódusidő (szerző saját szerkesztése)



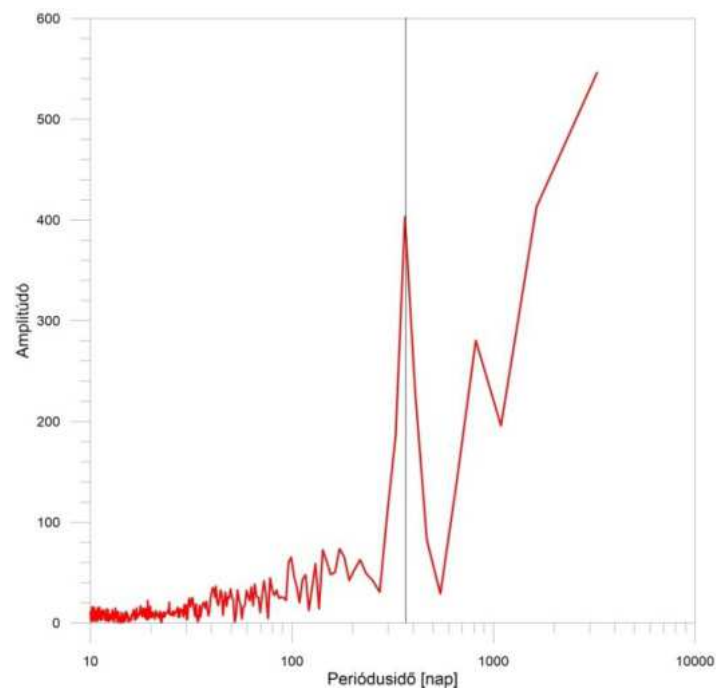
59. ábra A Selyemrét-2-kút adatsorán elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, folytonos vonallal jelölve a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódus, szaggatott vonallal jelölve a 368 napos periódusidő (szerző saját szerkesztése)



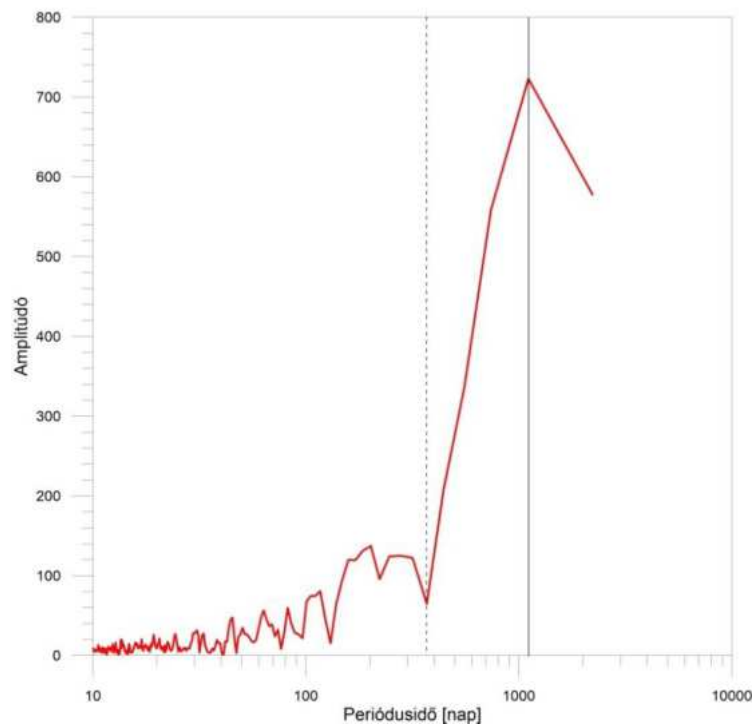
60. ábra A Tükör-forrás adatsorán elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, folytonos vonallal jelölve a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódus, szaggatott vonallal jelölve a 368 napos periódusidő (szerző saját szerkesztése)



61. ábra A Zsóry III. sz. kút adatsorán elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, folytonos vonallal jelölve a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódus, szaggatott vonallal jelölve a 368 napos periódusidő (szerző saját szerkesztése)



62. ábra A K-11 adatsorán elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, folytonos vonallal jelölve a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódus, szaggatott vonallal jelölve a 368 napos periódusidő (a két pont egybeesik) (szerző saját szerkesztése)



63. ábra A Termál-forrás adatsorán elvégzett Fourier-transzformáció eredménye, folytonos vonallal jelölve a legnagyobb amplitúdó értékhez tartozó periódus, szaggatott vonallal jelölve a 368 napos periódusidő (szerző saját szerkesztése)

A hideg karsztrendszerhez tartozó Nv-17 monitoring pont vízszint adatsorain spektrálanalízist végeztem, és meghatároztam a legnagyobb amplitúdó értékkel rendelkező csúcshoz tartozó periódusidőt, mely **368 napra** adódott. Ez az eredmény összhangban áll a jávorkúti csapadékatok periodicitás vizsgálati eredményeivel, mely esetben a leghangsúlyosabb periódusidő 365 napra adódott (Darabos, 2017). A vizsgálatba bevont, termálkarszthoz tartozó monitoring pontok adatsorain szintén elvégeztem a spektrálanalízist. Céлом volt vizsgálni azt, hogy a termál karsztrendszerhez tartozó mérőhelyek Fourier-transzformált görbéin a 368 napos periódusidőhöz rendelhetőek-e csúcsok, illetve töréspontok, tehát a jávorkúti csapadékatok 365 napos, valamint az Nv-17 368 napos periódusideje felfedezhető-e a termálkarsztos mérőhelyeken is. Az eredményeket a 10. táblázat tartalmazza.



10. táblázat Az Nv-17 és a vizsálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek adatsorain Fourier-transzformáció segítségével végzett periodicitás vizsgálat eredményei (szerző saját szerkesztése)

Mérőhely	Rendelhető-e csúcs/töréspont a 368 napos periódusidőhöz?	Eltérés mértéke [nap]
Kertészeti-kút	eltéréssel, igen	3
Selyemrét-2-kút	eltéréssel igen	30
Tükör-forrás	igen	0
Zsóry-III-kút	igen	0
K-11	igen	0
Termál-forrás	igen	0

Az Nv-17 megfigyelőhely szoros összefüggést mutat a csapadékadatokkal, ez teljesen logikus és normális jelenség. Viszont a termálkarszt nyomásviszonyaira a lokális csapadék közvetlenül nem gyakorol hatást, hisz nagy mélységben, eltemetett helyzetben található. Viszont a hideg karsztrendszerben (például a csapadék vízszintemelő hatására) bekövetkező változások nyomásváltozás formájában jelentkeznek a termálkarsztban. A csapadék, hideg karsztvízszint és termálkarszt vízszint/nyomás adatsorokon elvégzett spektrálanalízis eredményei alapján elmondható, hogy a hideg karsztvízszint 368 napos periódusideje kimutatható a termálkarsztos mérőhelyeken is. Két mérőhely esetében kis mértékű eltérés mutatkozik. A Kertészeti-kút esetében az eltérés mértéke 3 nap, a Selyemrét-2-es kút esetén ez az eltérés 30 napra adódott. Amennyiben azonban figyelembe vesszük a 5.3.3.2. fejezetben bemutatott szelvényt (30. ábra), és elfogadjuk, hogy e mérőhely egy vető mentén a termálkarszt mélyebb helyzetű részeiből kap utánpótlást, ez a 30 napos eltérés is elfogadható mértékű.

**A fentebb bemutatott periodicitás vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy az Nv-17 spektrálanalízis vizsgálata során számított, legnagyobb amplitúdó értékkel rendelkező csúcshoz rendelhető, 368 napos periódusidő mind a hat vizsgált mérőhely adatsorának Fourier-transzformált görbéjén kimutathatóan megjelenik. Némi kivételt képez ez alól a Kertészeti-kút és a Selyemrét-2-kút. A Kertészeti-kút esetén töréspont látható a görbén, és az Nv-17-hez képesti eltérés -3 nap, vagyis 365 napos periódusidő adódik. A Selyemrét-2-kút esetén ez az eltérés +30 napos, tehát 398 napos periódusidő adódott. A többi mérőhely esetén a 368 napos periódusidőhöz rendelhető csúcs, vagy töréspont a Fourier-transzformált görbéken, a K-11 mérőhely esetén a legnagyobb amplitúdó értékkel rendelkező csúcs tartozik hozzá. Az eredmények alátámasztják azt, hogy a hideg és termál karsztrendszer kapcsolatban van. Továbbá, hogy a hideg-meleg karsztrendszer**

felülről vezérelt, a termálkarsztban uralkodó viszonyokat a felette elhelyezkedő hideg karsztrendszer befolyásolja, és a termálkarszt nyomásviszonyait a meteorológiai események is befolyásolják.

A vizsgálatokba bevont mérőhelyek közül a kutakra vonatkozó eredményeket teljes mértékben elfogadhatónak tartom, hiszen mind a négy mérőhely a nagy mélységben elhelyezkedő, több száz méter vastag, javarészt vízrekesztő/vízzáró üledékekkel fedett termálkarsztos réteget szűrőzi. Ez azért fontos, mert ez a rendszer az utánpótlását nagy valószínűséggel csak a hegység központi részéről, a hideg karsztból kapja.

A vizsgált források esetében (Termál-forrás és Tükör-forrás) árnyaltabb lehet a kép. Ezek a források a Bükk lábánál található langyos/meleg vizű források, melyek hidrológiai viszonyait a lokális hidegvizes áramlási pályák is befolyásolhatják.

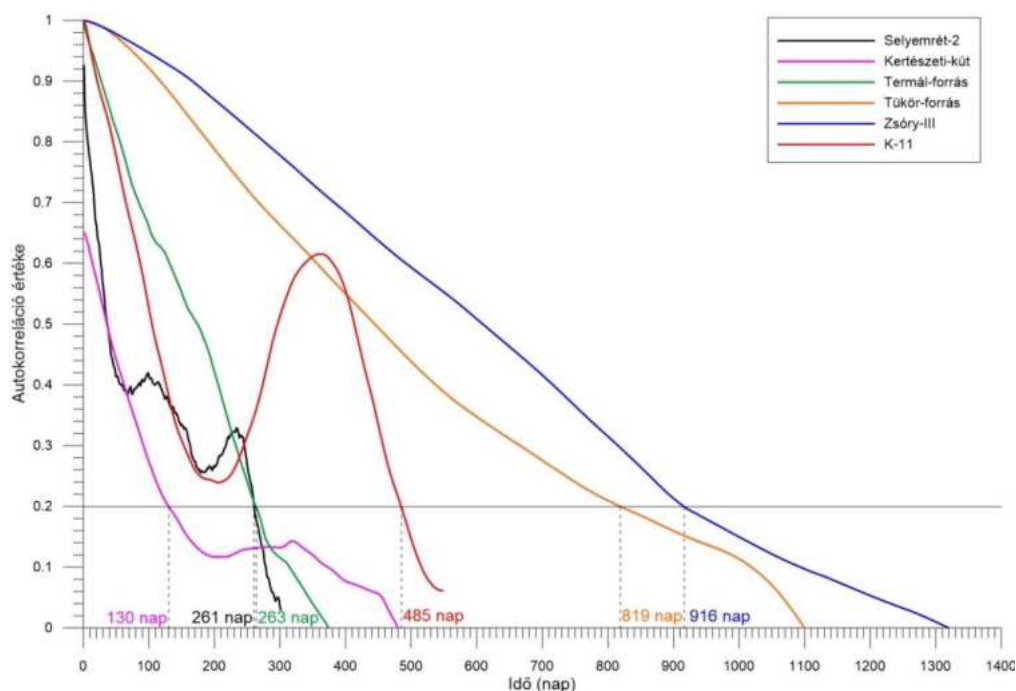
***Tézis 5: Az Nv-17 (Bükk-fennsík), Kertészeti-kút (Miskolc), Zsóry-III-kút (Mezőkövesd) és K-11 (Demjén) adatsorán végzett spektrálanalízis és kereszt-spektrál analízis vizsgálatok eredményei azt támasztják alá, hogy a hideg és termál karsztrendszer erős hidraulikai kapcsolatban áll egymással, és a termálkarszt nyomásviszonyait alapvetően a Bükk központi részén a hidegkarsztot elérő csapadékmennyiségek határozzák meg. A kereszt-korrelációs vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a legerősebb hidraulikai kapcsolat K-i irányban határozható meg, melyet csökkenő sorrendben követnek a DNy-i majd a D-i területek.***

***Tézis 6: A kereszt-korrelációs, valamint a periodicitás vizsgálatok (spektrálanalízis és kereszt-spektrál analízis) eredményei alapján megállapítható, hogy a bükki termálkarsztot megcsapoló, szabad kifolyású, szivattyúval nem termelt hévízkutak alkalmasak hosszú távú monitoring tevékenységre, ezáltal az adatsoraik hidrogeológiai célú kutatásokra, vízkészlet-gazdálkodási, vízvédelmi feladatok megoldására eredményesen felhasználhatóak.***

#### **6.2.6. Autokorrelációs vizsgálat**

Az egyes mérőhelyek adatsorain elvégzett autokorrelációs vizsgálatok eredményét a 64. ábra mutatja be. Karszthidrogeológiában az idősorok elemzése során a rendszer memória effektusa ( $T_{reg}$ ) határozható meg a korrelogramok segítségével (Labat, et al., 2000). Ezt az értéket az a pont adja a görbén, ahol az autokorreláció értéke eléri a 0,2-t

(Jukic&Denic-Jukic, 2015; Mangin, 1984a). Egy rendszer magas memóriája hosszú árapályán töltött időre, vagyis nagy tározásra utal (Mangin, 1982). Ezen túl a módszer, valamint a görbe alakja további megállapításokra is lehetőséget ad, mert információt nyújt a karsztrendszer fejlettségéről, annak az árapályára menti változásairól, valamint a tározási tényezőről is (Pulido-Bosch, et al., 1995). A melegvizes mérőhelyek eredményei a 64. ábra láthatóak. A görbe alakján a memória effektus értékeit a 11. táblázat mutatja be.



64. ábra A melegvizes mérőhelyek autokorrelációs értékei (szerző saját szerkesztése)

A K-11-es, Selyemrét-2 és Kertészeti-kút mérőhelyek esetén látható, hogy a korrelációs görbék lefutása nem egyenletes csökkenő tendenciát mutat. A Selyemrét-2 esetében a görbén megjelenő második csúcs jelezheti, hogy a kút egy mélyebb árapályáról is nyeri vizét, mely összhangban áll a 5.3.3.1.1 fejezetben bemutatott szelvény eredményeivel (26. ábra). Hangsúlyoznám azonban, hogy e kutak mindegyikében folyamatos termelés zajlik (szabad kifolyású, nem szivattyúzással termelt hévízkutak), mely gyaníthatóan befolyásolja az autokorrelációs vizsgálati eredményt, így ezen három mérőhelyre vonatkozó eredményeket nem tekintem elfogadhatónak.

11. táblázat Az egyes mérőhelyek memóriaeffektusa autokorrelációs vizsgálatok alapján (szerző saját szerkesztése)

Mérőhely	Memóriaeffektus [nap]
Zsóry-III. sz. kút	916
Tükör-forrás	819
Termál-forrás	263

A Zsóry-III. és Tükör-forrás görbéi az első 26-27 napban együtt futnak, majd elválnak egymástól, de az  $r_k=0,2$ -es értékig nagyon hasonló lefutásúak. Markáns törés nem látható rajtuk, melyből arra következtettek, hogy a két mérőhelyből származó vizek egyforma geológiai összetételben futó árampályákról származnak.

A Termál-forrás görbéje ezzel szemben sokkal meredekebb lefutású, több töréspont is látható benne. A görbe eltérő jellege mutatja, hogy a Termál-forrás vize más termálkarsztos pályán érkezik, melyet a forrásnak a hegységhez képesti keleti elhelyezkedése is alátámaszt. A görbe jellege, valamint a Zsóry-III. és Tükör-forráshoz képest sokkal kisebb memória effektusa azt jelzi, hogy a miskolctapolcai Termál-forrás sekélyebben elhelyezkedő áramlási pályát csapol meg. A görbe markáns törései pedig utalhatnak arra, hogy keleti irányban ezeknek a sekélyebb mélységben elhelyezkedő árampályáknak különböző, nem karsztos formációkon (azok repedésein, törésein) is át kell haladniuk, melyek más vízvezetőképességű tulajdonságokkal bírnak.

Összehasonlításképp példaként említem, hogy a francia Pireneusokban vizsgált karsztforrások esetében meghatároztak  $T_{reg}=14; 22,5; 50; 70$  napos memóriaeffektus értékeket, és az utóbbi érték (70) már jelentős tározást jelent (Mangin, 1984b).

**Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy termeléssel zavart mérőhelyek adatsorainak vizsgálatára az autokorrelációs vizsgálat nem alkalmas, viszont források és megfigyelő kutak idősorain alkalmazva információ nyerhető a karsztrendszer fejlettségéről, az árampálya menti változásokról.**

## 7. Tézisek

**Tézis 1:** Megállapítottam, hogy Egerszalók-Demjén térségében a vizsgált 1647 m-es mélységig a geotermikus lépcső a mélység függvényében nem lineárisan változik. A legjobb illeszkedést mutató kapcsolat logaritmikus összefüggéssel írható le, amit a  $G_l=9,6212*\ln(z_i)-51,0165$  egyenlettel fejeztem ki (ahol:  $G_l$  [m/°C] - geotermikus lépcső a vizsgált pontban,  $z_i$  [m]- talpmélység ugyanott).

**Tézis 2:** Egerszalók-Demjén és Miskolc térségében földtani információkat, új fúrási adatokból származó geológiai, hőmérsékleti adatokat felhasználva az alábbi eredményeket értem el:

- A.** Egerszalók-Demjén térségében két szelvény mentén elkészítettem a terület hőmérséklet-eloszlását. Felhasználva számos szénhidrogén-kutató fúrás információit, valamint modellezett hőmérséklet adatokat, megadtam a terület tomografikus hőmérséklet-eloszlás térképét. Így horizontális és vertikális irányban is meghatároztam területi szinten az eddig nem ismert felszín alatti hőmérséklet-viszonyokat.
- B.** Miskolc térségében fúrási adatokkal pontosítottam a triász korú aljzat meglévő térképét. Modellezett és számított hőmérséklet viszonyok alapján három szelvény mentén elkészítettem a területen a mélységbeli hőmérséklet eloszlást. Vízkémiai, földtani és  $^{14}\text{C}$  mérési eredmények alapján két szelvény mentén meghatároztam a terület koncepcionális karsztvíz áramlási viszonyait.

**Tézis 3:** Az Nv-17 és a vizsgálatba bevont termálkarsztos mérőhelyek hosszú távú adatsorainak grafikus összevetése alapján megállapítható, hogy az Nv-17 vízszint adatsorában a nagy árvízi csúcsok különböző eltolással és mértékben megjelennek a termálkarsztos mérőhelyek adatsorában is. Ennek alapján joggal feltételezhető, hogy a hideg és meleg karsztrendszer hidraulikai kapcsolatban áll egymással.

**Tézis 4:** Az eredmények alapján megállapítható, hogy a regionális szinten kapcsolódó (hideg és termál), nagy léptékben vizsgálva jelentős hidraulikai ellenállással rendelkező karsztrendszer esetén erős kapcsolatot jelentő magas koherencia értékek alacsony frekvencián, magas periódusidőkben mutatkoznak meg a hideg és a termálkarsztos mérőhelyek adatsorai között.

**Tézis 5:** Az Nv-17 (Bükk-fennsík), Kertészeti-kút (Miskolc), Zsóry-III-kút (Mezőkövesd) és K-11 (Demjén) adatsorán végzett spektrálanalízis és kereszt-spektrál analízis vizsgálatok eredményei azt támasztják alá, hogy a hideg és termál karsztrendszer erős hidraulikai kapcsolatban áll egymással, és a termálkarszt nyomásviszonyait alapvetően a Bükk központi részén a hidegkarsztot elérő csapadékmennyiségek határozzák meg. A kereszt-korrelációs vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a legerősebb hidraulikai kapcsolat K-i irányban határozható meg, melyet csökkenő sorrendben követnek a DNy-i majd a D-i területek.

**Tézis 6:** A kereszt-korrelációs, valamint a periodicitás vizsgálatok (spektrálanalízis és kereszt-spektrál analízis) eredményei alapján megállapítható, hogy a bükki termálkarsztot megcsapoló, szabad kifolyású, szivattyúval nem termelt hévízkutak alkalmasak hosszú távú monitoring tevékenységre, ezáltal az adatsoraik hidrogeológiai célú kutatásokra, vízkészlet-gazdálkodási, vízvédelmi feladatok megoldására eredményesen felhasználhatóak.

## 8. Összefoglalás

A dolgozatban bemutatott kutatási munka célja a bükki termál karsztrendszer komplex vizsgálata volt. A dolgozat célkitűzései közé tartozott a rendszer geotermikus jellegű vizsgálata, valamint idősor elemzések segítségével a Bükkben a hideg és a termál karsztrendszer hidraulikus folytonosságának vizsgálata.

A termálkarsztrendszer geotermikus jellegű vizsgálata során felhasználtam rendelkezésemre álló földtani adatokat, számos szénhidrogén kutató fúrás, valamint az elmúlt 15-20 évben termálvíz kivételű céllal létesült kút adatait (fúrási naplók és vízföldtani naplók).

Az elérhető adatok eloszlása alapján a Bükkalján két vizsgálati területet jelöltem ki, melyek Egerszalók-Demjén és térsége, valamint Miskolc és térsége voltak. Amellett, hogy e két területről állt rendelkezésemre kellő mennyiségű adat, a két térség napjainkban termálkarsztvíz termelés szempontjából kiemelt jelentőségű. Egerszalókon és Demjénben intenzív balneológiai célú vízkitermelés folyik, több fürdő, fürdőkomplexum üzemel. Miskolcon és térségében a hideg karsztrendszerből ivóvíz célú termelés folyik, valamint a termálkarsztos mészkő összletek adta termálkarsztvíz felhasználásra kerül balneológiai célokkal, kis mértékben ivóvíz ellátási felhasználással, valamint helyi fűtési céllal, és Mályi-Kistokaj területén üzemel Közép-Európa legnagyobb, fűtési célú geotermikus rendszere 60 MW<sub>t</sub> kapacitással. A rendszer két termelő és három visszasajtoló kúttal működik.

Munkám során felállítottam a két vizsgálati terület fejlődéstörténeti modelljét, majd PetroMod szoftver segítségével kútszintű 1D-s modellezést végeztem el. A rendelkezésre álló mért talphőmérsékleti adatok segítségével verifikáltam és ellenőriztem a modellezési eredményeket. A szoftver klasszikus esetben a szénhidrogén-kutatás céljait szolgálja, így vizsgáltam annak a karsztrendszerre történő alkalmazásának lehetőségét. A modellezett és mért eredmények közötti eltérés maximális mértékét 15%-ban határoztam meg. Munkám során a 24 kútra elvégzett modellezési eredmények 75 %-a volt elfogadható.

Egerszalók-Demjén térségében fúrási adatok alapján meghatároztam az eocén-triász korú karbonátos vízadó összlet felszínének burkológörbét. A térségben kijelölt vizsgálati területen számos fúrási adatsor állt rendelkezésemre, melyhez nem tartoztak talphőmérséklet mérési adatok. Annak érdekében, hogy ezek is felhasználhatóak legyenek, 12 kút adatsoraiból számítottam geotermikus lépcső értékeket. A kapott adatok alapján meghatároztam, hogy a vizsgált területen a geotermikus lépcső és a mélység nem lineáris összefüggést mutat egymással. A legjobb illeszkedést mutató kapcsolat logaritmusos összefüggéssel írható le, amit számszerűsítve, egyenlettel is kifejeztem,

$G_i = 9,6212 \cdot \ln(z_i) - 51,0165$  egyenlettel fejeztem ki (ahol:  $G_i$  [m/°C] - geotermikus lépcső a vizsgált pontban,  $z_i$  [m]- talpmélység ugyanott).

Ennek segítségével 40 fúrás/kút adatait felhasználva tomografikus hőmérséklet-eloszlás térképeket határoztam meg 5 mélységszinten, jellemezve ezzel a terület rétegenkénti horizontális irányú, és a rétegek közötti vertikális irányú hőmérséklet-eloszlását.

Továbbá, két szelvény mentén, vertikális kiterjedésben hőmérséklet-eloszlást készítettem, és meghatároztam a területen a 30 °C-os izoterma mélységét.

Miskolc és térségében felhasználva a korábbi, és a 2010 után létesült, termálkarsztot elérő kutak adatait, valamint földtani információkat, pontosítottam a területről készült pretercier aljzattérképet.

Miskolc város területére megadtam a geotermikus lépcsőre vonatkozó összefüggést. Ennek segítségével számított hőmérséklet adatok, valamint modellezett hőmérséklet adatok segítségével a területen három szelvény mentén megadtam a hőmérséklet-eloszlást.

Miskolcon és környékén található négy termálkarsztot termelő kútban végeztem vízminta vételezést, és laboratóriumi vizsgálatok segítségével meghatároztam a minták kémiai összetételét. Ezeket felhasználva meghatároztam a kutak vízkémiai fáciesét, a további kutak esetén a vízföldtani naplókban található vízkémiai adatokat használtam fel erre a célra. Két szelvény mentén figyelembe véve a földtani, hőmérsékleti, vízkémiai viszonyokat, elkészítettem a terület koncepcionális áramlási képét.

Mivel mindkét vizsgált terület termálkarsztvíz termelés szempontjából stratégiai jelentőségű a Bükkalja térségében, új kutatási eredményeim segítik a területek hőmérsékleti, áramlási, szerkezeti viszonyainak megértését és támogatják a jövőben a nagyobb biztonsággal tervezhető termálkarsztvíz kutatást, kútlétesítést és üzemeltetést.

Munkám során felhasználtam a Miskolci Egyetem által üzemeltetett Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer hosszú idejű adatsorait és különböző típusú idősor elemzéseket végeztem el rajtuk. Az elemzések elvégzésével célom volt vizsgálni a Bükkben a hideg és a termálkarszt kapcsolatrendszerét, a két rendszer között a hidraulikai folytonosság meglétét, a kapcsolat erősségét. A vizsgálatok során az input paraméter a hegység központi részén található Nv-17 karsztvízszint megfigyelőkút vízszint adatsora volt. Számos korábbi vizsgálat bizonyította, hogy e monitoring pont a bükki hidegkarszt-domborzat szempontjából tetőhelyzetben található, így a kutatások során ezt tekintjük etalonnak. A vizsgálatok elvégzéséhez output pontként 6 termálkarsztos mérőhelyet



jelöltem ki. Ezek közül kettő forrás (Miskolctapolca, Termál-forrás és Kács, Tükör-forrás), valamint négy kút (Miskolc, Selyemrét-2; Miskolc, Kertészeti-kút; Mezőkövesd, Zsóry-III. megfigyelőkút, Demjén, K-11). A Mezőkövesden található kút megfigyelőkútként funkcionál, a többi kút pedig szabad kifolyású, pozitív, nem szivattyúval termelt kút.

Első lépésben a mérőhelyek vízszint/nyomás görbéit grafikus úton vetettem össze. Az értékelés és eredmények tükrében megállapítható volt, hogy a hideg karsztban bekövetkező változások hatásai bizonyos késleltetéssel, de jelentkeznek a termálkarsztos mérőhelyeken is. Ezek alapján indokoltnak láttam magasabb szintű idősor elemzések elvégzését, és a hideg és termálkarszt rendszer között fennálló kapcsolat számszerű bizonyítását is.

A keresztkorrelációs vizsgálatok elvégzésével bizonyítottam, hogy az Nv-17 és az egyes mérőhelyek között kapcsolat áll fenn, és meghatároztam a késleltetés mértékét. Ezen késleltetés adja meg, hogy az input ponton bekövetkező változások mennyi idő elteltével jelentkeznek az output mérőhelyeken. Az eredmények alapján a Selyemrét-2 kút esetén a késleltetés 35 nap, a Kertészeti-kút esetén 41 nap, a K-11 mérőhely esetén 112 nap, a Zsóry-III esetén 163 nap, és a Tükör-forrás esetén 178 nap. Felhasználva a késleltetési időket, átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebességet határoztam meg az Nv-17 és a vizsgált mérőhelyek közötti térrészre vonatkozóan. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Bükk központi területei felől haladva a legjobb hidraulikai kapcsolat K felé adott, melyet a D<sub>Ny</sub>-i, majd a D-i irány követ.

A koherencia vizsgálat során vizsgáltam az Nv-17 és az egyes termálkarsztos mérőhelyek közötti kapcsolat erősségét. A magas koherencia értékkel jellemezhető frekvenciák alapján meghatározott periódusidők elfogadhatóak. E vizsgálat alapján megállapítottam, hogy a regionális szinten kapcsolódó (hideg és termál karsztrendszer), nagy léptékben vizsgálva jelentős hidraulikai ellenállással rendelkező karsztrendszer esetén erős kapcsolatot jelentő magas koherencia értékek alacsony frekvencián, magas periódusidőkben mutatkoznak meg a hideg és a termálkarsztos mérőhelyek adatsorai között. A kijelölhető periódusok a Selyemrét-2 esetén 199, 44, 36, 27 nap; a Kertészeti-kút esetén 101, 40 nap; a K-11 esetében 327, 82, 50, 41 nap; a Zsóry-III. esetében 148, 74, 46, 35, 22 nap; a Tükör-forrás esetén 365, 183, 61, 49 nap; a Termál-forrás esetén 222, 89, 44, 30 napra adódtak.

A következő lépésben kereszt-spektrál analízist végeztem, mely során a két mérőhely közötti keresztkorrelációs értékek Fourier-transzformáltját állítottam elő. Továbbá ugyanezt elvégeztem az egyes mérőhelyek adatsorain is, majd periodicitás vizsgálatot végeztem, és azt vizsgáltam, hogy a magas koherencia értékekhez rendelhető periódusok

megtalálhatóak-e a Fourier-transzformált görbéken. A koherencia vizsgálat során meghatározott, magas koherencia értékkel rendelkező periódusok tekinthetők megbízhatónak a vizsgálat szempontjából, a kereszt-spektrál analízis során pedig a két mérőhely közös periódusai állapíthatók meg. Ezen módszerrel kiküszöbölhetőek esetleges más hatások az eredményekben. A három módszerrel kijelölhető periódusidők, helyenként kis eltéréssel, azonosíthatóak voltak. Ez az eredmény is bizonyítja a Bükkben a hideg és termálkarszt kapcsolatának meglétét.

A továbbiakban spektrálanalízis segítségével periodicitás vizsgálatot végeztem a Bükk központi részén hulló csapadék, Nv-17 vízszint, valamint a termálkarsztos mérőhelyek adatsoraiban. Korábbi kutatások során a jávorkúti csapadékokra jellemző fő periódusidőt 365 napban határozták meg. Meghatároztam az Nv-17 adatsorában kimutatható fő periódust, mely 368 napra adódott, majd vizsgáltam, hogy ezen periódus jelentkezik-e a termálkarsztos mérőhelyeken. A 368 napos periódus minden mérőhely esetén kimutatható volt, a Kertészeti-kút esetén 3 napos, a Selyemrét-2 kút esetén 30 napos eltéréssel.

Az elvégzett kereszt-korrelációs vizsgálatok, koherencia vizsgálat, valamint a kereszt-spektrál analízis és spektrálanalízis eredményei alátámasztják azt, hogy a Bükk hegységben a hideg és termál karsztrendszer kapcsolatban van. Továbbá, hogy a hideg-meleg karsztrendszer felülről vezérelt, a termálkarsztban uralkodó viszonyokat a felette elhelyezkedő hideg karsztrendszer befolyásolja, és a termálkarszt nyomásviszonyaira a meteorológiai események is hatással vannak.

A megbízható eredmények alapján megállapítottam, hogy a bükki termálkarsztot megcsapoló, szabad kifolyású, szivattyúval nem termelt hévízkutak alkalmasak hosszú távú monitoring tevékenységre, az adatsoraik hidrogeológiai célú kutatásokra, vízkészlet-gazdálkodási, vízvédelmi feladatok megoldására. Az eredmény a 30 éve működő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer működtetésének hasznosságát és jogosultságát tovább erősíti, és mutatja, hogy a jövőbeli fenntartható vízgazdálkodás szempontjából elengedhetetlen a fenntartása.

A vizsgált termálkarsztos mérőhelyek adatsoraiban autokorrelációs vizsgálatot végeztem. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a termeléssel zavart mérőhelyeken a módszer nem alkalmazható eredményesen. Három monitoring pont esetén megadtam a rendszer memóriaeffektusát, a Termál-forrás esetén 263 nap, a Tükör-forrás esetén 819 nap, a Zsóry-III. esetén pedig 916 nap. A görbék alakjából és lefutásából megállapítottam, hogy a Zsóry-III. és a Tükör-forrás görbéi az első 26-27 napban együtt futnak, majd elválnak

egymástól, de az  $r_k=0,2$ -es értékig nagyon hasonló lefutásúak. Ebből arra következtetek, hogy a két mérőhelyből származó vizek egyforma geológiai övezetben futó árampályákról származnak.

A meglévő szakirodalom alapos áttekintése alapján úgy vélem, az eddigi részeredmények ilyen jellegű komplex értékelésére eddig nem került sor, ezért a dolgozatomban ismertetett kutatás eredményeit tudományos és napi szintű vízgazdálkodási szempontból jelentősnek, részben a gyakorlatban is használható metodikai jellegűnek tartom.

## 9. Summary

The aim of the research work presented in the dissertation was the complex investigation of the Bükk thermal karst system. The aims of the dissertation included the geothermal analysis of the system and the hydraulic continuity of the cold and thermal karst systems in Bükk with the help of time series analyzes.

By investigating the thermal karst system by geothermal aspects I have used geological data, datasets of numerous hydrocarbon research wells and thermal karst wells established in the past 15-20 years.

Based on the distribution of available data, I selected two study areas in the Bükkalja, which were Demjén and its surrounding area, and Miskolc and its surrounding area. Both researches play prominent role nowadays in thermal karst water production. Intensive thermal karst water extraction for balneological purposes is taking place in Demjén, several baths and bathing complexes are operating. In Miskolc and its surrounding the cold karst system provides water for the production of drinking water, and the thermal karst water provided by the thermal karst limestone aquifer is used for balneological purposes and for local heating purposes. Also the largest geothermal heating system in Central Europe with a capacity of 60 MW<sub>t</sub> operates in the Mályi-Kistokaj area. The system is operating with two injection and three reinjection wells.

In my work, I set up the development history model of the two study areas, and then I performed well-level 1D modeling using PetroMod software. Using the available measured bottomhole temperature data, I verified and checked the modeling results. In the classical case, the software serves the purposes of hydrocarbon research, so I investigated the possibility of applying it to a karst system. The maximum difference between the modeled and measured results was set at 15%. In my work I performed 1D model of 24 wells, 75% of the modeling results became acceptable.

Based on the drilling data in the Demjén area, I determined the cladding curve of surface of the Eocene-Triassic carbonate aquifer. In the designated test area I had several sets of drilling data available, which did not include bottom temperature measurement data. In

order for these to be usable, I calculated geothermal step values from the data sets of 12 wells. Based on the obtained data, I determined that the geothermal step and the depth in the studied area show a non-linear relationship with each other.

This relationship can be described by a logarithmic relation, which I quantified with an equation, which is  $G_i = 9,6212 \cdot \ln(z_i) - 51,0165$  ( $G_i$  [m/°C]- geothermal step at the examined point,  $z_i$  [m] - same depth at the given point).

Using the equation, I determined tomographic depth profiles at 5 depth levels using data of 40 wells / drillings, thus characterizing the horizontal temperature distribution of the area in the investigated depths. Furthermore, I made temperature distribution along two vertical sections and determined the depth of the 30 ° C isotherm in the area.

In the area of Miskolc and its surrounding I have used geological information and data of the previously, and wells established after 2010 which are reaching the thermal karst, I precised the pretercier base map of the area.

For the area of the city of Miskolc, I gave the relation for the geothermal step. Using this, I have calculated temperature data as well as modeled temperature data to give temperature distribution along the three sections in the area.

I took water samples in four thermal karst wells in and around Miskolc, and I determined the chemical composition of the samples with the help of laboratory tests. Using these, I determined the hydrochemical facies of the water from the wells, and for the other wells I used the hydrochemical data provided in the hydrogeological logs for this purpose. Taking into account the geological, temperature and hydrochemical conditions along two sections, I prepared a conceptual flow picture of the area.

As both of the studied areas are of strategic importance for the production of thermal karst water in the Bükkalja area, my new research results help to understand the temperature, flow and structural conditions of the areas and support the research and construction of thermal karst water with greater safety in the future.

In my work, I used the long-term data series of the Bükk Karst Water Level Monitoring System and performed various types of time series analyzes on them. By performing analyzes my aim was to examine the relationship between cold and thermal karst system in Bükk. During my investigations, the input parameter was the water level data set of the Nv-17 karst water monitoring well in the central part of the mountains. Several previous studies have shown that this monitoring point is in a roof position in terms of the cold karst water topography of Bükk, so this is considered a benchmark in our research. To perform the tests, I selected 6 thermal karst monitoring points as output points. Two of these are

springs (Miskolctapolca, Thermal Spring and Kács, Tükör Spring) and four are wells (Miskolc, Selyemrét-2; Miskolc, Kertészeti Well; Mezőkövesd, Zsóry-III Observation Well, Demjén, K-11). The well in Mezőkövesd operates as an observation well, and the other wells are free-flowing, positive, produced wells (so they are not pumped).

In the first step, I compared the water level/pressure curves of the monitoring points graphically. In the light of the evaluation and the results, it could be concluded that the effects of the changes in the cold karst have a certain delay, but also occur in the thermal karst monitoring sites. Based on these, I considered it justified to perform higher-level time series analyses and to numerically prove the relationship between the cold and thermal karst system.

By performing cross-correlation studies, I proved that there is a relationship between Nv-17 and each monitoring site, and I determined the degree of delay. This delay specifies the time after which changes at the input point occur at the output measurement points. Based on the results, the delay in case of Selyemrét-2 well is 35 days, 41 days for the Kertészeti well, 112 days for the K-11 measuring point, 163 days for the Zsóry-III well, and 178 days for the Tükör spring. Using the delay times, I determined an average hydraulic pressure propagation rate for the Nv-17 and the test sites examined. Based on the results, it can be stated that the best hydraulic connection from the central areas of Bükk is to the east, followed by the SW and then the D directions.

With the coherence calculations, I examined the strength of the relationship between Nv-17 and each thermal karst monitoring point. Period times determined from frequencies characterized by a high coherence value are acceptable. Based on this study, I found that the high coherence values, which are strongly related to the regionally related (cold and thermal system) karst system with significant hydraulic resistance, appear at low frequencies and at high period times between the data sets of cold and thermal karst monitoring points. Eligible periods for Selyemrét-2 are 199, 44, 36, 27 days; 101, 40 days for the Kertészeti Well; for K-11, 327, 82, 50, 41 days; for the Zsóry-III 148, 74, 46, 35, 22 days; 365, 183, 61, 49 days for the Tükör Spring; in the case of the Thermal Spring, they occurred for 222, 89, 44, 30 days.

In the next step, I performed cross-spectral analysis, in which I calculated the Fourier transform of the cross-correlation values between the two measurement sites. Furthermore, I did the same on the datasets of each monitoring points, and then I performed a periodicity test to see if the periods attributable to the high coherence values were found on the Fourier-transformed curves. Periods with a high coherence value determined during the coherence study can be considered reliable for the study, and

during the cross-spectral analysis, the common periods of the two measurement sites can be determined. This method eliminates any other effects on the results. The period times that could be designated by the three methods were identifiable, with slight variations. This result also proves the existence of the relationship between cold and thermal karst in Bükk.

Further, with the help of spectral analysis, I performed a periodicity study on the datasets of precipitation measured in the central part of Bükk, Nv-17 water level and the datasets of thermal karst monitoring points. In previous researches the main period time for maple precipitation was determined to be 365 days. I determined the main period in the Nv-17 data series, which was 368 days, and then examined whether this period occurs at the thermal karst monitoring points. The 368-day period was detectable for all measurement sites, with a difference of 3 days for the Kertészret well and 30 days for the Selyemrét-2 well.

The results of the cross-correlation studies, the coherence study, the cross-spectrum analysis and spectral analysis prove that there is relationship between the cold and thermal karst systems in the Bükk Mountains. Furthermore, since the cold-thermal karst system is controlled from above, the conditions in the thermal karst are influenced by the cold karst system above it, and the pressure conditions in the thermal karst are also influenced by meteorological events.

Based on the reliable results, I established that the free-flowing, non-pumped, operating thermal water wells draining the Bükk thermal karst are suitable for long-term monitoring activities, their data sets can be used successfully for hydrogeological research, water resources management and water protection tasks. This result further strengthens the well-founded existence of the Bükk Karst Water Level Monitoring System, which has been operating for 28 years, and shows that its operation is essential for future sustainable water management.

I performed autocorrelation calculations on the datasets of the examined thermal karst monitoring points. Based on the results, it can be concluded that this type of method cannot be applied effectively in operating exploitation wells. I gave the memory effect of the system for three monitoring points, 263 days for the Thermal Spring, 819 days for the Tükör Spring, and 916 days for Zsóry-III. From the shape and course of the curves, I stated that the Zsóry-III. and the Tükör Spring curves run together for the first 26–27 days and then separate, but up to  $r_k = 0,2$  are very similar. I conclude from this that the waters from the two monitoring points come from flow paths moving in the same geological formations.

Based on a thorough review of the existing literature, I believe that such complex evaluation of the partial results has not yet been carried out, therefore I consider the results of the research described in my dissertation to be significant from a scientific and daily water management point of view.

## **10. Köszönetnyilvánítás**

Hatalmas köszönettel tartozom témavezetőimnek, Dr. Lénárt Lászlónak és Prof. Dr. Szűcs Péternek a kitartó támogatásért és szakmai segítségért, a kollégáimnak, különösen Tóth-Darabos Enikőnek és Tóth Mártonnak, akik éveken keresztül támogattak mind szakmailag, mind pedig barátilag. Köszönöm a családomnak a türelmet és támogatást, amit a nehezebb időszakokban kaptam tőlük.

*Édesapám emlékére*

## 11. Irodalomjegyzék

1. **101/2007. (XII. 23.)** KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről.
2. **Aujeszky, G., Scheuer, G. (1974):** *Adatok a Bükk hegység karsztvízföldtani viszonyaihoz.* Hidrológiai Közlöny, 54(3-4), pp. 173-183.
3. **Back, W. (1961):** *Techniques for mapping of hydrochemical facies.* Prof Pap 424-D: US Geological Survey.
4. **Bakalowicz, M. (2005):** *Karst groundwater: a challenge for new resources.* Hydrogeology Journal, 13, pp. 148-160.
5. **Báldi, T. (1979):** *A történeti földtan alapjai.* Budapest, Tankönyvkiadó.
6. **Balla, Z. (1983):** *A szarvaskői szinform rétegsora és tektonikája.* Budapest, MÁELGI Évi Jelentése, 1982.
7. **Balogh, K. (1992):** *Szedimentológia III. kötet.* Budapest, Akadémiai Kiadó.
8. **Balogh, K. (1964):** *A Bükk hegység földtani képződményei.* Budapest, Magyar Állami Földtani Intézet évkönyve.
9. **Bán, P. (2001):** *Bél Mátyás Heves megye ismertetése 1730-1735.* Eger, A Heves Megyei Levéltár forráskiadványai 8.
10. **Benderev, A. , Hristov, V. (2000):** *The subthermal karstic waters of Bulgaria, their current state and potential for the sustainable development.* Portoroz, Slovenia, Sustainable Mineral Resources Management in Karst Areas. NATO ARW.
11. **Blahó, J. (2011):** *Object base Turbidite modelling of Demjén fields.* Budapest, Applied Technology and Best Practices in CEE Conference.
12. **Borbély, S. (1955):** *Barlang- és zsombolykutató a Bükkben.* Hidrológiai Közlöny, 35(9-10), pp. 357-362.
13. **Böcker, T. (1969a):** *Miskolc vízellátása szempontjából számbajöhető források hozamtartóssági vizsgálata.* Budapest, VITUKI tanulmány, kézirat.
14. **Böcker, T. (1969b):** *Az első karsztvíz megfigyelőkút a Bükk hegységben.* Hidrológiai Tájékoztató, pp. 108-109.
15. **BTIX Kft. (2010):** *A pretercier aljzat felszínének domborzati térképe, Kelet-Bükk.* Budapest, Kutatási jelentés.
16. **Chatfield, C. (1975):** *The Analysis of Time Series: Theory and Practice.* London, Chapman and Hall.
17. **Chinarro, D., Cuchí, J., Villarroel, J. (2010):** *Application of Wavelet Correlation Analysis to the Karst Spring of Fuenmayor.* San Julián de Banzo, Huesca, Spain. In: B. Andreo, F. Carrasco & J. Durán [szerk.]: *Advances in Research in Karst Media.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



18. **COST Action 620 (2003):** *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers*. European Commission, Directorate-General Science, Research and Development.
19. **Csiky, G. (1961):** *A demjéni kőolajmező*. Magyar geofizika, 3(1-2), pp. 123-133.
20. **Csiky, G. (1966):** A szénhidrogénkutatások újabb eredményei és kilátásai az északi paleogén-medencében. Földtani Közöny XCVIII.(1), pp. 29-40.
21. **Csontos, L. (1999):** *A Bükk hegység szerkezetének főbb vonásai*. Földtani Közöny 129(4), pp. 611-651.
22. **Csontos, L. (2000):** *A Bükk hegység mezozoos rétegtani újraértékelése*. Földtani Közöny 130(1), pp. 95-131.
23. **Darabos, E. (2017):** Vízkészlet számítás és idősorok elemzése karsztosodottsági jellemzők meghatározása céljából a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján. Miskolc, Miskolci Egyetem, PhD értekezés.
24. **Darabos, E., Miklós, R., Kovács, P., Szűcs, P., Lénárt, L. (2016):** A Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer adatainak vizsgálata a hegységben jelentkező klímaváltozás jellegének és következményeinek meghatározására. PTE TTK Szentágothai János Protestáns Szakkollégium, Beregszász, pp. 72-81.
25. **Darabos, E., Miklós, R., Tóth, M., Lénárt, L. (2017):** *A BKÉR adatainak felhasználása a karszt kutatásban*. Műszaki Földtudományi Közlemények 86(3), pp. 66-78.
26. **Darabos, E., Tóth, M., Lénárt, L. (2014):** *Karsztvízkészlet-meghatározás módszertani fejlesztése a Bükk példáján*. XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia: 16<sup>th</sup> Mining, Metallurgy and Geology Conference, Székelyudvarhely, Románia, pp. 248-252.
27. **Dataqua Elektronikai Kft. (2022):** <https://www.dataqua.hu/>. (Letöltés időpontja: 2022. április 2.)
28. **Deák, J. (1989):** *Dating the termal waters in the Eger area*. Budapest, 10<sup>th</sup> International Congress of Speleology.
29. **Dövényi, Z. (2010):** *Magyarország kistájainak katasztere*. Budapest, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.
30. **Drew, D. (1999):** *Introduction*. In: D. Drew & H. Hötzl [szerk.]: *Karst Hydrogeology and Human Activities. Impacts, Consequences and Implications*. Rotterdam, A.A.Balkema, p. 3.
31. **Elias, S. A., Mock, C. J. (2013):** *Encyclopedia Of Quaternary Science*. Elsevier.
32. **Filipovic, I., Jovanovic, D., Sudar, M., Pelikán, P., Kovács, S., Less, Gy., Hips, K. (2003):** Comparison of the Variscan, Early Alpine evolution of the Jadar

- Block (NW Serbia) and “Bükkium” (NE Hungary) terranes; some geological implications. *Slovak Geological Magazine* 9(1), pp. 23-40.
33. **Ford, D., Williams, P. (2007):** *Karst hydrogeology and geomorphology*. Wiley.
  34. **Fülöp, J. (1994):** *Magyarország geológiája. Paleozoikum II.* Budapest, Akadémiai Kiadó.
  35. **Gleeson, T., Marklund, L., Smith, L., Manning, A. H. (2011):** *Classifying the water table at regional to continental scales*. *Geophys. Res. Lett.* 38 (5), L05401.
  36. **Goldscheider, N., Chen, Z., Auler, S. A., Bakalowicz, M., Broda, S., Drew, D., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Stefanovic, Z., Veni, G. (2020):** *Global distribution of carbonate rocks and karst water resources*. *Hydrogeology Journal* 28, pp. 1661-1677.
  37. **Goldscheider, N., Drew, D. (2007):** *Methods in karst hydrogeology*. Taylor&Francis, London.
  38. **Goldscheider, N., Mádl-Szőnyi, J., Eröss, A., Schill, E. (2010):** *Review: thermal water resources in carbonate rock aquifers*. *Hydrogeology Journal* 18 (6), pp. 1303-1318.
  39. **Gyollai, I. (2007):** A pannon medence geodinamikai fejlődése a balatonfelvidéki granulit xenolitok példáján. PhD thesis.
  40. **Haas, J. (1998):** *Karbonátszedimentológia*. Egyetemi tankönyv. Budapest, ELTE Eötvös Kiadó.
  41. **Haitjema, H. M., Mitchell-Bruker, S. (2005):** *Are water tables a subdued replica of the topography?* *Ground Water* 43 (6) pp. 781–786.
  42. **Hantschel, T., Kauerauf, I. A. (2009):** *Fundamentals of Basin and Petroleum*. 10.1007/978-3-540-72318-9. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
  43. **Havril, T., Molson, J. W., Mádl-Szőnyi, J. (2016):** *Evolution of fluid flow and heat distribution over geological time scales at the margin of unconfined and confined carbonate sequences - A numerical investigation based on the Buda Thermal Karst analogue*. *Marine and Petroleum Geology*(2016), pp. 1-12.
  44. **Hevesi, A. (2002):** *Fejlődéstörténet II. Felszínfejlődés*. In: C. Barázs [szerk.]: *A Bükki Nemzeti Park. Hegyek, erdők, emberek*. Eger, Bükki Nemzeti Parki Igazgatóság, pp. 15-22.
  45. **Horusitzky, F. (1942):** *A víz a föld belsejében*. *Hidrológiai Közlöny* XXII., pp. 123-144.
  46. **Horváth, F. (2007):** A pannon medence geodinamikája (esztörténeti és geofizikai szintézis). Akadémiai nagydoktori értekezés.
  47. **Horváth, F., Bada, G., Windhoffer, G. (2005):** *A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Euro-konform térképsorozat és magyarázó*. 3.

- térképlap: A Pannon-medence és környezete földi hőáram sűrűsége. Budapest. Térkép.
48. **Huismans, R. S., Podladchikov, Y. Y., Cloething, S. (2001):** Dynamic modelling of the transition from passive to active rifting, application to the Pannonian Basin. *Tectonics* 20., pp. 1021-1039.
  49. **Hunkeler, D., Mudry, J. (2006):** *Hydrochemical methods*. In: Goldscheider N., Drew D. [szerk.]: *Methods in Karst Hydrogeology*. London, Taylor&Francis Group, pp. 106-108.
  50. **IAEA & UNESCO (2000):** *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle. Principles and Applications*. Vol. 4. Hannover.
  51. **IAEA & UNESCO (2001):** *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle, Principles and Applications* Vol. 1. Free University, Amsterdam, IHP-V Technical Documents in Hydrology.
  52. **Izápi, G., Maucha, L. (1992):** *A Bükk-hegység vízháztartási vizsgálata*. Miskolc, A Bükk karsztja, vizei, barlangjai Konferencia.
  53. **Izápi, G., Sárváry, I. (1993):** *Tájékoztató a magyarországi karsztos termálvíz előfordulások állapotáról*. Budapest, Vízgazdálkodási Tudományos Kutatóintézet.
  54. **Jakucs, L. (1971):** *A karsztok morfológiája*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
  55. **Jenkins, G. M., Watts, D. G. (1968):** *Spectral analysis and its applications*. Holden Day, San Francisco, p. 525.
  56. **Juhász, J. (2002):** *Hidrogeológia*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
  57. **Jukic, D., Denic-Jukic, V. (2015):** Investigation relationships between rainfall and karst-spring discharge by higher-order partial correlation functions. *Journal of Hydrology* 530, pp. 24-36.
  58. **Karácsonyi, S., Scheuer Gy. (1970):** *Vízföldtani és vízkémiai adottságok az egri karsztvizeknél*. MHT: Vízminőségi és Víztechnológiai kongresszus.
  59. **Karátson, D. (1997):** Magyarország földje - Kitekintéssel a Kárpát-medence egészére. 2. Budapest, Magyar Könyvklub.
  60. **Karsztvízgazda Bt. (2001):** Hiánypótló műszaki leírás az Egerszalók De-42/a jelű kút vízjogi üzemeltetési, ill. a De-42 jelű kút és a fürdő vízellátásáért fennmaradási engedélyeinek megszerzése érdekében. Miskolc.
  61. **Kassai, F. (1948):** *Paleogén szénbányászatunk, a karsztvíz és a védekezés módjai*. Hidrológiai Közöny, 28(1-4), pp. 4-48.
  62. **Kessler, H. (1964):** Jelentés a Miskolc-tapolcai fürdőforrások elapadásával kapcsolatban. Budapest, VITUKI tanulmány.
  63. **Kiraly, L. (2003):** *Karstification and Groundwater Flow*. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 1(3), pp. 155-192.

64. **Kovács, A. (2003):** Geometry and Hydraulic Parameters of Karst Aquifers: A Hydrodynamic Modeling Approach. Switzerland: University of Neuchatel. PhD thesis.
65. **Kovács, A., Perrochet, P., Darabos, E., Lénárt, L., Szűcs, P. (2015):** Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karstic aquifer, Bükk Mountains, Hungary. *Journal of Hydrology* 530, pp. 484-499.
66. **Kovács, A., Sauter, M. (2007):** *Modelling Karst Hydrodynamics*. – In: Goldscheider, N., Drew, D. [szerk.]: *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor&Francis, London, pp. 201–220.
67. **Kovács, B., Szanyi, J. (2005):** *Hidrodinamikai és transzportmodellezés II. (Processing MODFLOW és Surfer for Windows környezetben)*. Első kiadás. Magyarország, Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, GÁMA-GEO Kft.
68. **Kozák, M., Buday, T., Ujhelyi, J., McIntosh, R. W., Bálint, B. (2009):** *A bükkelőtéri mélykarszt hévizeinek valószínű áramlási rendszere és terhelhetősége*. Eger, Változó Föld, változó társadalom, változó ismeretszerzés Tudományos Konferencia, pp. 96-103.
69. **Kozák, M., McIntosh, R., Buday, T. (2011):** *A Tiszántúl aljzatszerkezete és ennek termoenergetikai jelentősége*. Debrecen, Környezet és Energia Konferencia, pp. 120-131.
70. **Kresic, N. (2010):** *Types and Classification of Springs*. In: N. Kresic, Z. Stefanovic [szerk.]: *Groundwater Hydrology of Springs*. Oxford, Elsevier, p. 46.
71. **Labat, D., Ababou, R., Mangin, A. (2000):** Rainfall-runoff relations for karstic springs. Part I: convolution and spectral analyses. *Journal of Hydrology* 238, pp. 123-148.
72. **Larocque, M., Mangin, A. (1998):** Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology* 205, pp. 217-231.
73. **Lénárt, L. (1987):** *Az egerszalóki De-42 termálkút mésztufakúpjának védőidom meghatározása*. Miskolc, Nehézipari Műszaki Egyetem, Földtan-Teleptani T Kutatási jelentés.
74. **Lénárt, L. (1994):** *Vízmozgások a Bükk-vidéken*. A Bükk-vidék vízkészletvédelméért, pp. 9-16.
75. **Lénárt, L. (2002):** *A bükki karsztvízkutatás történeti áttekintése*. Budapest, FAVA-VITUKI közös kiadás.

76. **Lénárt, L. (2005):** *Some aspects of the “3E’s” (Economics-Environment- Ethics) model for sustainable water usage in the transboundary Slovakian and Aggtelek karst region based on some examples from the Bükk Mountains.* Technical University of Košice, PhD Thesis.
77. **Lénárt, L. (2006):** *A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – A hosszú távú hasznosíthatóságának.* Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek III(2), pp. 17-28.
78. **Lénárt, L. (2008):** *Hideg, langyos és meleg karsztvíz-zónák a Bükkben és környezetében.* Mineral waters in the Carpathian Basin 5<sup>th</sup> International Scientific Conference. Csíkszereda, pp. 41-50.
79. **Lénárt, L. (2011a):** *Hol kerestek és hol találtak termálkarsztvizet a Bükk térségében?.* Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Miskolc, pp. 411-420.
80. **Lénárt, L. (2011b):** *Hol van termálkarsztvíz a Bükk-térségben?.* Multidiszciplináris tudományok 1(1), pp. 291-298.
81. **Lénárt, L. (2018):** *A 25 éves Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer (BKÉR) története, adatrendszere, felhasználása, további céljaink.* Műszaki Földtudományi Közlemények 86(3), pp. 18-26.
82. **Lénárt, L. (2019):** *A BKÉR adatok rendszerezése.* Kézirat.
83. **Lénárt, L. (2022):** *A 30 éves bükki karsztvízszint észlelő rendszer (BKÉR) leghosszabb adatsorai által dokumentált változások, a változások okai 1992-2021 között. Felszín alatti vizek - láthatóvá tenni a láthatatlant. Az MHT Borsodi Területi Szervezetének 2022. évi Víz Világnapi Ünnepi Kiadványa,* pp. 41-52.
84. **Lénárt, L., Darabos, E. (2012):** *A bükki karsztvízkészletek meghatározási problémái.* Elektronikus Műszaki Füzetek, Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen., pp.231-240.
85. **Lénárt, L., Szegediné Darabos, E., Hernádi, B. (2012):** *A bükki hidegkarszt és a Bükk-térségi termálkarszt kapcsolatrendszere kutatási eredményeinek összefoglalása.* A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXIII. Országos Vándorgyűlés, Szombathely.  
([http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/33/dolgozatok/word/0706\\_lenart\\_laszlo.pdf](http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/33/dolgozatok/word/0706_lenart_laszlo.pdf), (Letöltés időpontja: 2022. 01 22.)
86. **Lénárt, L., Szabó, A., Szacsuri, G. (2002):** *A bükki karsztvízszint alakulása 1992-2001 között.* In: L. Lénárt [szerk.]: *Karsztvízkutatás Magyarországon II. A bükki karsztvízkutatás legújabb eredményei.* Miskolc, Miskolci Egyetem, pp. 36-62.

87. **Lenkey, L., Dövényi, P., Horváth F., Cloetingh, S. (2002):** *Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics*. EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3, pp. 29-40.
88. **Less, Gy. (1991):** *A Bükk-hegység felső-oligocén nagyforaminiferái*. Budapest, MÁFI Évi Jelentése, 1989.
89. **Less, Gy. (2011):** *Magyarország földtana*. [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033\\_SCORM\\_MFFTT600231/sco\\_08\\_05.htm](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFFTT600231/sco_08_05.htm) (Letöltés dátuma: 2021.01.07): Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar.
90. **Less, Gy. (2021):** A Bükk-hegység rétegtana és szerkezete. Kézirat.
91. **Lexa, J., Bezák, V., Elecko, M., Mello, J., Polák, M., Potfaj, M., Vozár, J. (2000):** *Geological Map of Western Carpatians and adjacent areas. M = 1:500.000.*. Bratislava, Geological Survey of Slovak Republic.
92. **Mádlné Szőnyi, J., Czauner, B., Simon, Sz., Erőss, A., Zsemle, F., Pulay, E., Havril, T. (2013):** *Hidrogeológia*. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem.
93. **Mádi-Szőnyi, J., Erőss, A., Tóth, Á. (2017):** *Fluid Flow Systems and Hypogene Karst of the Transdanubian Range, Hungary—With Special Emphasis on Buda Thermal Karst*. In: Klimchouk, A.B., Palmer, A. N., De Waele, J., Auler, A. S., Audra, P. [szerk.]: *Hypogene karst regions and caves of the world*. Cham, Springer, pp. 267-278.
94. **Magyar Állami Földtani Intézet (2005):** *Magyarország Földtani Térképe, L-34-5 térképlap*, [szerkesztette: Rónai, A. (1973), Pelikán, P., Pentelényi, L. (2001)].
95. **Mangin, A. (1971):** Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle. *Annales de spéléologie* 28(1), pp. 21-40.
96. **Mangin, A. (1981):** *Utilisation des analyses corrélatrice et spectrale dans l'approche des*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences III(293)*, pp. 401-404.
97. **Mangin, A. (1982):** L'approche systémique du karst, conséquences conceptuelles et. Larra: Proc. Réunion Monographica sobre el karst.
98. **Mangin, A. (1984a):** Pour une meilleure connaissance des systemes hydrologiques a partir des analyses corrélatrice et spectrale. *Journal of Hydrology* 67, pp. 25-43.
99. **Mangin, A. (1984b):** *Ecoulement en milieu karstique*. *Annales des Mines*, May-June, pp. 1-8.
100. **mbfsz.gov.hu (2021):** *Országos Geotermikus Rendszer*. <https://map.mbfsz.gov.hu/ogre/>: Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat.

- 101. McIntosh, R. W. (2014):** *A Bükkium morfolitekonikája*. Debreceni Egyetem. PhD értekezés.
- 102. McIntosh, R. W., Kozák, M. (2017):** A Bükk hegység természeti értékegyüttesét létrehozó geodinamikai események modelljének morfolitekonikai elemzése az ÉNy-i peremen. *Calandrella* 20, pp. 11-33.
- 103. McIntosh, R. W., Kozák, M., Plásztán, J. (2011):** Geológiai értékek a leszálló és termokarszt területek morfolitekonikai összehasonlítása tükrében. *Calandrella* 14, pp. 22-33.
- 104. Miklós, G. (1987):** Az alsótelekesi gipsz- és anhidritelőfordulás ásvány-kőzettani, földtani-teleptani és hegység szerkezeti vizsgálata. Miskolc, Nehézipari Műszaki Egyetem. Doktori értekezés.
- 105. Miklós, R., Lénárt, L., Darabos, E., Kovács, A., Pelczéder, Á., Szabó, N. P., Szűcs, P. (2020):** Karst water resources and their complex utilization in the Bükk Mountains, northeast Hungary: an assessment from a regional hydrogeological perspective. *Hydrogeology Journal* 28, pp. 2159-2172.
- 106. Miklós, R., Prohászka, A., Lénárt, L. (2019):** *Vízföldtani és geotermikus szelvény a bükki termálkarsztról*. XV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, Ábel Kiadó.
- 107. MSZ 448-11:1986.** Ivóvízvizsgálat. Lúgosság meghatározása titrálással, a hidrogén-karbonátion-, a karbonátion- és a hidroxilion-tartalom kiszámítása.
- 108. MSZ 448-15:1982.** Ivóvízvizsgálat. Kloridion meghatározása.
- 109. Németh, Á., Szegediné Darabos, E., Lénárt, L. (2011):** A Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer által szolgáltatott adatokon végzett vízminőségi monitoring bemutatása és statisztikai módszerek alkalmazása. *Multidiszciplináris tudományok* 1(1), pp. 299-306.
- 110. OVF-VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete (2000):** Magyarország forrásainak katasztere V./1. kötet (Bükk hegység, Sajó-Bódva-köz, Cserehát). Budapest.
- 111. Padilla, A., Pulido-Bosch A. (1995):** Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology* 168, pp. 73-89.
- 112. Pantó, G. (1951):** Az eruptívumok földtani helyzete Diósgyőr és Bükk-szentkereszt között. *Földtani Közlöny* 81(4-6), pp. 137-145.
- 113. Pelikán, P. [szerk.] (2005):** A Bükk hegység földtana - Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50000). Budapest, Magyar Állami és Földtani Intézet.
- 114. Pethő, G., Vass, P. (2011):** *Geofizika alapjai 4*. Miskolc, Jegyzet.

- 115. Petrik, A., Beke, B., Fodor, L., Lukács, R. (2016):** Cenozoic structural evolution of the southwestern Bükk Mts. and the southern part of the Darnó Deformation Belt (NE Hungary). *Geologica Carpathica* 67(1), pp. 83-104.
- 116. Pulido-Bosch, A., Padilla, A., Dimitrov, D., Machkova, M. (1995):** *The discharge variability of some karst springs in Bulgaria by time series analysis.* Hydrological Sciences, pp. 517-532.
- 117. Royden, L., Horváth, F., Nagymarosy, A., Stegena, L. (1983):** *Evolution of the Pannonian Basin System 2. Subsidence and Thermal History.* *Tectonics* 2(1), pp. 91-137.
- 118. Sásdi, L. (2002):** *Vízrajzi, vízföldtani viszonyok.* In: C. Baráz [szerk.]: *A Bükki Nemzeti Park.* Eger, Bükki Nemzeti Park Igazgatóság.
- 119. Schmidt, R. E. (1962):** *Magyarország Vízföldtani Atlasza.* Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- 120. Schmieder, A., Böcker, T., Szilágyi, G. (1976):** *A Bükk hegység általános hidrogeológiai.* Budapest, MTA Földrajztudományi Kutató.
- 121. Schréter, Z. (1943):** *A Bükk hegység geológiája.* Budapest, Beszámoló a M. Kir. Földtani Intézet vitaüléseinek munkálatairól, B.5, 7.
- 122. Schréter, Z. (1954):** *A Bükk hegység régi tömegének földtani és vízföldtani viszonyai.* *Hidrológiai Közlöny* 34 (7-8), pp. 287-294.
- 123. stratigraphy.org (2021):** <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2020-03.pdf> (Letöltés időpontja: 2021.01.03).
- 124. Szabó, J. [szerk.] (2013):** *Általános természetföldrajz I.* Budapest, ELTE Eötvös Kiadó.
- 125. Szentpétery, Z. (1923):** *Diósgyőr és Szarvaskővidéke paleo- és mezozoikumainak földtani viszonyai.* A magyar királyi Földtani Intézet Évi Jelentései 1917-1919-ről.
- 126. Szentpétery, Z. (1953):** *A Déli Bükkhegység diabáz és gabbrótömege (Le massif de diabase et de gabbro de la partie méridionale de la Montagne Bükk).* Budapest, A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve 41 (1).
- 127. Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Mádl-Szőnyi, J., (2019):** *Numerical investigation of the combined effect of forced and free thermal convection in synthetic groundwater basins.* *Journal of Hydrology*, 572. kötet, pp. 364-379.
- 128. Szilágyi, G., Böcker, T., Schmieder, A. (1980):** *A Bükk hegység regionális hidrodinamikai képe és karsztvízforgalma.* *Hidrológiai Közlöny* 60(2), pp. 50-55.
- 129. Szlabóczky, P. (1974):** *Karsztvíz tározó rendszer termohidraulikai vizsgálata Miskolc környéki adatok alapján.* *Hidrológiai Közlöny* 54(11), pp. 516-523.

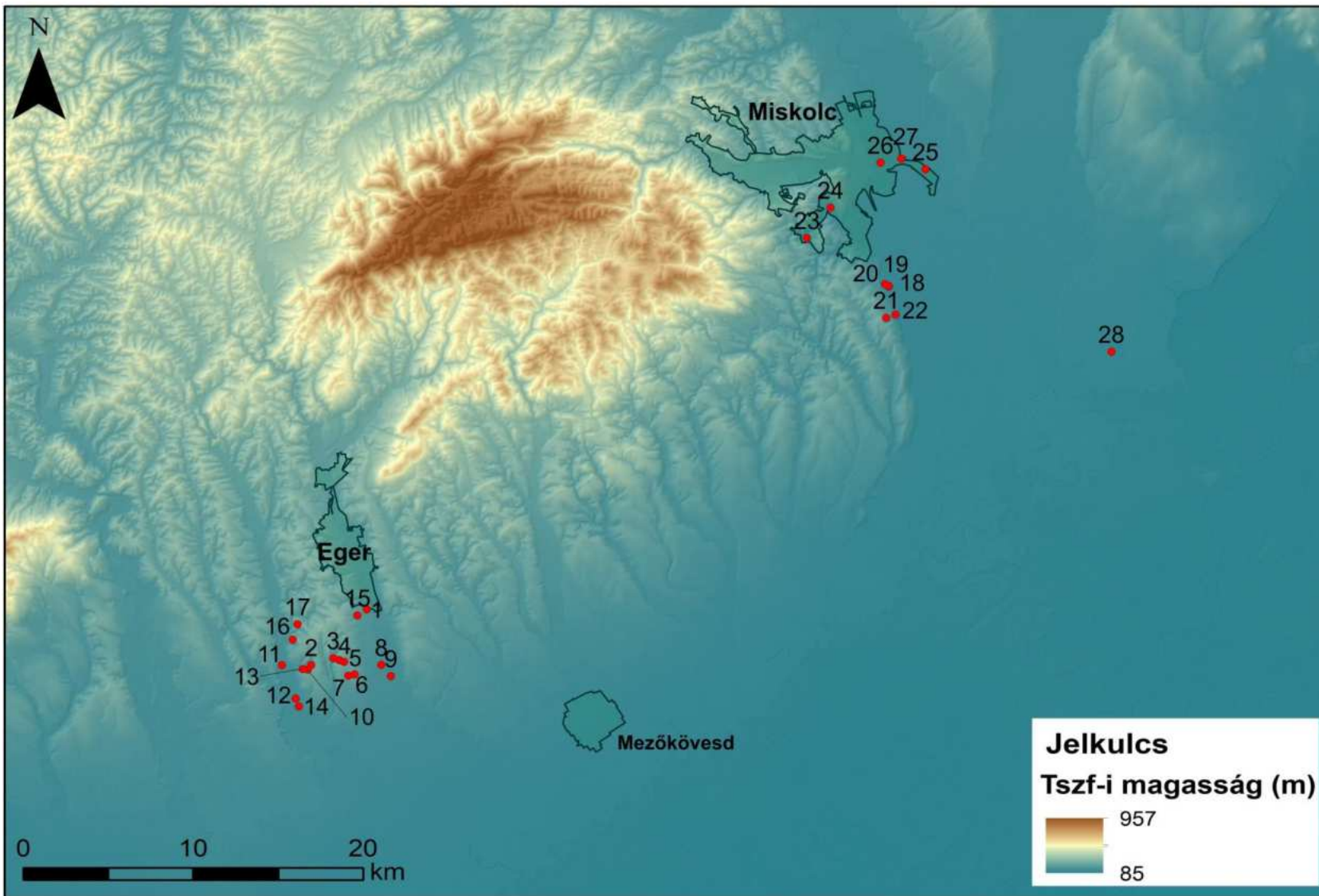


- 130. Szoldán, Z. (1990):** Middle Triassic magmatic sequences from different tectonic settings in the Bükk Mts (NE Hungary). *Acta Mineralogica-Petrographica* 31. kötet, pp. 25-42.
- 131. Sztrákos, K. (1973):** *Foraminifera fáciesek az Eger-Demjén környéki paleogénben.* *Földtani Közlöny* 103, pp. 156-165.
- 132. Tóth, G. (1976):** *A központi Bükk karsztvíztérképe.* *Hidrológiai Közlöny* 1976/10, pp. 444-450.
- 133. Turai A. (2005):** *Spektrális adat- és információfeldolgozás.* Egyetemi jegyzet. Miskolci Egyetem.
- 134. UNECE (2016):** Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources. [https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC2009\\_publicom.geoth.2016/Geothermal.Specs\\_for.public.comment.pdf?fbclid=IwAR2r7mpS4BgDw0hill9EBE5VCaFiH3EsONzZ5IHCvzEeY6LNRjp1MrplQNw](https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC2009_publicom.geoth.2016/Geothermal.Specs_for.public.comment.pdf?fbclid=IwAR2r7mpS4BgDw0hill9EBE5VCaFiH3EsONzZ5IHCvzEeY6LNRjp1MrplQNw) (Letöltés dátuma: 2021.02.17) United Nations Economic Commission for Europe, Expert Group on Resource Classification.
- 135. Veress, M. (2004):** *A karszt.* Szombathely, Berzsényi Dániel Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék.
- 136. VGT 2 (2015):** *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 2.* Budapest.
- 137. Vincze, L., Kozák, M., Kovács-Pálffy, P., Papp, I., Püspöki, Z. (2005):** *Origin of red clays around Miskolc (North Hungary).* *Acta Mineralogica-Petrographica* 46, pp. 15-27.
- 138. Vízföldtani napló (1877):** *K-3, Köröm.* Budapest, VITUKI.
- 139. Vízföldtani napló (1953):** *B-10, Miskolc.* Miskolc, OFKFV.
- 140. Vízföldtani napló (1963):** *B-69, Miskolc.* Debrecen, OVF. Vízkutató és Fúró Vállalat.
- 141. Vízföldtani napló (1969):** *Zsóry fürdő III. sz. kút, Mezőkövesd.* Miskolc, Országos Földtani Kutató- és Fúró Vállalat.
- 142. Vízföldtani napló (1973):** *K-103, Miskolc.* Miskolc, OFKFV.
- 143. Vízföldtani napló (1986):** *B-109, Miskolc.* Budapest, VITUKI.
- 144. Vízföldtani napló (1987):** *De-42a, Egerszalók.* Budapest, VITUKI.
- 145. Vízföldtani napló (1988):** *K-117, Miskolc.* Budapest, VITUKI.
- 146. Vízföldtani napló (1990):** *B-72a, Miskolc.* Budapest, VITUKI.
- 147. Vízföldtani napló (2005):** *K-10, Demjén.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.

- 148. Vízföldtani napló (2008):** *K-11, Demjén.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 149. Vízföldtani napló (2008):** *K-15a, Eger.* Budapest, VITUKI.
- 150. Vízföldtani napló (2011):** *K-12, Demjén.* Budapest, VITUKI.
- 151. Vízföldtani napló (2011):** *MAL-PE-01, Mályi.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 152. Vízföldtani napló (2012):** *B-187, Miskolc.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 153. Vízföldtani napló (2012):** *MAL-PE-02.* Mályi. Budapest, VITUKI.
- 154. Vízföldtani napló (2013):** *K-13, Demjén.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 155. Vízföldtani napló (2013):** *KIS-PE-01, Kistokaj.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 156. Vízföldtani napló (2013):** *KIS-PE-02, Kistokaj.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 157. Vízföldtani napló (2014):** *De-42a tartalékkút, Egerszalók.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 158. Vízföldtani napló (2017):** *K-15, Demjén.* Budapest, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet.
- 159. Völgyesi, L. (2002):** *Geofizika.* Budapest, Műegyetem Kiadó.
- 160. Vrsaljko, D., Pavelic, D., Miknic, M., Brkic, M., Kovacic, M., Hecimovic, I., Hajek-Tadesse, V., Avanic, R., Kurtanjek, N. (2006):** *Middle Miocene (Upper Badenian/Sarmatian) Palaeoecology and Evolution of the Environments in the Area of Medvednica Mt. (North Croatia).* *Geologia Croatia* 59(1), pp. 51-63.
- 161. Wei, W. W. (1990):** *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods.* MA, Addison, Wesley.
- 162. Wygrala, B. P. (1989):** *Integrated study of an oil field in the southern Po basin, Northern Italy.* Ber. Kernforschungsanlage Jülich. PhD thesis.
- 163. Yüklér, M. A., Cornford, C., Welte, D. (1979):** *Simulation of geologic, hydrodynamic, and thermodynamic development of a sediment basin – A quantitative approach. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project.*

## **12. MELLÉKLETEK**

1. melléklet – A vizsgált területen modellezett kutak elhelyezkedése és azok alapparaméterei (12. táblázat) (szerző saját szerkesztése)



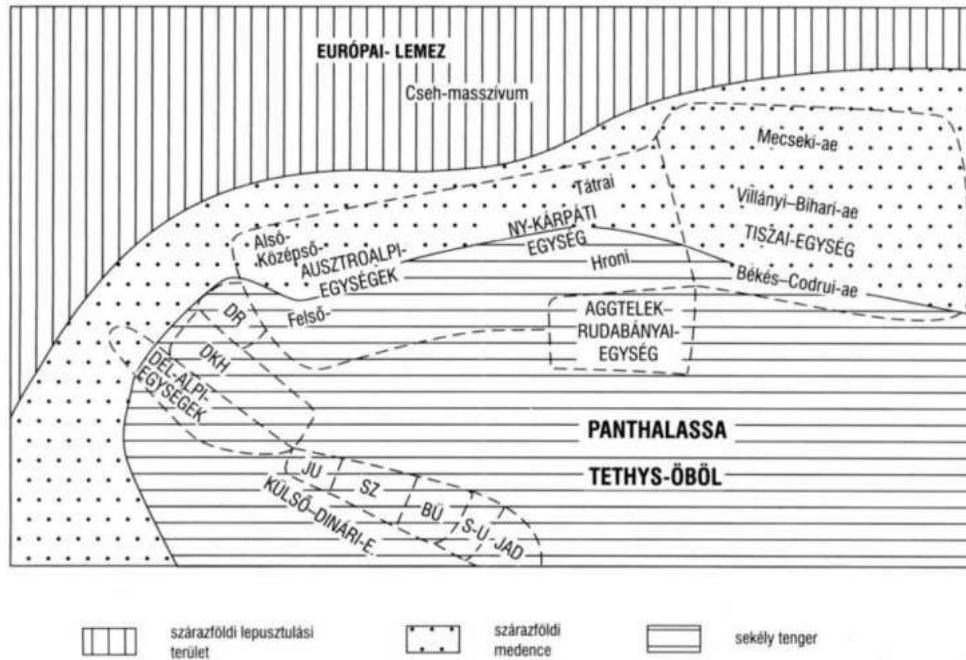
1. melléklet – A vizsgált területen modellezett kutak elhelyezkedése és azok alapparaméterei (12. táblázat) (szerző saját szerkesztése)

12. táblázat A modellezett kutak alapparaméterei

Térképi jel	Kút neve	Település	Vizsgálati terület	Talpmélység [m]	Mészkötető (eocén/triász) [m]
1	At-08	Eger	Egerszalók-Demjén	887	862
2	Dep-1	Demjén	Egerszalók-Demjén	783	685
3	Dep-21	Demjén	Egerszalók-Demjén	743	742
4	Dep-24	Demjén	Egerszalók-Demjén	980	960
5	DK-369	Demjén	Egerszalók-Demjén	1108	1085
6	DK-370	Andornaktálya	Egerszalók-Demjén	1335	1320
7	DK-392	Nagytálya	Egerszalók-Demjén	1251	1120
8	DK-402	Andornaktálya	Egerszalók-Demjén	1600	1583
9	DK-403	Nagytálya	Egerszalók-Demjén	1950	1920
10	K-10	Demjén	Egerszalók-Demjén	696,5	670
11	K-11	Demjén	Egerszalók-Demjén	951,6	845
12	K-12	Demjén	Egerszalók-Demjén	1515	1358,0
13	K-13	Demjén	Egerszalók-Demjén	758	7454
14	K-15	Demjén	Egerszalók-Demjén	1655	1564,5
15	K-15a	Andornaktálya	Egerszalók-Demjén	840	805
16	De-42a	Egerszalók	Egerszalók-Demjén	426	405
17	De-42a tart	Egerszalók	Egerszalók-Demjén	855,5	787,0
18	KIS-PE-01	Kistokaj	Miskolc	1744,2	1065
19	KIS-PE-01b	Kistokaj	Miskolc	1093	1062,5
20	KIS-PE-02	Kistokaj	Miskolc	1058	1047,5
21	MAL-PE-01	Mályi	Miskolc	2311	1795
22	MAL-PE-02	Mályi	Miskolc	1515	1395
23	K-103	Miskolc	Miskolc	343	258
24	B-187	Miskolc	Miskolc	310	296,8
25	K-117	Miskolc	Miskolc	453	399
26	B-69	Miskolc	Miskolc	600	574
27	B-109	Miskolc	Miskolc	466	413
28	K-3	Köröm	Miskolc	1880,8	1848,4

## 2. melléklet - A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triásztól

A perm-triász határon bekövetkezett tömeges kihalás nyomon követhető a bükki rétegsorokban. A tengeri élővilág nagy része kipusztult, de az üledékfelhalmozódás folytatódott. A perm-triász határon a Thetys gyors átmenettel kinyílt, oxigén ellátottsága is javult. A kora-triászra jellemző a sekélytengeri fácies (a. ábra), az erős átmozgatottságot ooidos mészkőképződés reprezentálja (Less, 2011; Pelikán, 2005).

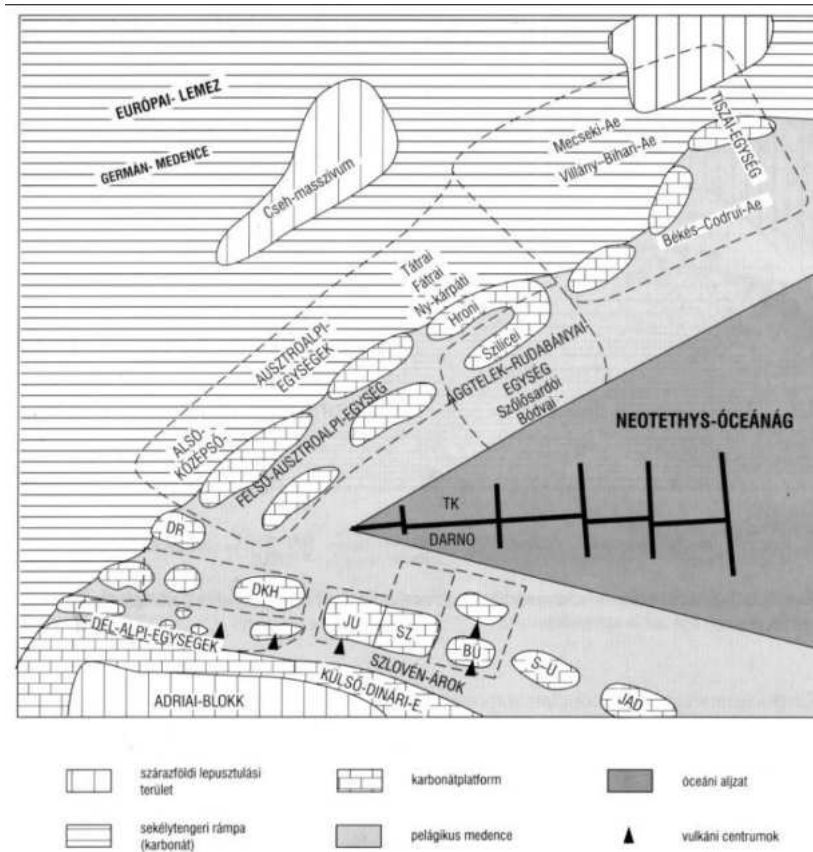


a. ábra A Bükki-egység (BÜ) helyzete a kora-triászban (Less, 2011)

A középső triász elején még sekélytengeri kőzetek keletkeztek, majd az anisus végén a terület részben szárazulattá vált, melyre andezites vulkanizmusból származó kőzetek települtek. A középső-triász második felében (b. ábra) a tenger újra elönti a területet, folytatódik a nyíltvízi, nagy vastagságú karbonátplatform képződése, melynek egyes részei blokkokra töredezve egyenlőtlen süllyedésbe kezdenek. A kialakult medencékben tűzköves mészkőképződés, a megmaradt sekély területeken pedig továbbra is nagy vastagságú, sekélyvízi mészkőképződés jellemző (Less, 2011; Pelikán, 2005).

A középső-késő triász határán a karbonátplatform feltöredezik és egyenlőtlen süllyedésbe kezd. A hegység északi felén a késő-triász közepéig folytatódik a karbonátplatform képződés, a déli területeken viszont mélyülő medencefácies alakul ki (c. ábra).

2. melléklet - A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triásztól



b. ábra A Bükki-egység (BÜ) helyzete a középső-triászban (Less, 2011)

A jura elejére a karbonátplatformok elsüllyednek, mindenütt mélytengeri fácies alakul ki. Mivel az üledékbehordási terület messze található, és a karbonátprodukciónak is nagyon alacsony, közel 30 millió éven keresztül nincs üledékképződés a területen. A továbbiakban a Pangea részeinek szétcsúszása következtében kialakult riftárokba nagy mennyiségű terrigén anyag zúdul be, valamint mélytengeri bazaltvulkanizmus játszódik le, mely összletek jelenleg a DNy-i Bükk területén találhatóak meg (Szarvaskő és környéke). A riftesedés megakadása után a kialakult medence feltöltődik a közeli kontinentális lejtőről származó üledékekkel, és megindul a medence bezáródása, de ezt a Bükk kőzetei már nem dokumentálják. (d. ábra) (Less, 2011; Pelikán, 2005).

A hegységben kréta, paleocén, kora- és középső-eocén üledékek gyakorlatilag nem ismertek. Még a jura vége előtt lezajlott egy valószínűleg aggtelek-bódvai típusú takaró áttolódása, mely azóta lepusztult. Erre az eseményre a hegységben több helyen középső-jura korú összletekbe csúszott, aggtelek-bódvai kifejlődésű olisztolit tömbök szolgálnak bizonyítékként (Less, 2021). A jura végétől a késői-eocénig eltelt időszakban a terület képződményei több km (4-6 km) mélységben metamorfizálódtak. Újbóli felszínre kerülésük csak a krétában kezdődhetett meg, és az eocén végére fejeződött be teljesen. A fent említett összletek metamorfózisának foka alapján feltételezhető, hogy ennek

## 2. melléklet - A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triásztól

kialakulásába a nagy vastagság miatt egyrészt tektonikusan áttolt takarók (aggtelek-bódvai típusú) is szerepet játszottak, másrészt a kora krétában nagy vastagságú szedimentek képződtek, melyeket a kutatók álláspontja szerint mélytengeri flis rétegek alkottak. A feltételezhetően néhány ezer méter összvastagságú összletek a kréta végén, valamint a kainozoikumi kiemelkedés során lepusztultak (Pelikán, 2005).

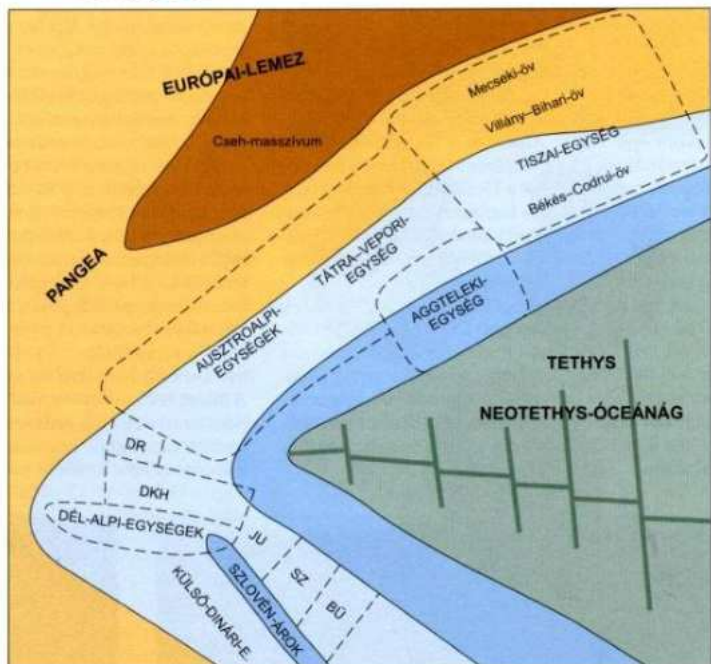
A Bükki-egység a kréta végén, paleogén elején csatlakozott az ALCAPA egységhez. A kainozoikumi kiemelkedés a késő eocén végéig tartott. Ezt az időszakot trópusi-szubtrópusi éghajlat jellemezte, az intenzív lepusztulás során néhány ezer méternyi üledék pusztulhatott le. A kora eocénban zajlott az első intenzív karsztosodás is (Less, 2011; Pelikán, 2005).

Az eocén végén transzgresszió történt, de a Paleogén-tenger nem öntötte el a hegység egész területét. Lassú süllyedés mellett, sekélytengeri környezetben ismét karbonátplatform képződött, mely sok esetben közvetlenül a triász korú mészkövekre települt.

Az oligocén elején a karbonátos üledékképződést pelites váltotta fel, mely három okra vezethető vissza. Egyrészt a bükki paleogén medence fokozatosan elszigetelődik a világóceántól, a klíma világszerte hűvösebbé vált, valamint a Bükk és környéke intenzívebben kezdett süllyedni, amit a lecsökkent karbonát-produktivitás már nem tudott kompenzálni. Az átmeneti szakaszban márgák képződtek, majd az elzárt, rosszul szellőzött medencékben agyagképződés volt jellemző (Tardi Agyag F.). Az oxigénellátottság javulásával ezt a Kiscelli Agyag váltotta fel. Az oligocén második felében részben megnyíltak a Paratethys Világóceán felé kivezető összeköttetései, részben újabb tengerelőntés kezdődött, amelynek következtében részben addig szárazon álló területek is víz alá kerültek. Az ekkor képződött Egri Formáció alján meszes réteg jelzi a tengerelőntést, de a formáció agyagrétegeibe egyre több kavics kerül, és végül ez az üledékgyűjtő medence is feltöltődik. Az oligocén legvégére a Bükk újra teljesen szárazra került (e. ábra) (Less, 2011; Less, 2021)

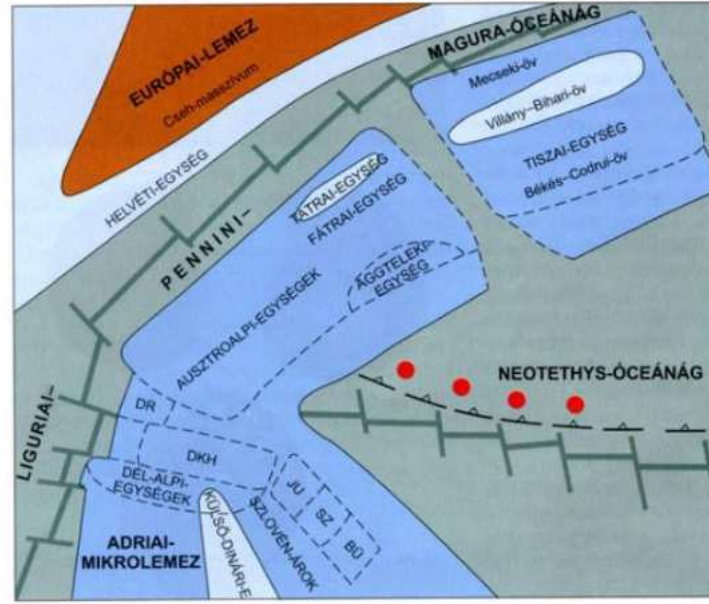


2. melléklet - A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triásztól



Rövidített egységnevek: BÜ – Bükki-egység; DKH – Dunántúli-középhegységi-egység; DR – Drauzug-egység; JU – Júliai-egység; SZ – Szávai-egység

c. ábra A Bükki-egység (BÜ) helyzete a késő-triászban (Less, 2011)



Rövidített egységnevek: BÜ – Bükki-egység; DKH – Dunántúli-középhegységi-egység; DR – Drauzug-egység; JU – Júliai-egység; SZ – Szávai-egység

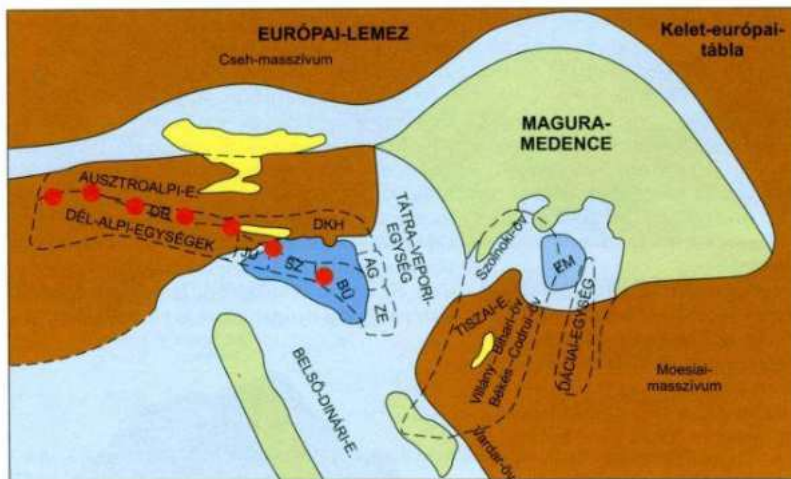
d. ábra A Bükki-egység (BÜ) helyzete a középső-jurában (Less, 2011)

## 2. melléklet - A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triáztól

Az oligocén legvégén kezdődött intenzív kiemelkedés a miocén elején kulminált. A hegység egyes részei, főként a Bükk-fennsík és vidéke környékéből is kiemelkedett. Ennek következtében a miocén elejétől megindult az erőteljes lepusztulás is. Az első, az egész hegységet beborító képződmény az első riolittufa szórás eredménye (Gyulakeszi Riolittufa), mely a déli területeken szárazföldre hullott, ahol a továbbiakban is szárazföldi körülmények uralkodtak. Ennek bizonyítéka, hogy tengeri közbetelepülés nélkül egymásra települtek az alsó, középső (Tari Dácittufa) és felső riolittufa (Galgavölgyi Riolittufa) képződményei. Ezzel szemben az északi területek lassú süllyedése következtében a tenger előrenyomult (f. ábra), ezután folyóvízi, mocsári környezetben tőzegképződés is zajlott.

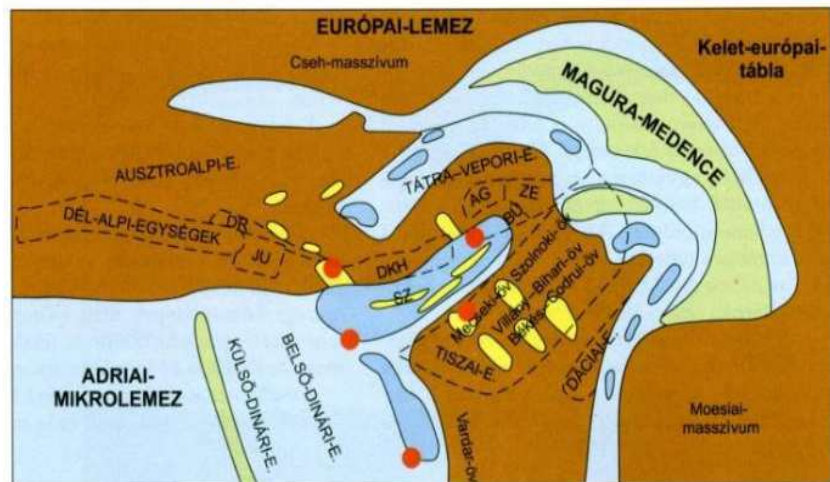
A miocén végén a mai Bükk erőteljes kiemelkedése zajlott, ennek következtében a lepusztulás termékei üledékként szolgáltak a hegységet körülvevő Pannon-beltó felé. A terrigén homokos-agyagos rétegekbe lignitcsíkok, lignitrétegek települtek. A Pannon-tó kiszáradásának következtében a regionális üledékképződés a Bükk környékén is megszűnt, ezután azt mindenütt lokális tényezők határozták meg (Less, 2011; Less, 2021; Pelikán, 2005).

2. melléklet - A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triásztól



- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Szárazföldi lepusztulási terület | Mélytengeri karbonátos üledékképződés |
| Szárazföldi medence              | Mélytengeri flisképződés              |
| Sekély tenger                    | Szárazföldi vulkánok                  |

Az oligocén során az Ausztralpi-, a Tátra-Vepori- és a Pelsői-egység kelet felé tolódása tovább folytatódott, és vitte magával a Tiszai-egységet a Dáciai-egységgel együtt, miközben a Magura-medence kiterjedése csökkent. Rövidített egységnevek: AG - Aggteleki-egység; BÜ - Büki-egység; DKH - Dunántúli-középhegységi-egység; DR - Drauzug-egység; EM - Erdélyi-medencei-egység; JU - Júliai-egység; SZ - Szávai-egység; ZE - Zempléni-egység



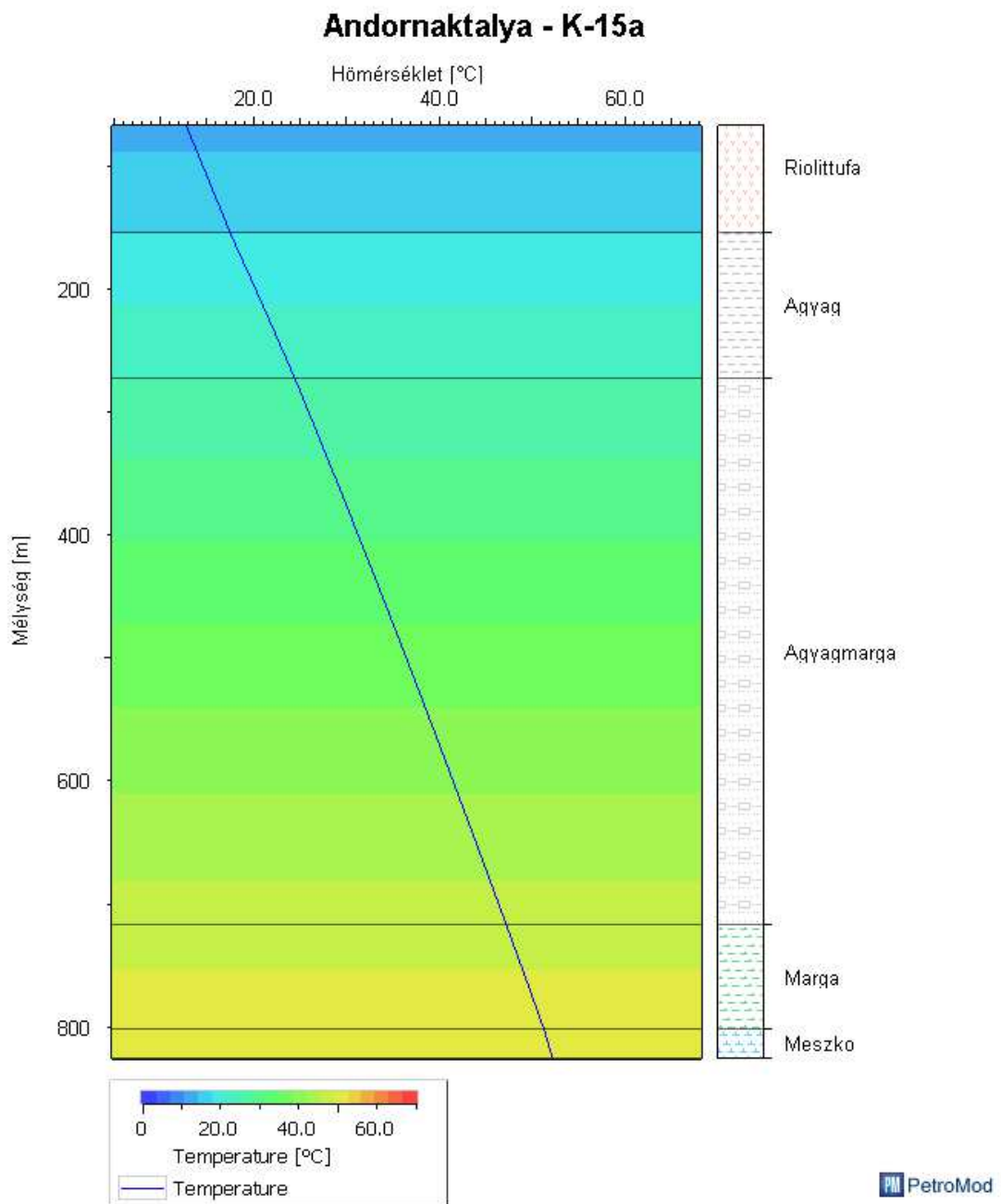
- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Szárazföldi lepusztulási terület | Mélytengeri karbonátos üledékképződés |
| Szárazföldi medence              | Mélytengeri flisképződés              |
| Sekély tenger                    | Szárazföldi vulkánok                  |

Az oligocén végén a kipréselődő blokkok mozgása felgyorsult, a kora-miocén idején pedig megközelítettek jelenlegi helyzetüket. Ennek megfelelően a Magura-medence kiterjedése jelentősen csökkent. Rövidített egységnevek: AG - Aggteleki-egység; BÜ - Büki-egység; DKH - Dunántúli-középhegységi-egység; DR - Drauzug-egység; JU - Júliai-egység; SZ - Szávai-egység; ZE - Zempléni-egység

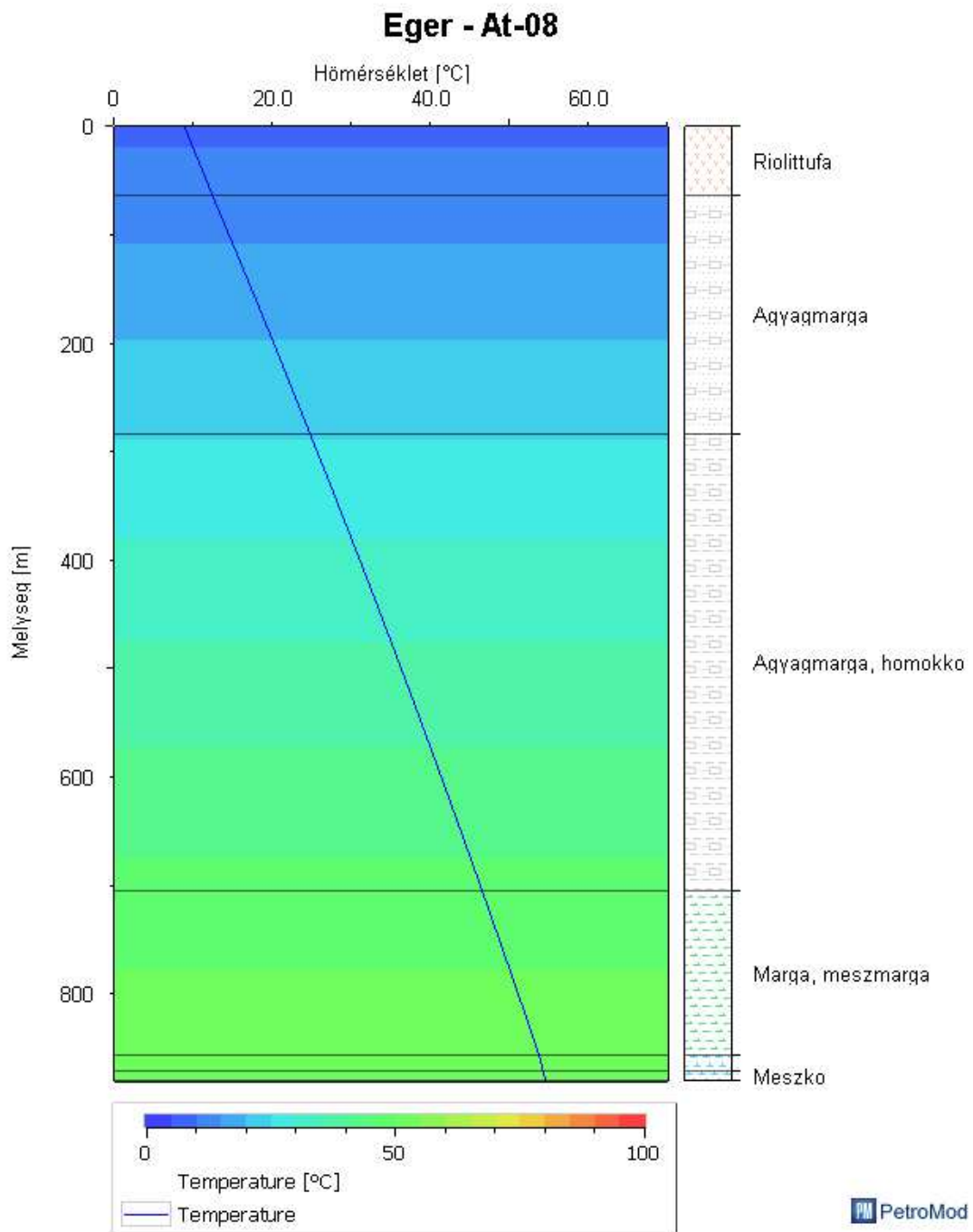
e. ábra A Büki-egység (BÜ) helyzete a késő-oligocénben (Less, 2011)

f. ábra A Büki-egység (BÜ) helyzete a kora-miocénben (Less, 2011)

3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

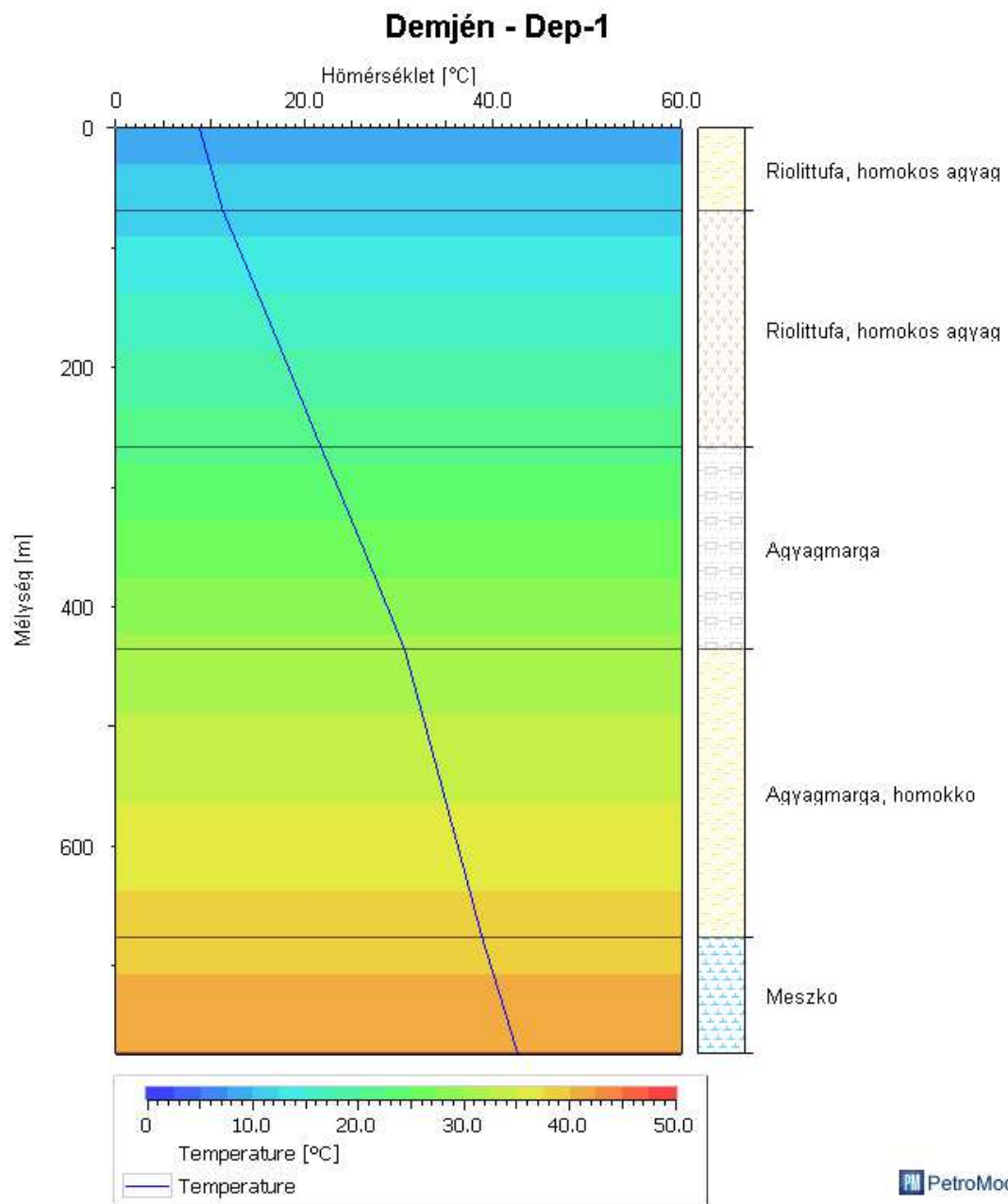


3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)

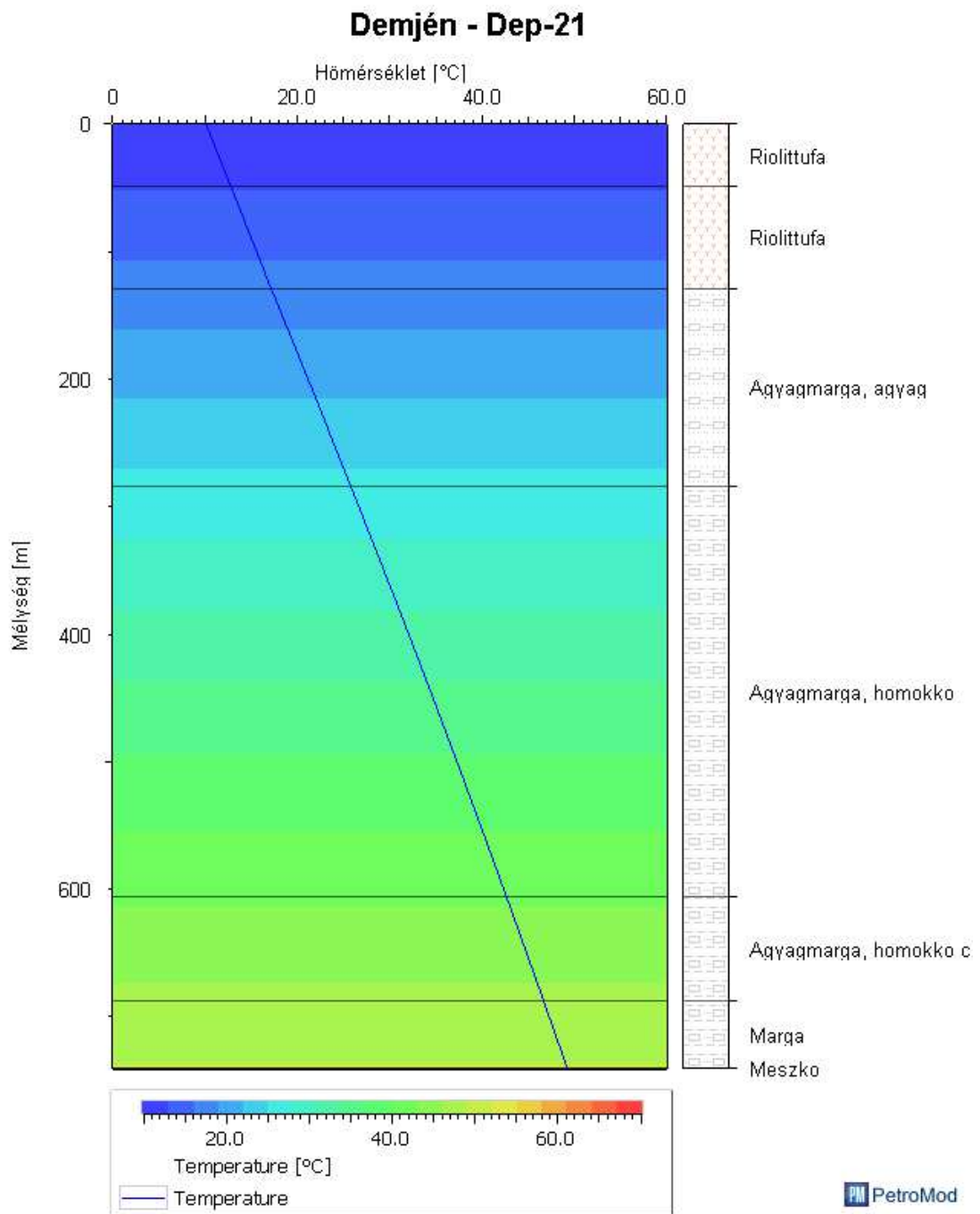




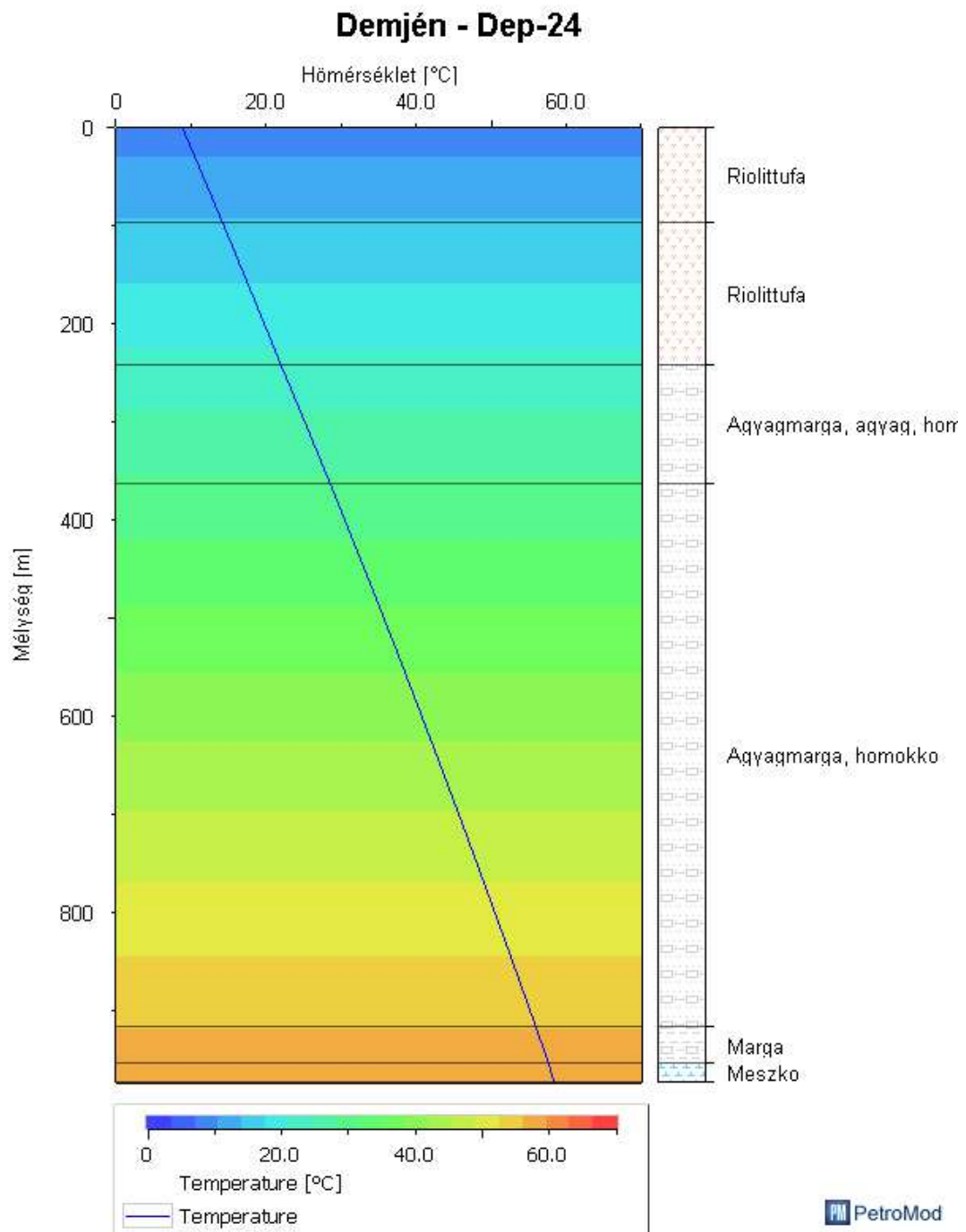
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

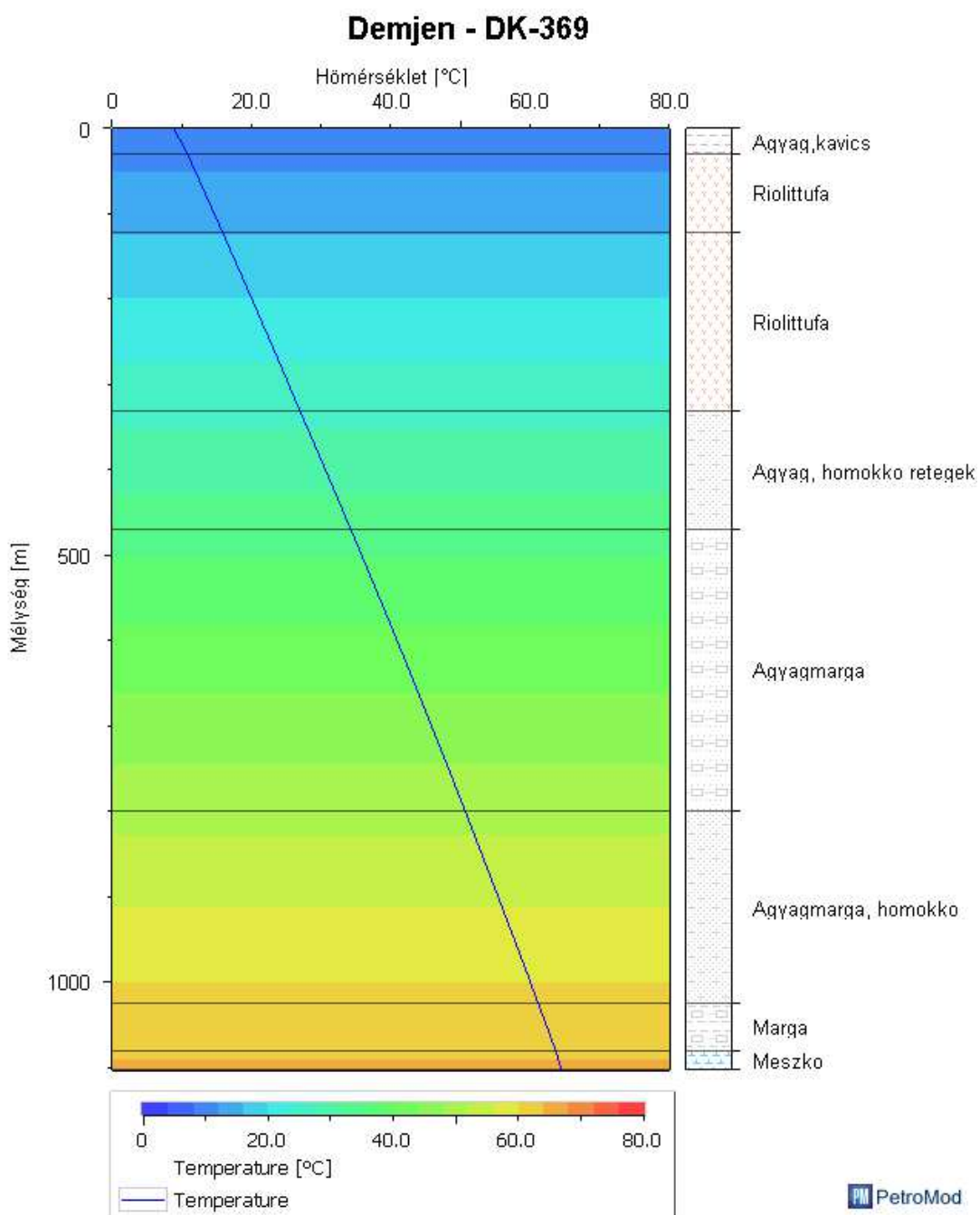


3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)

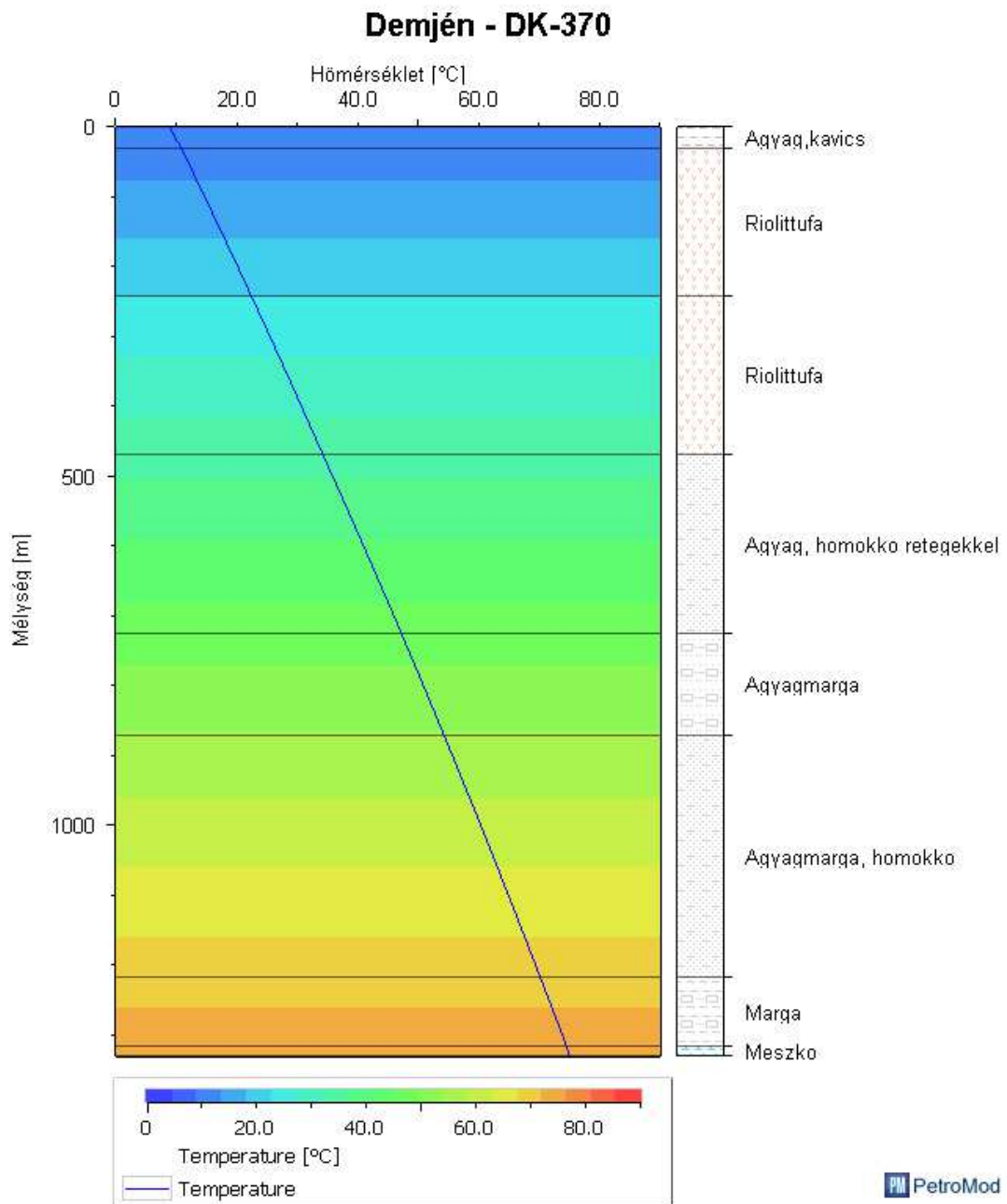




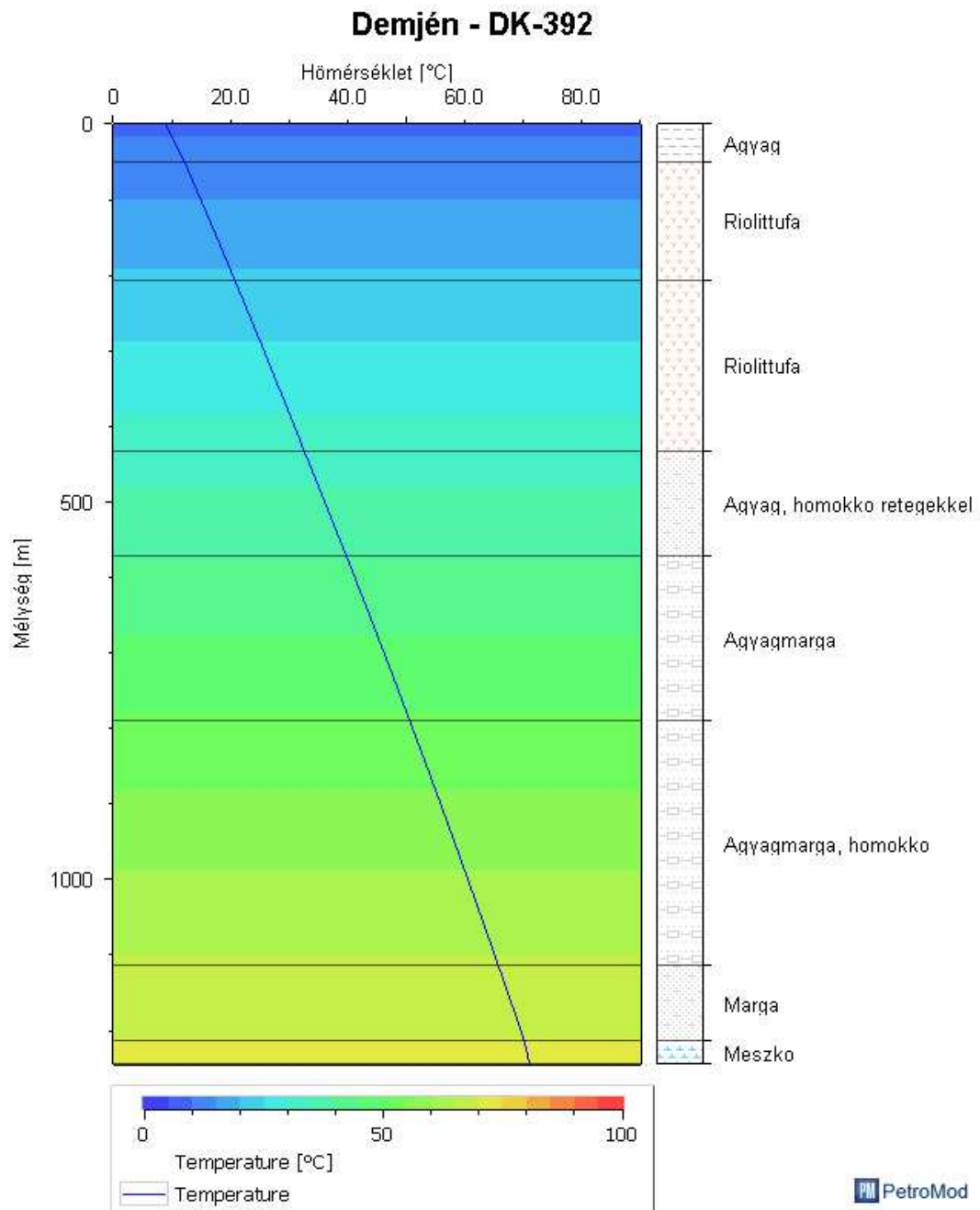
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



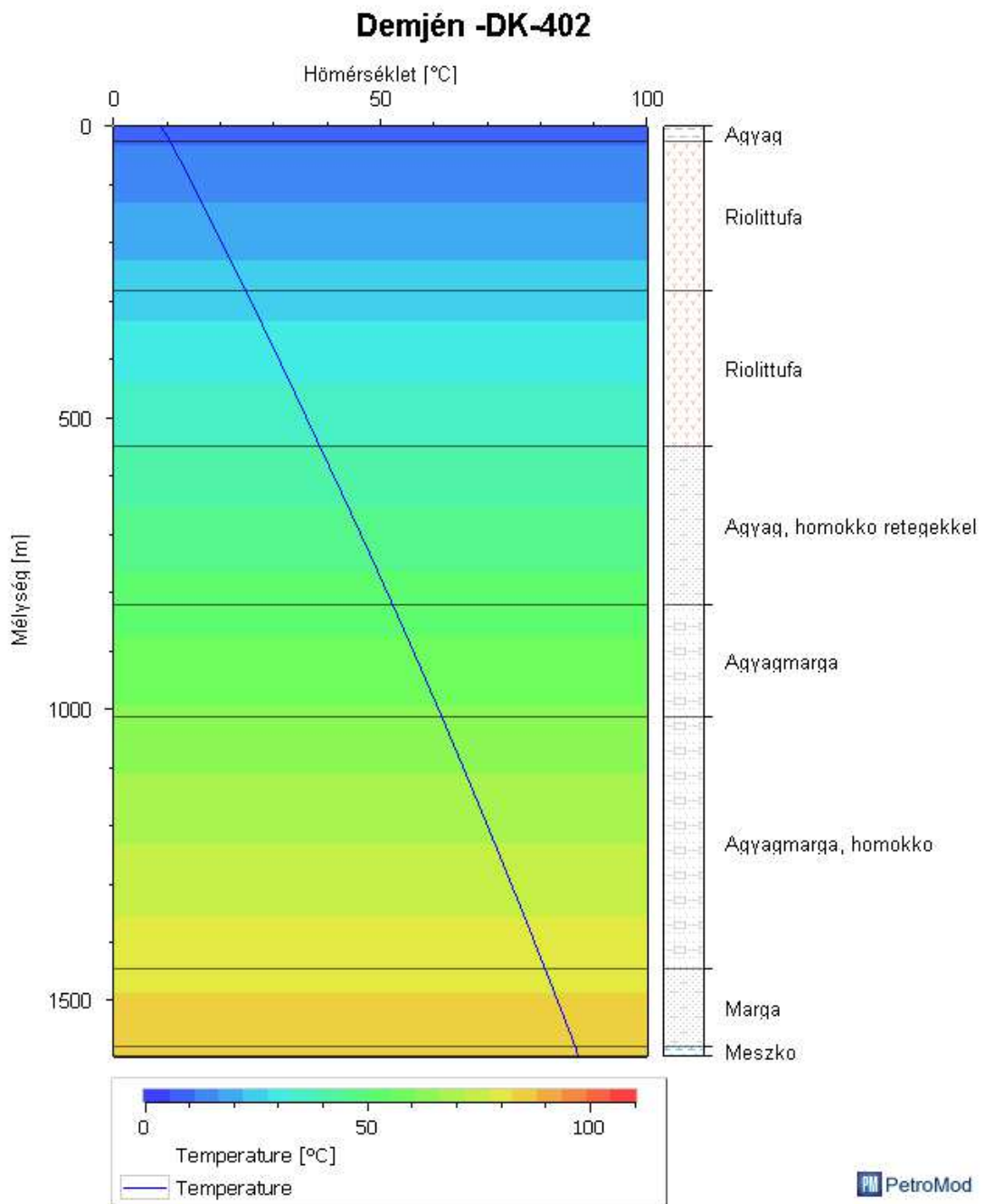
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



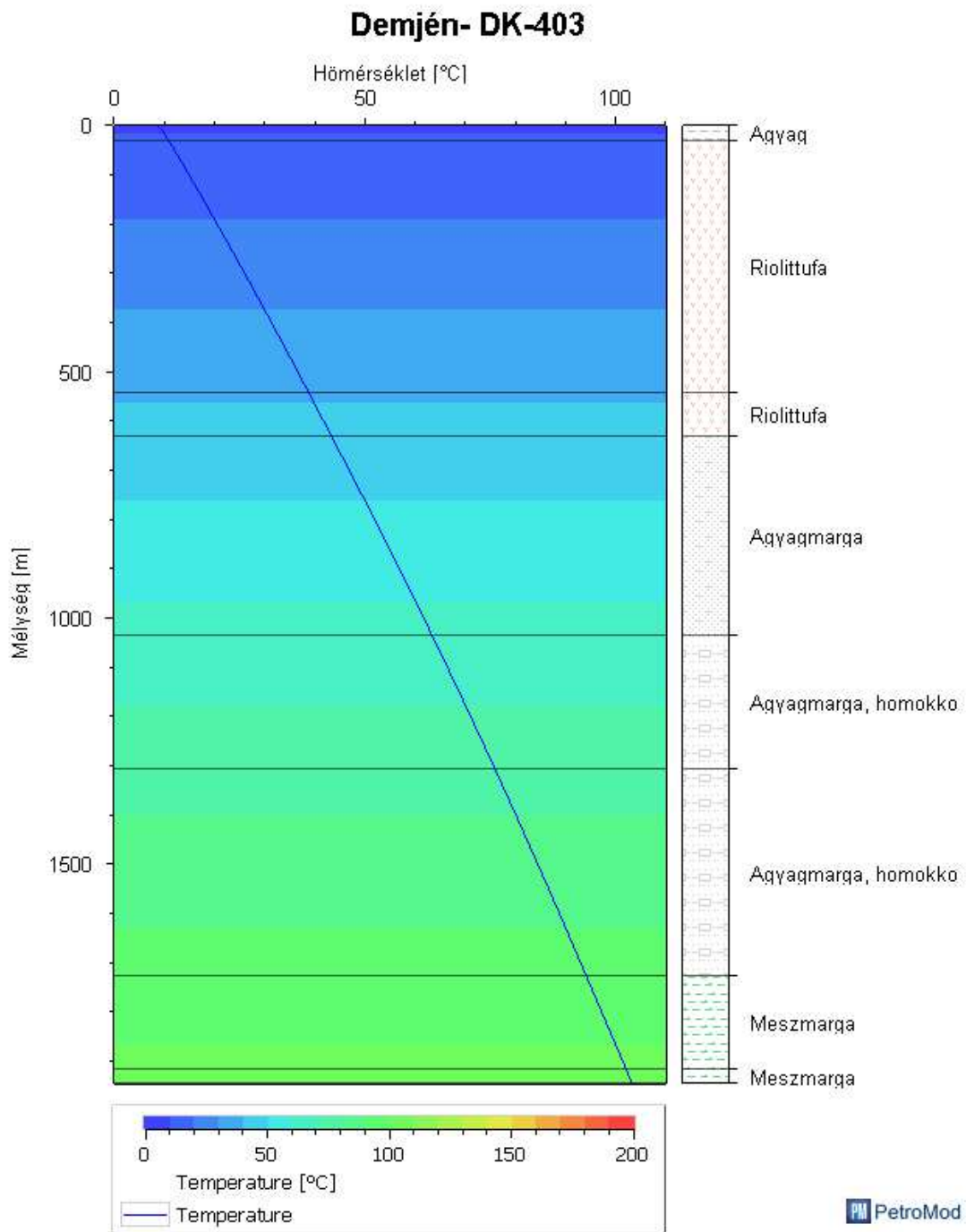
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



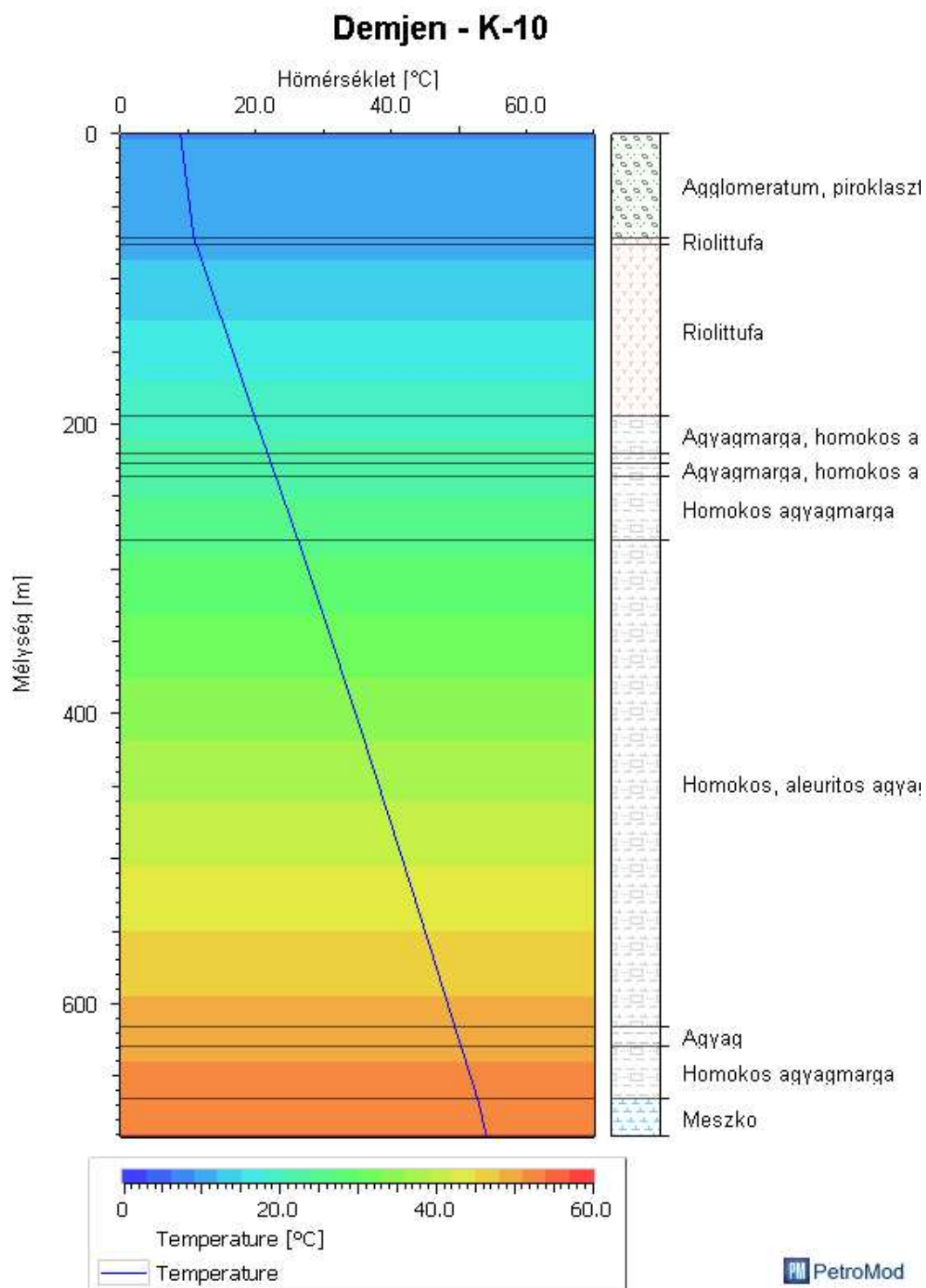
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



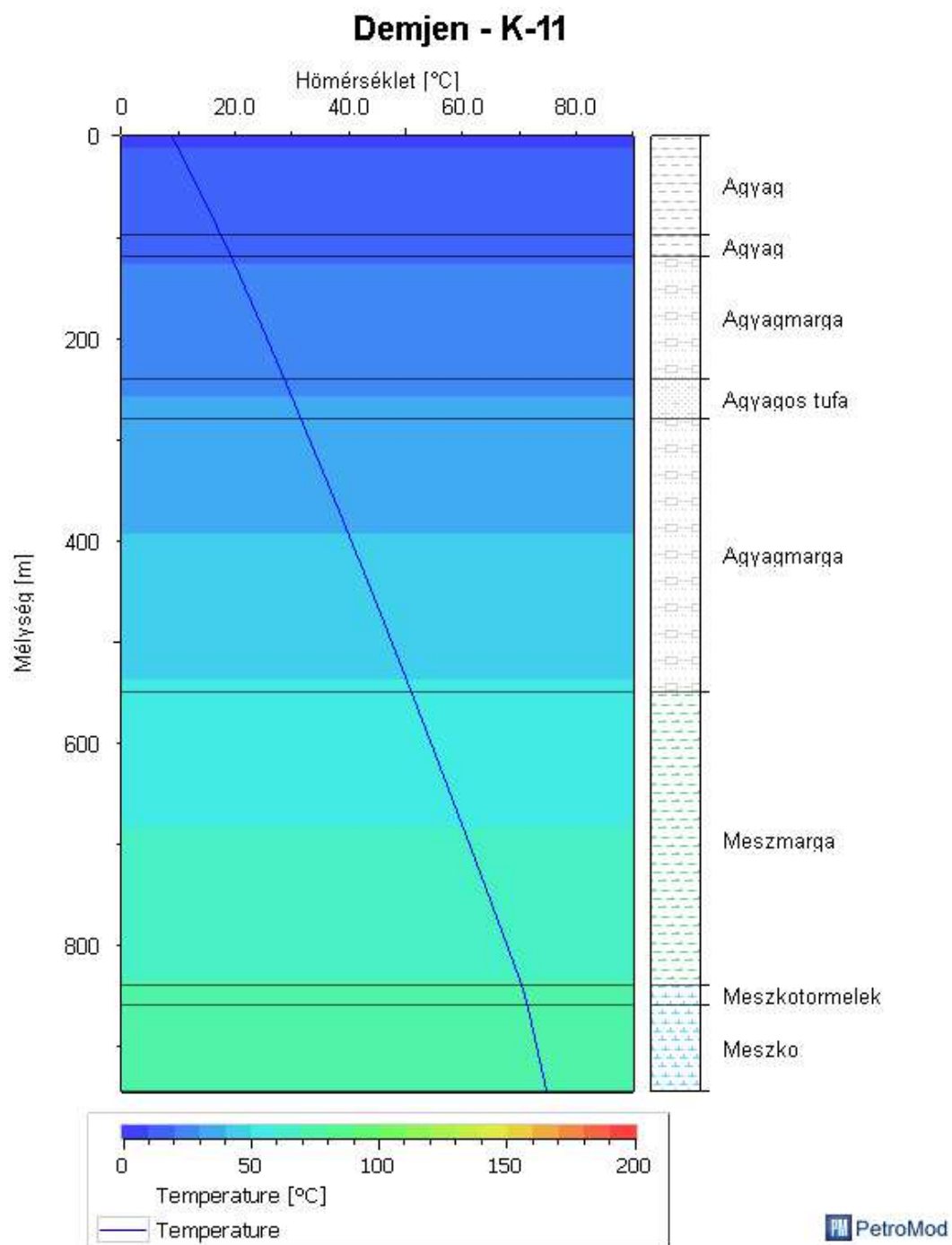
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



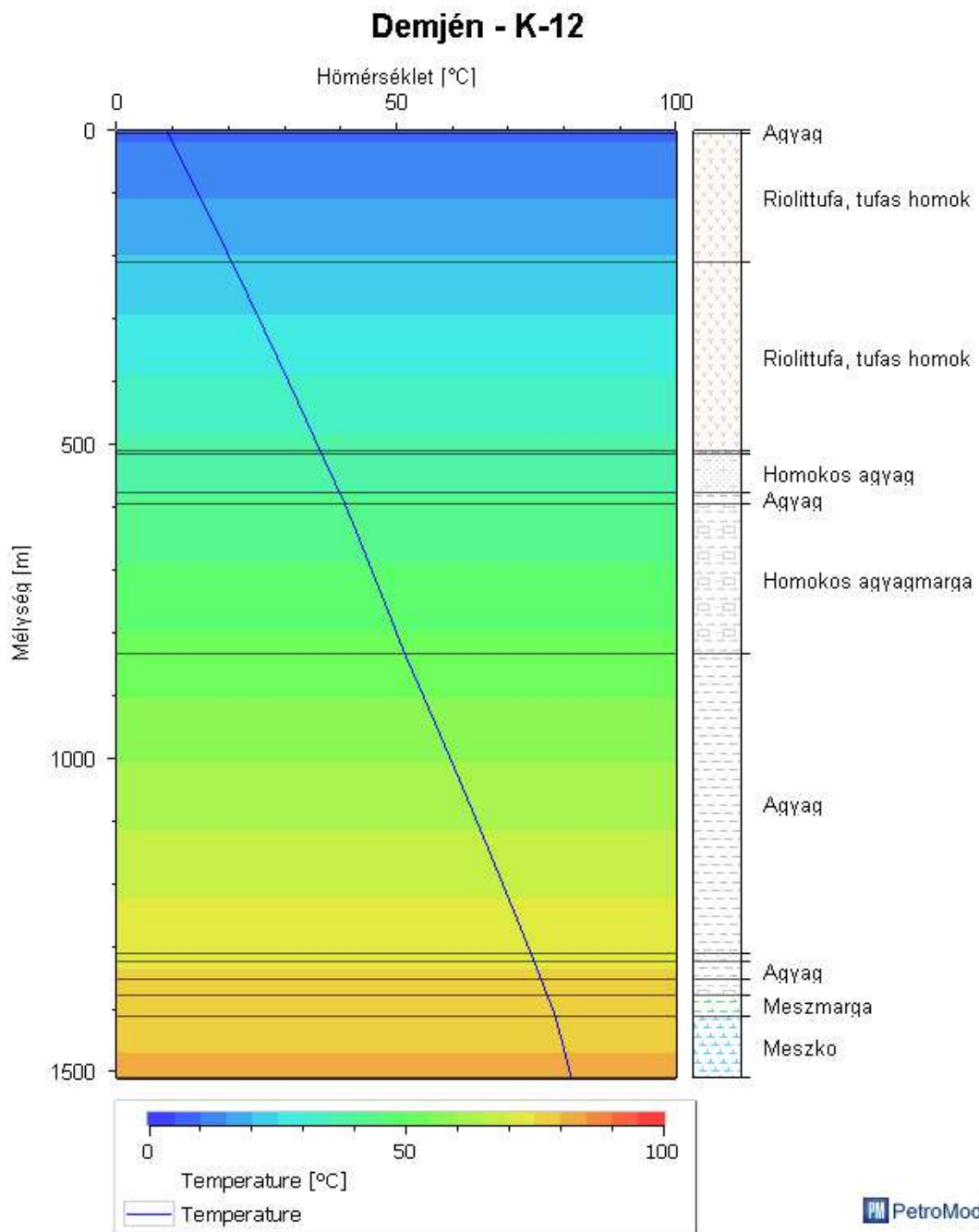
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

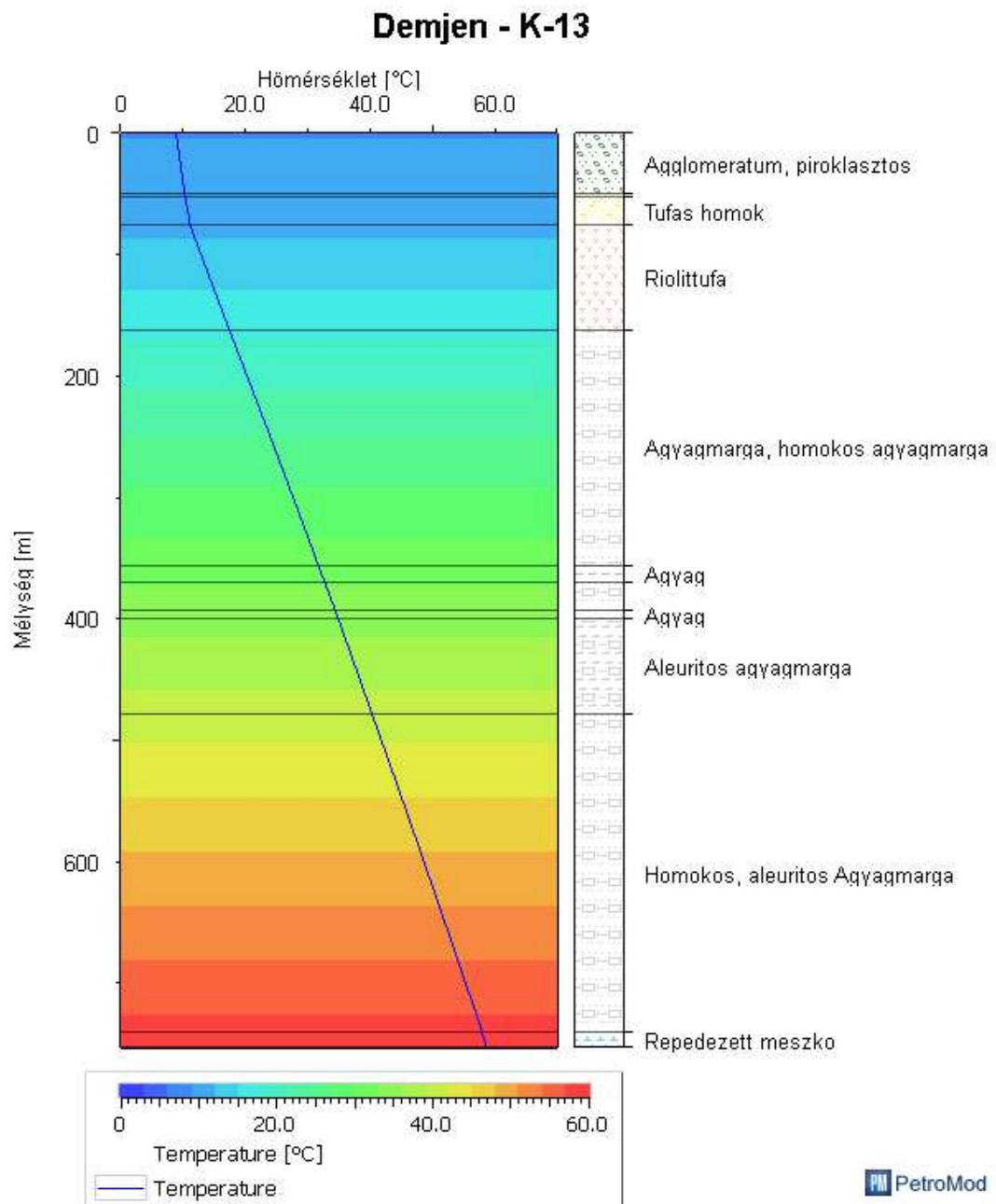


3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

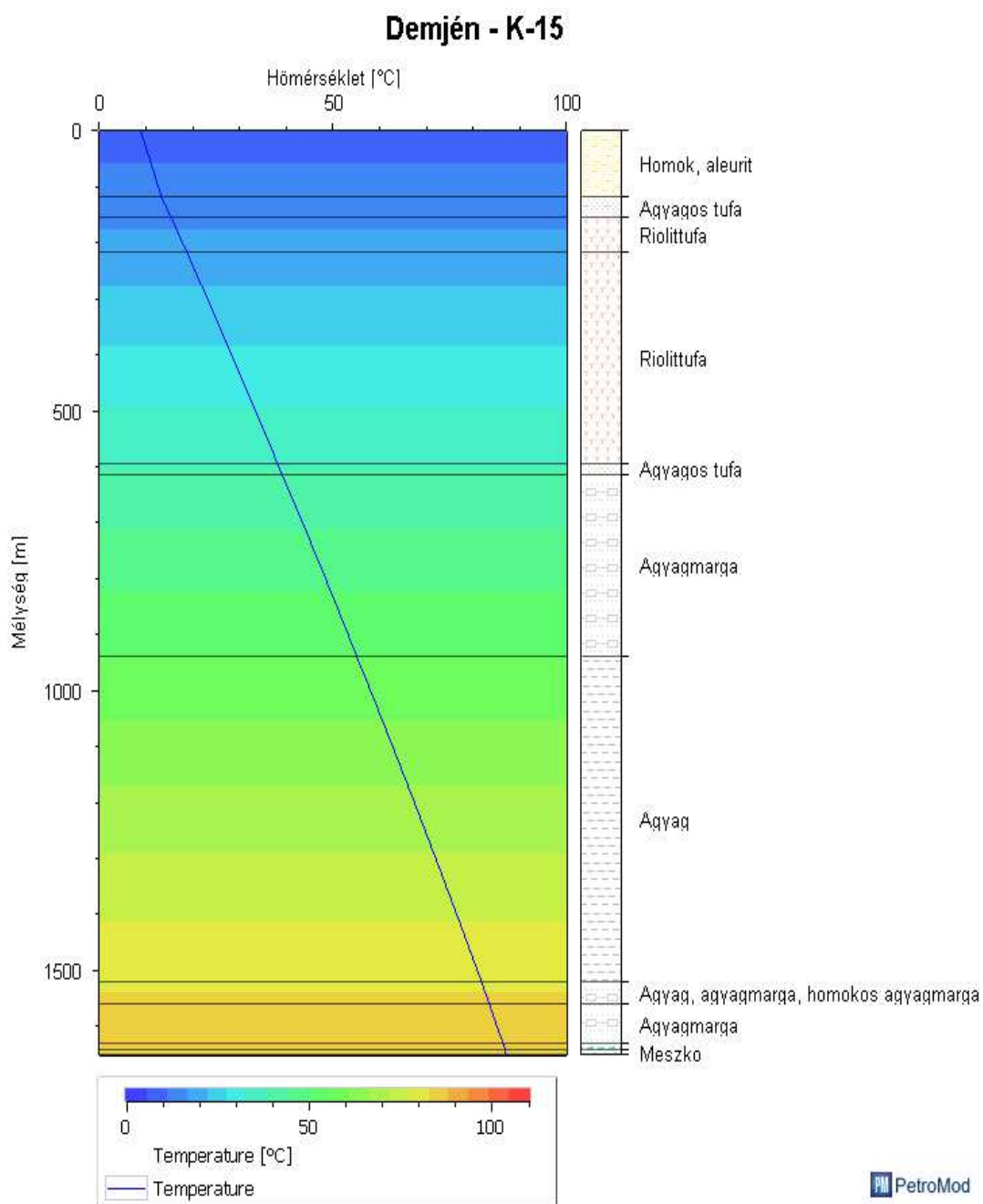




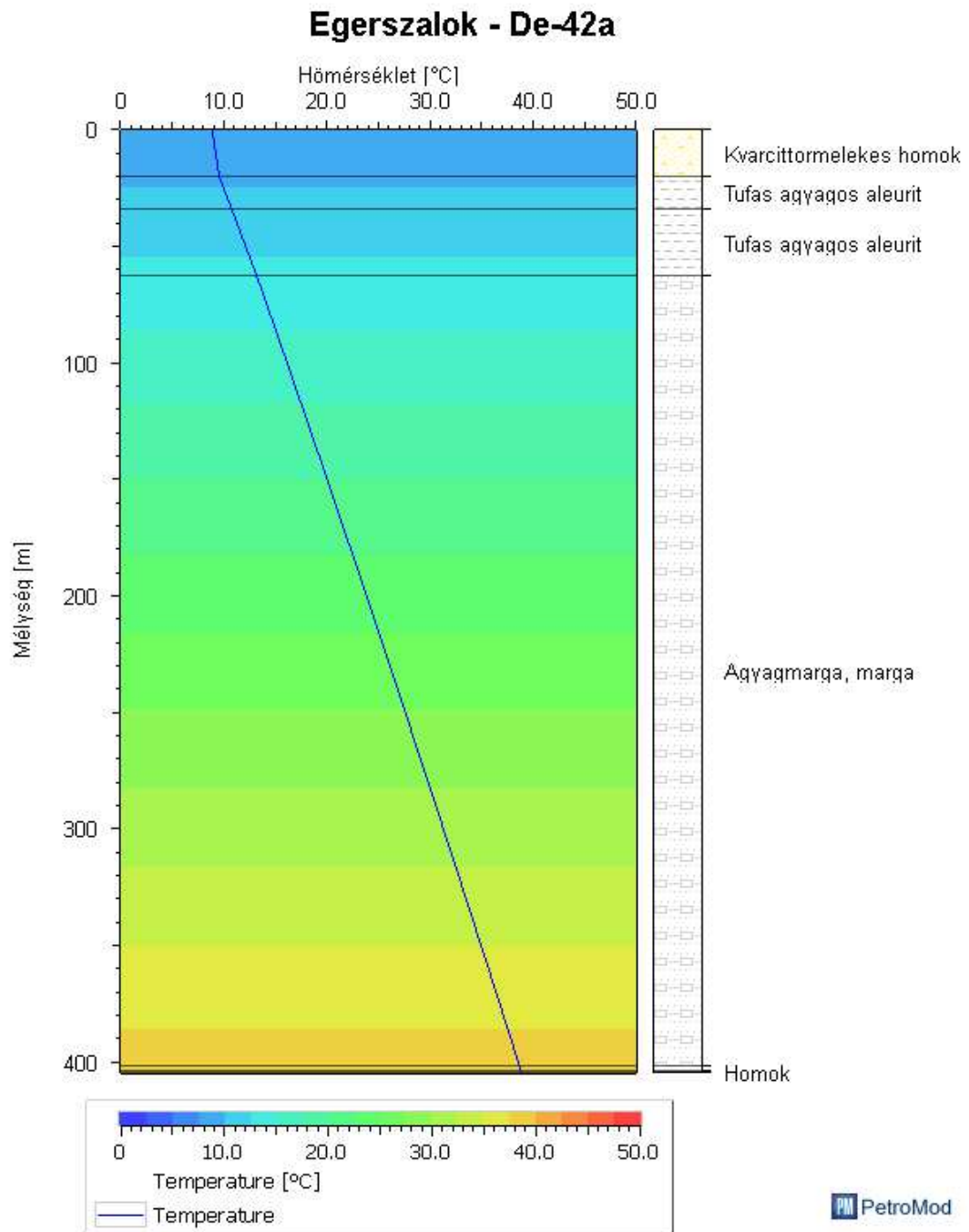
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



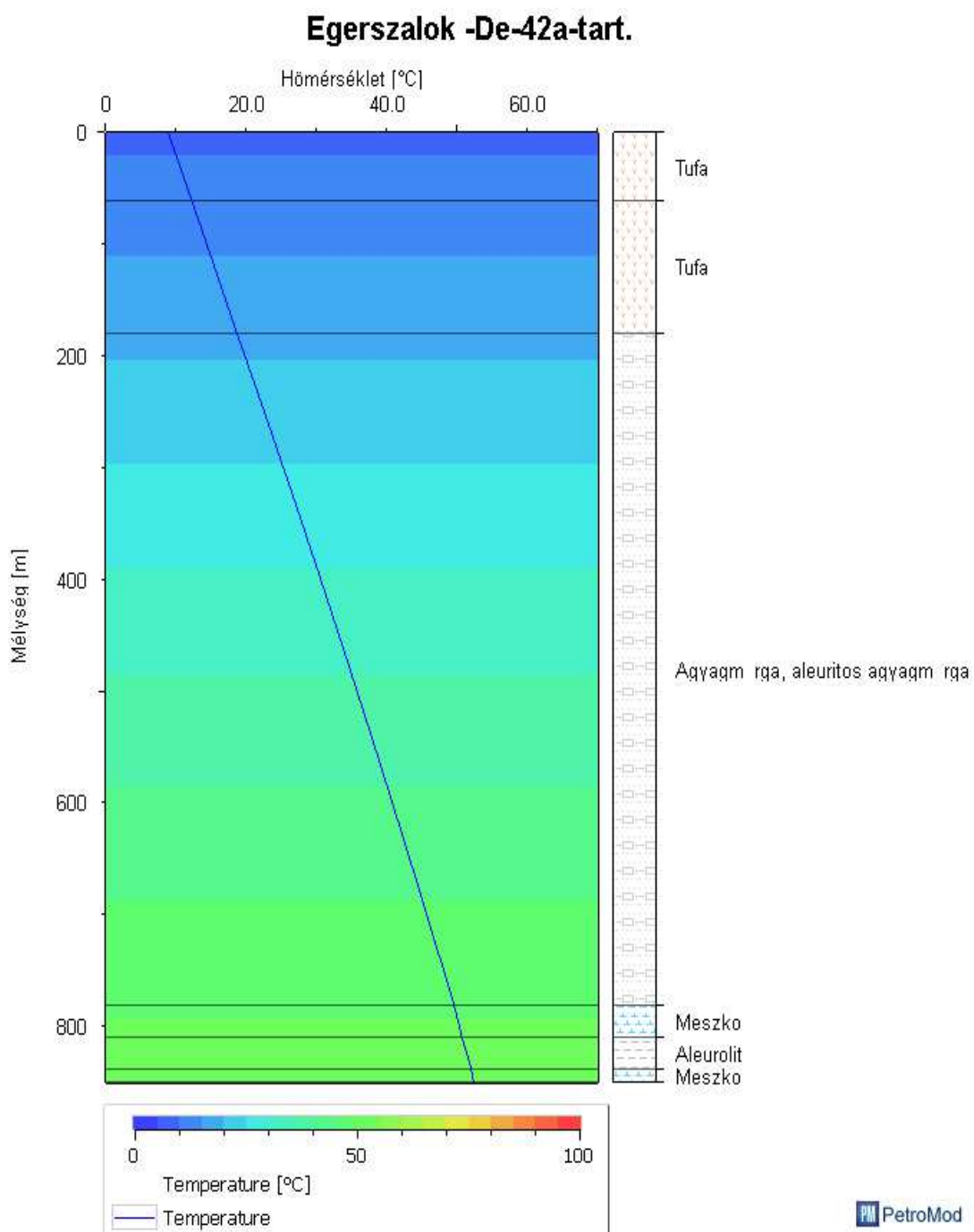
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



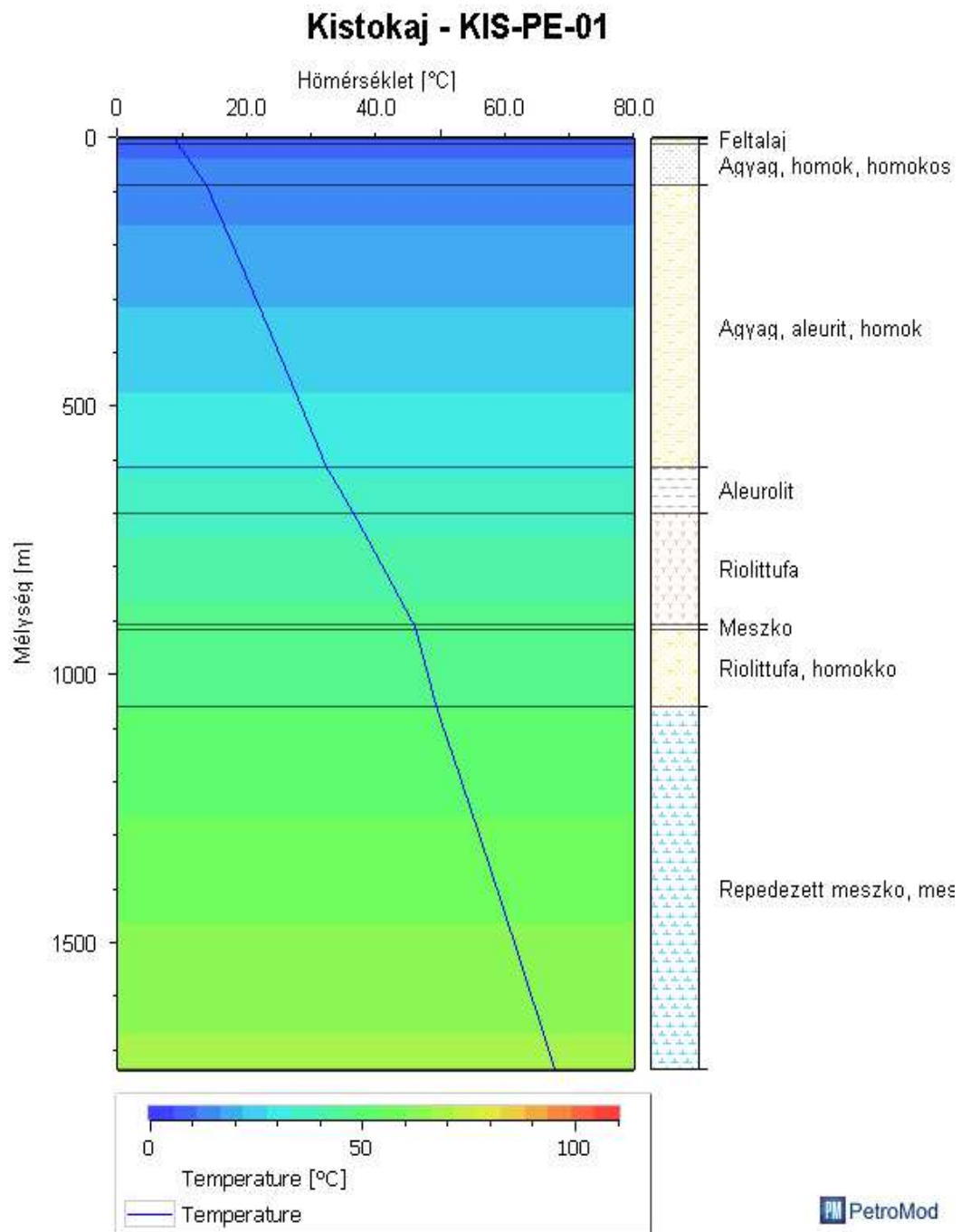
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



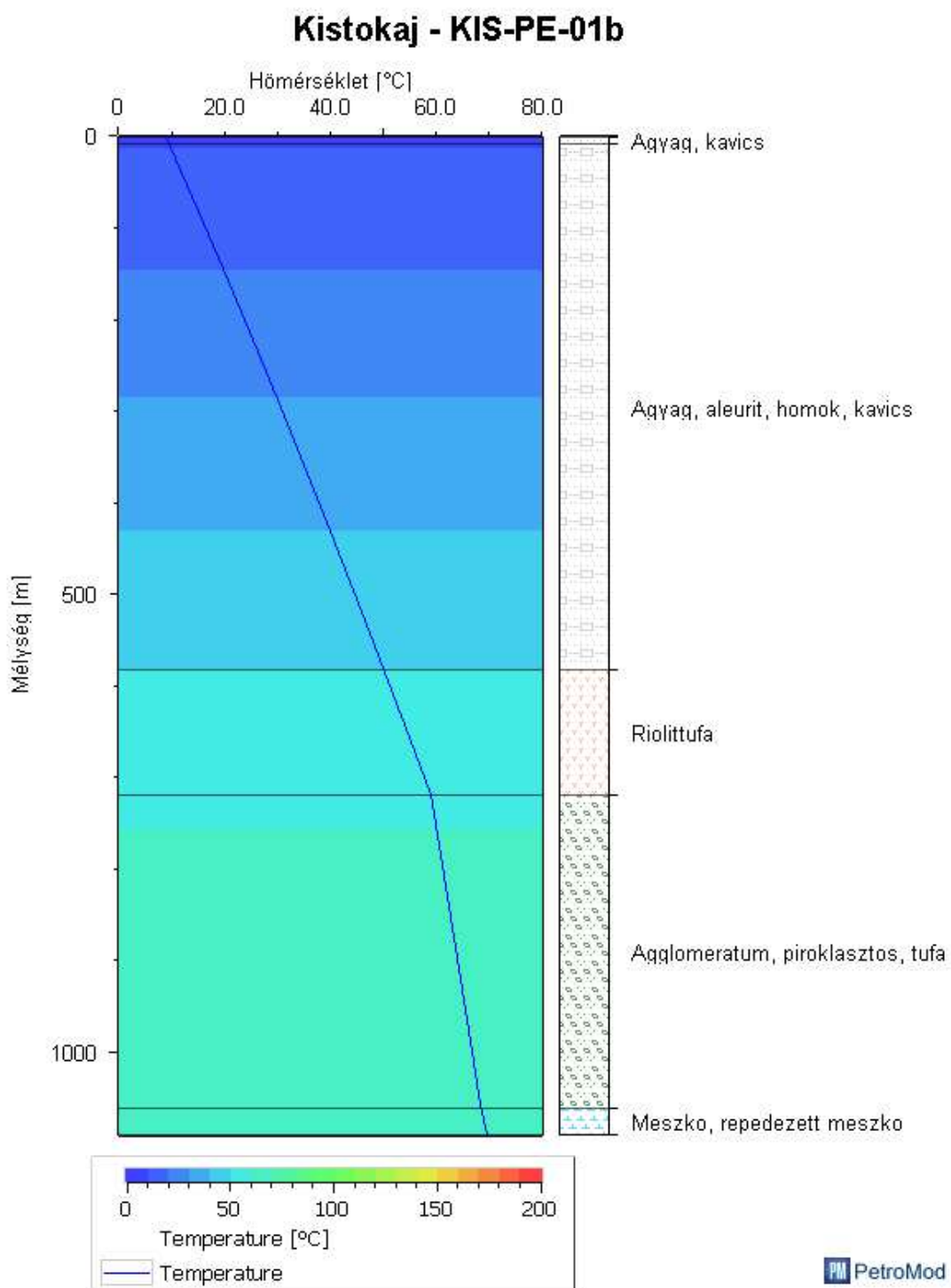
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



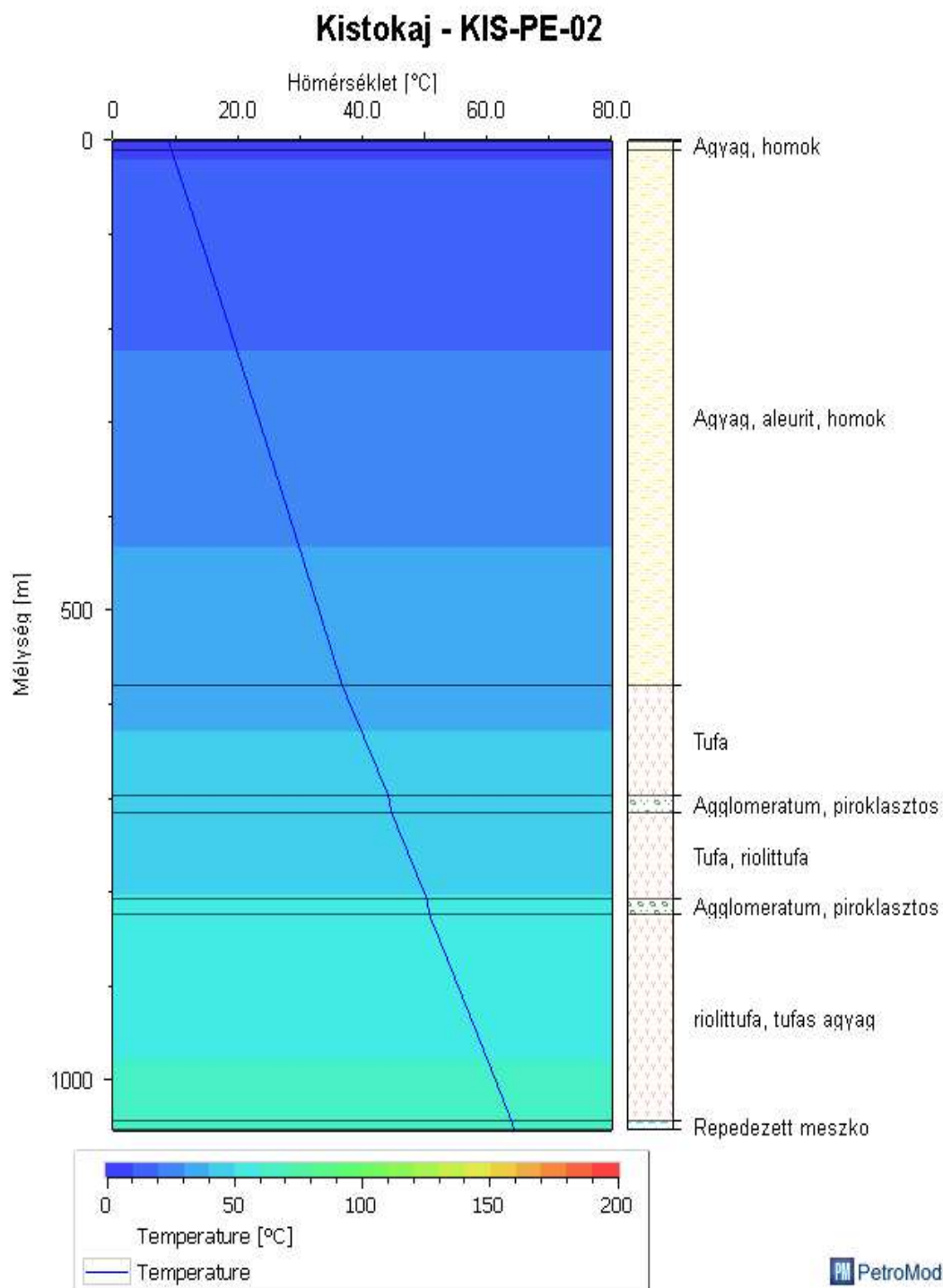
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



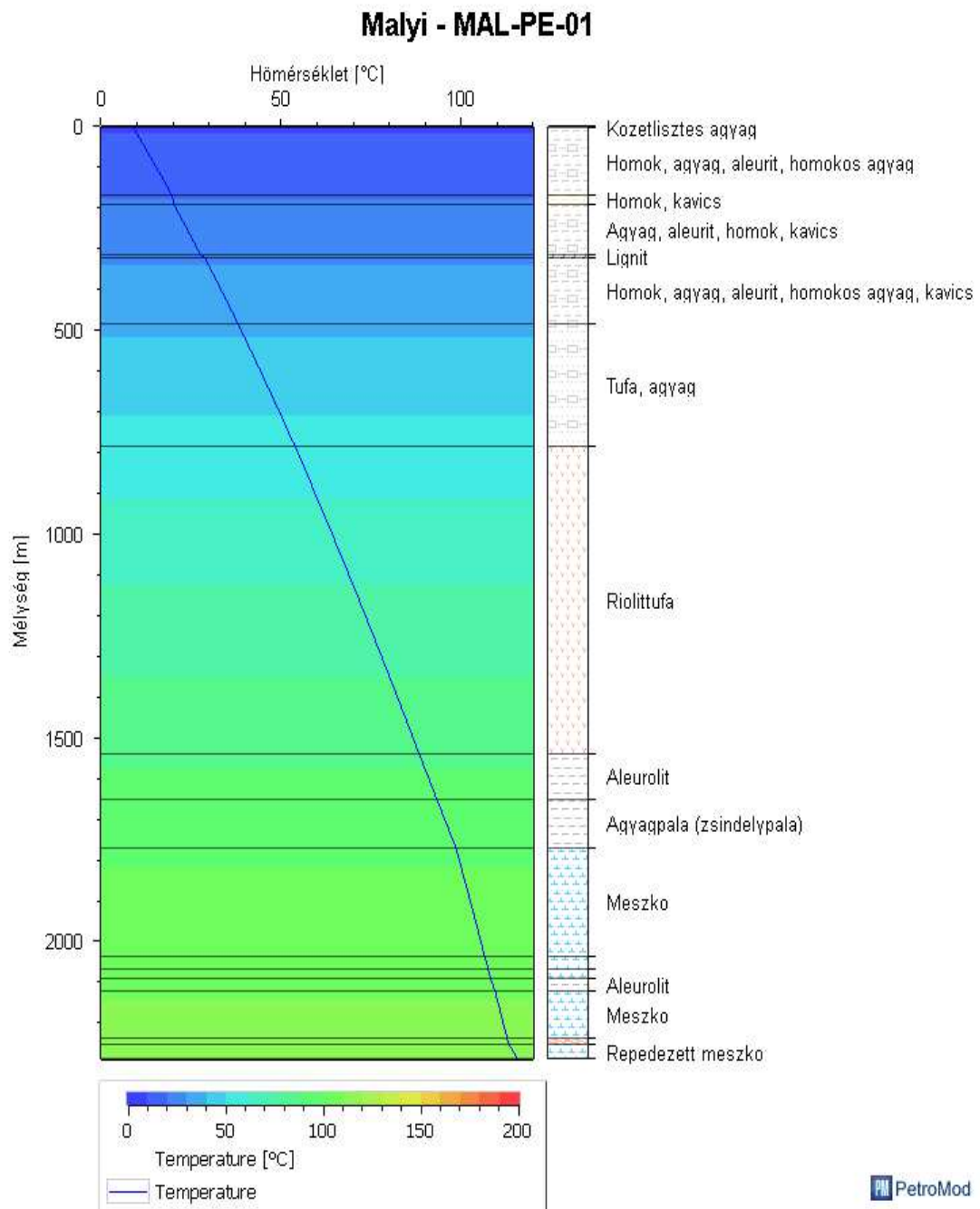
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

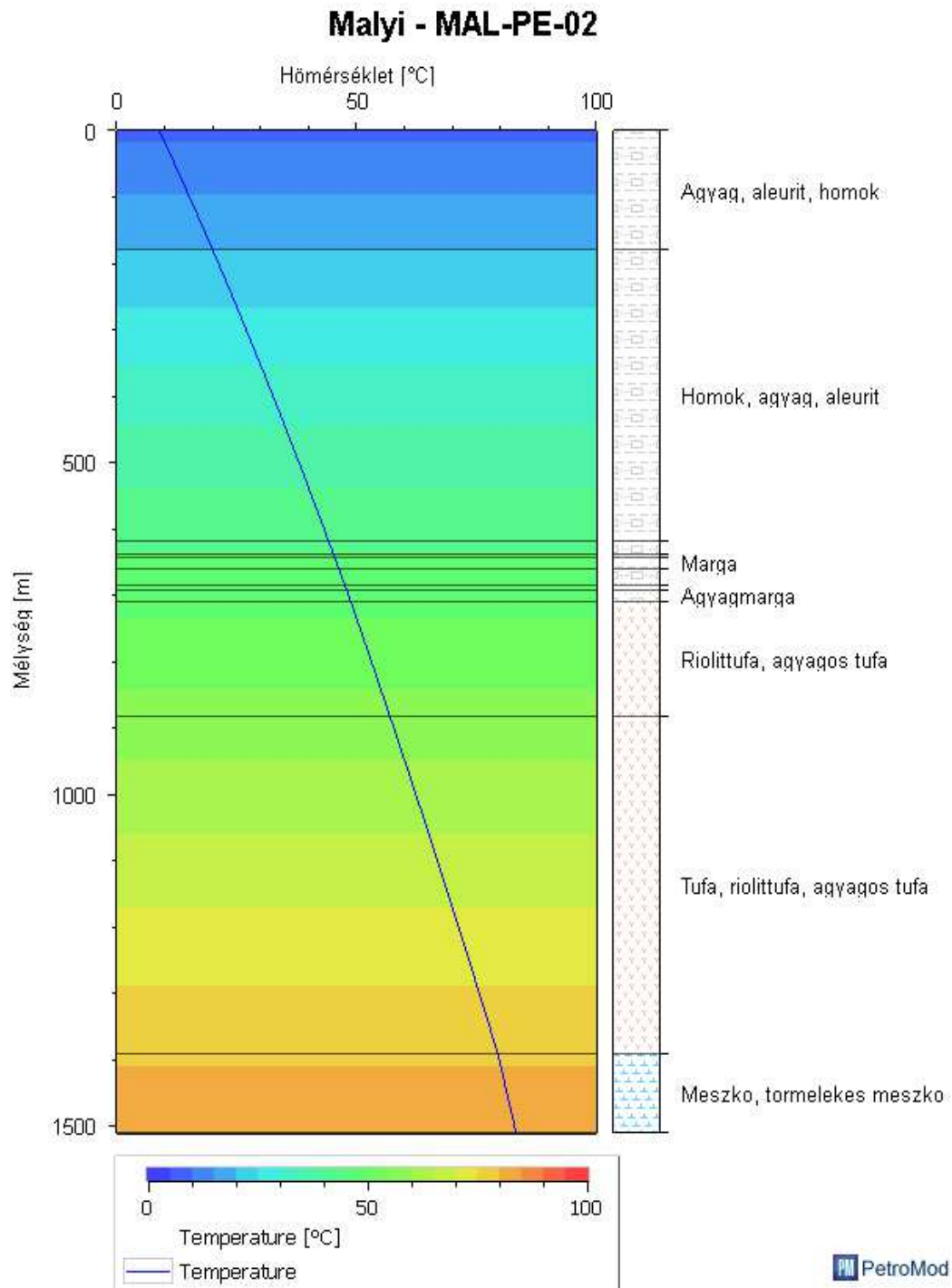


3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

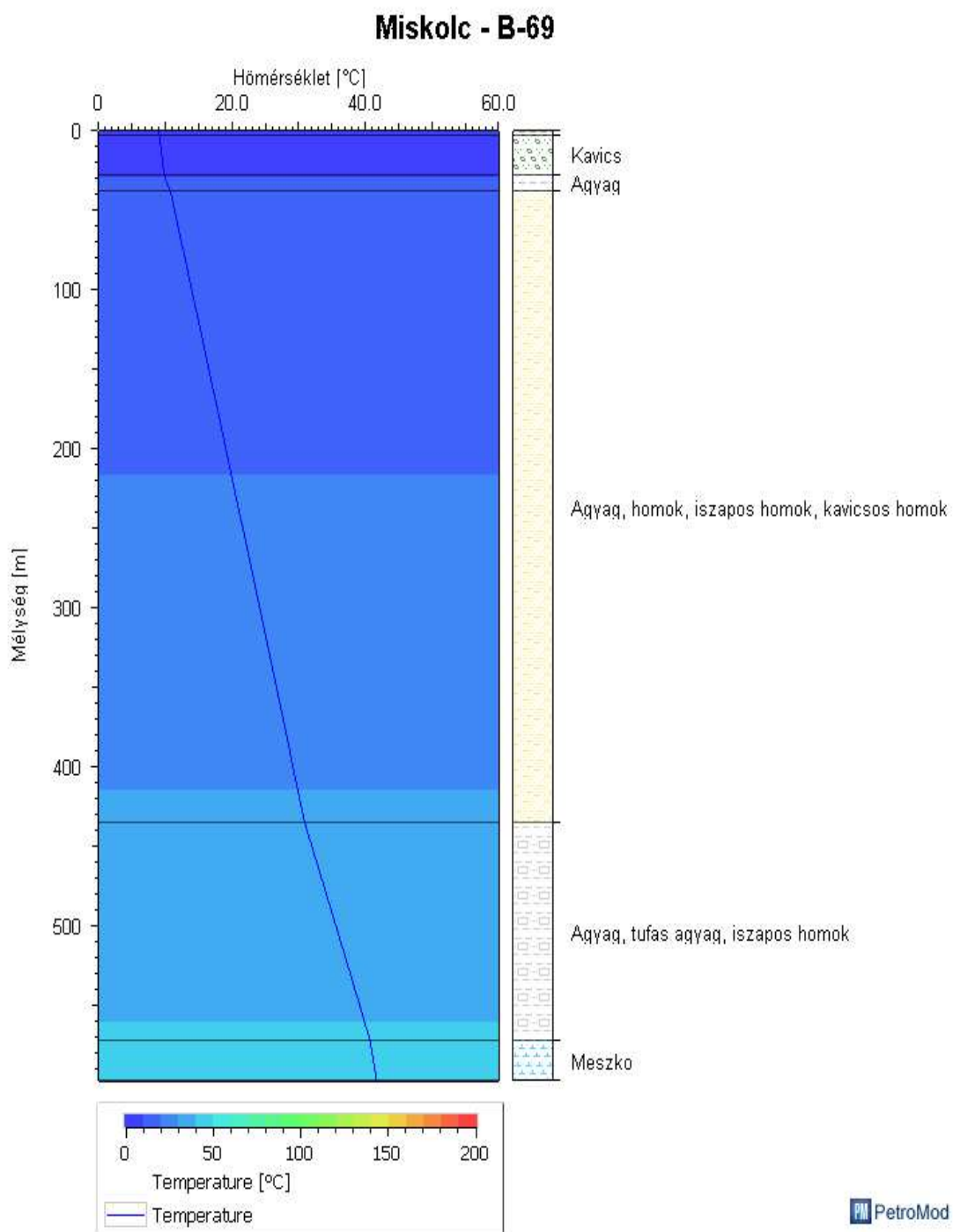




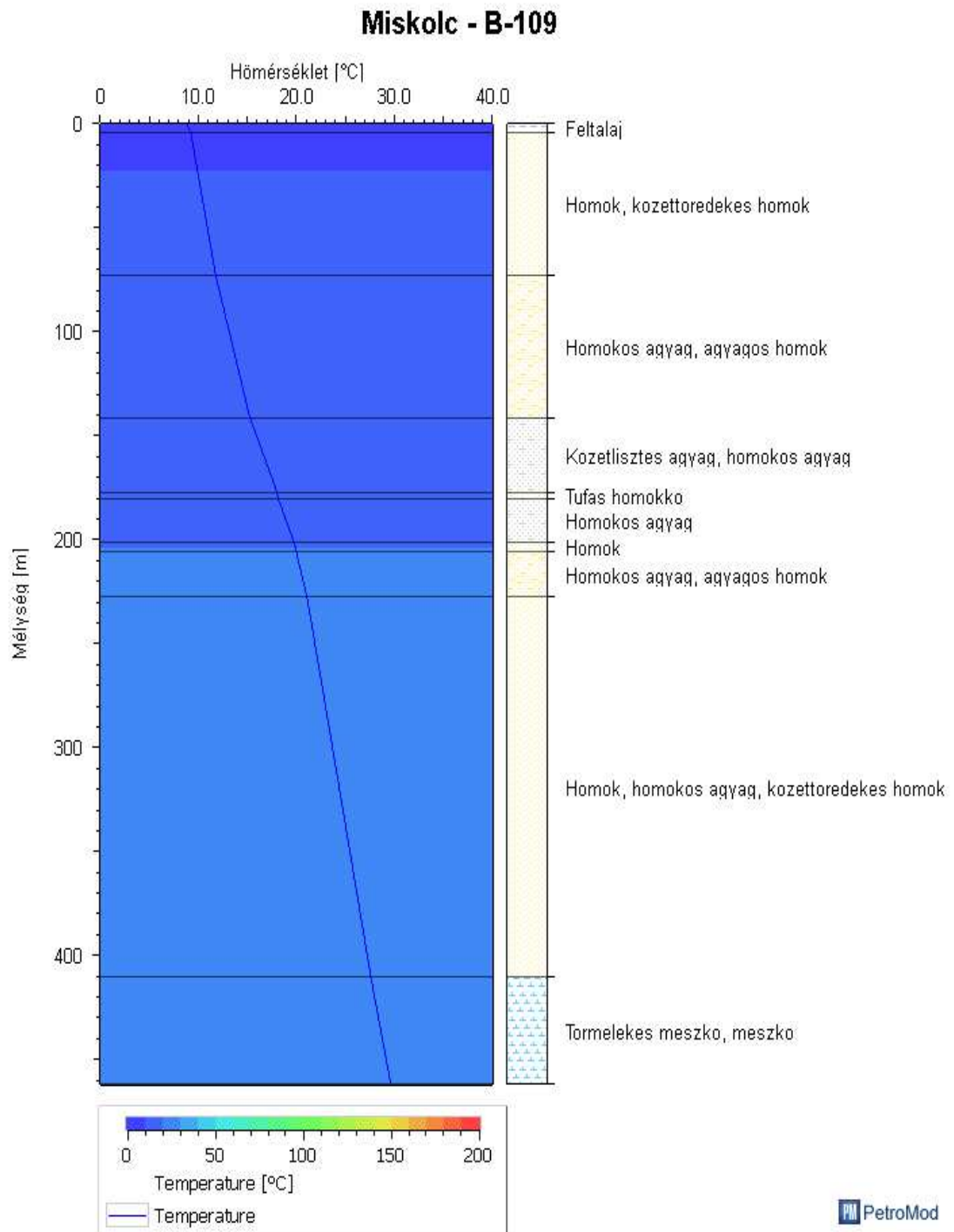
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



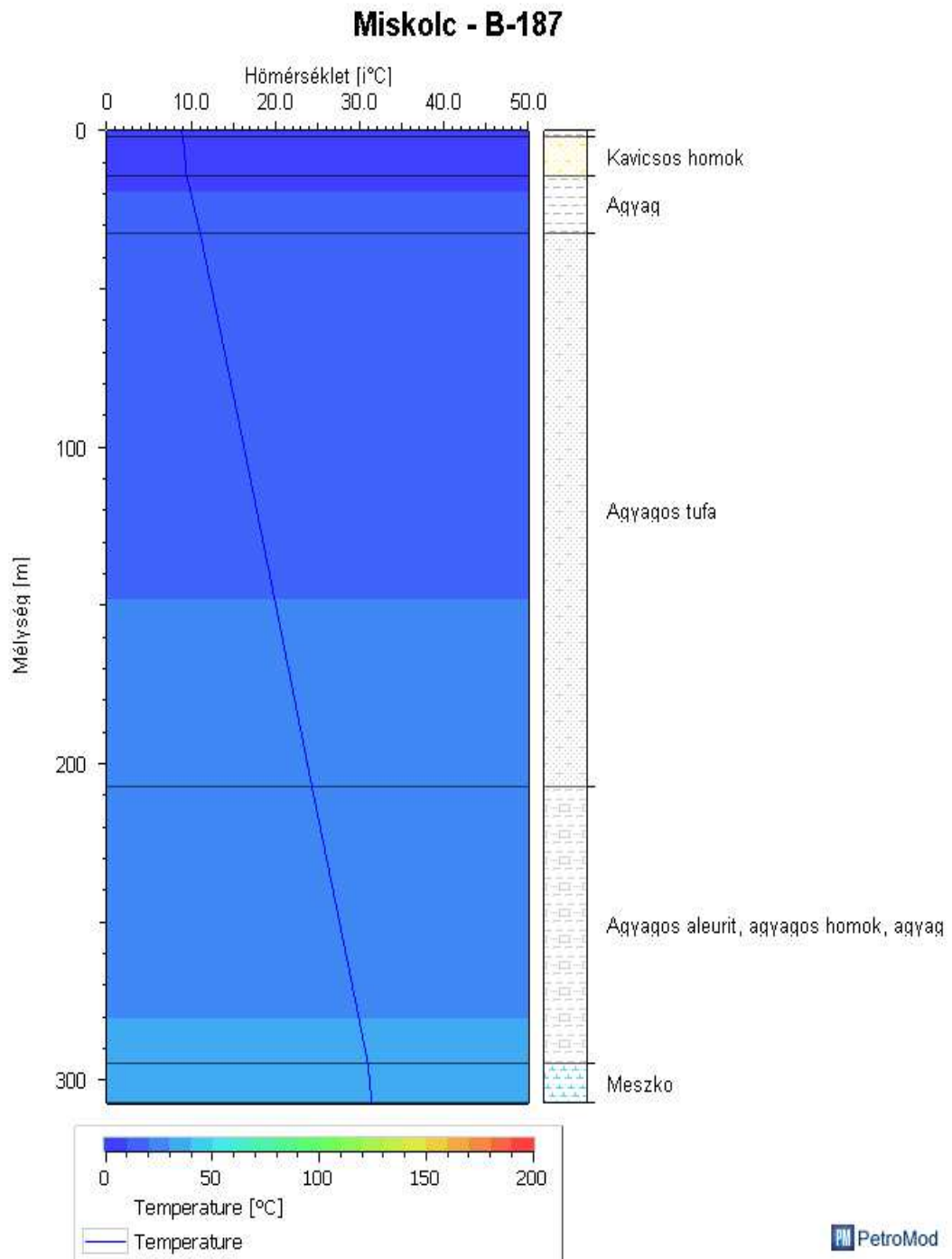
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



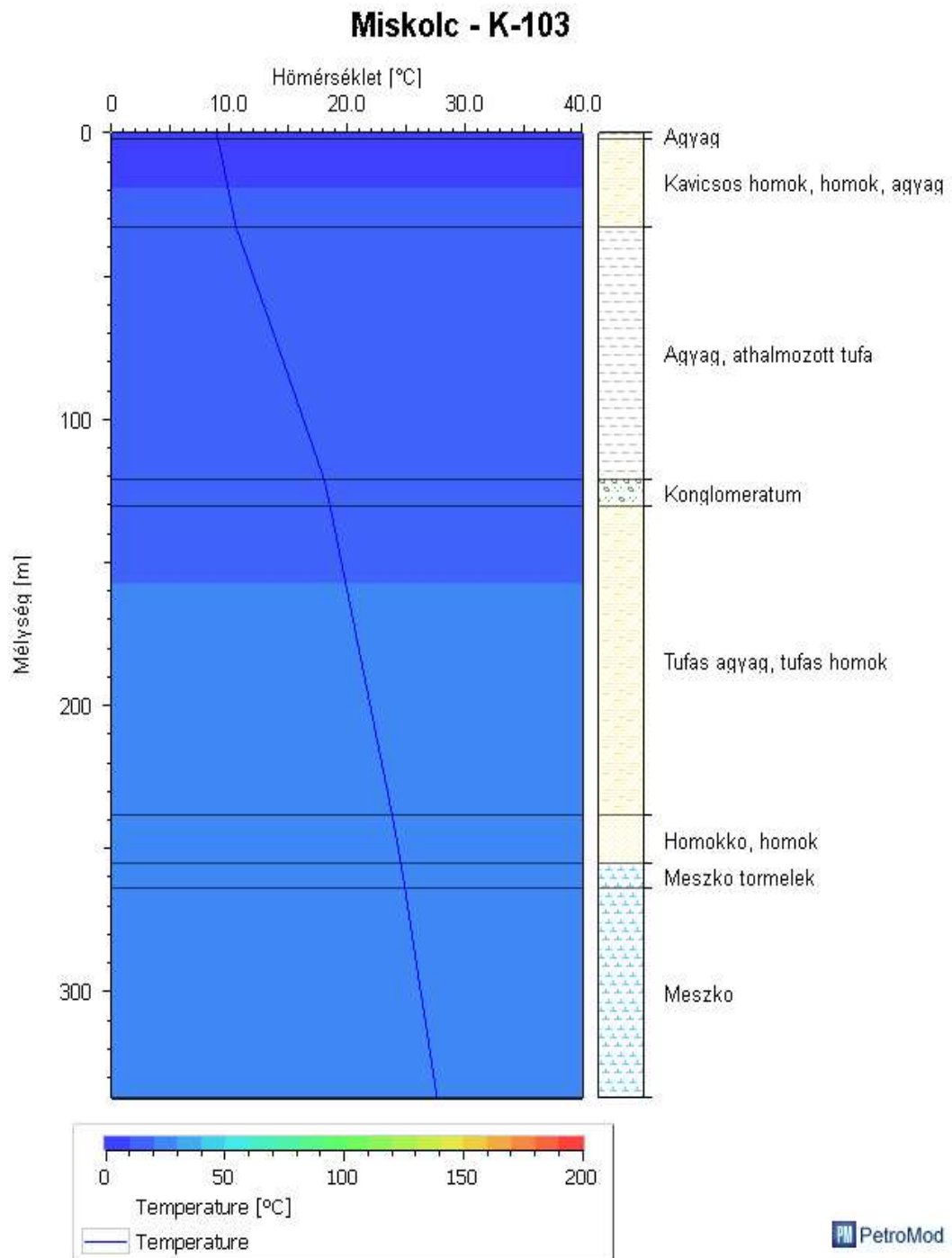
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)



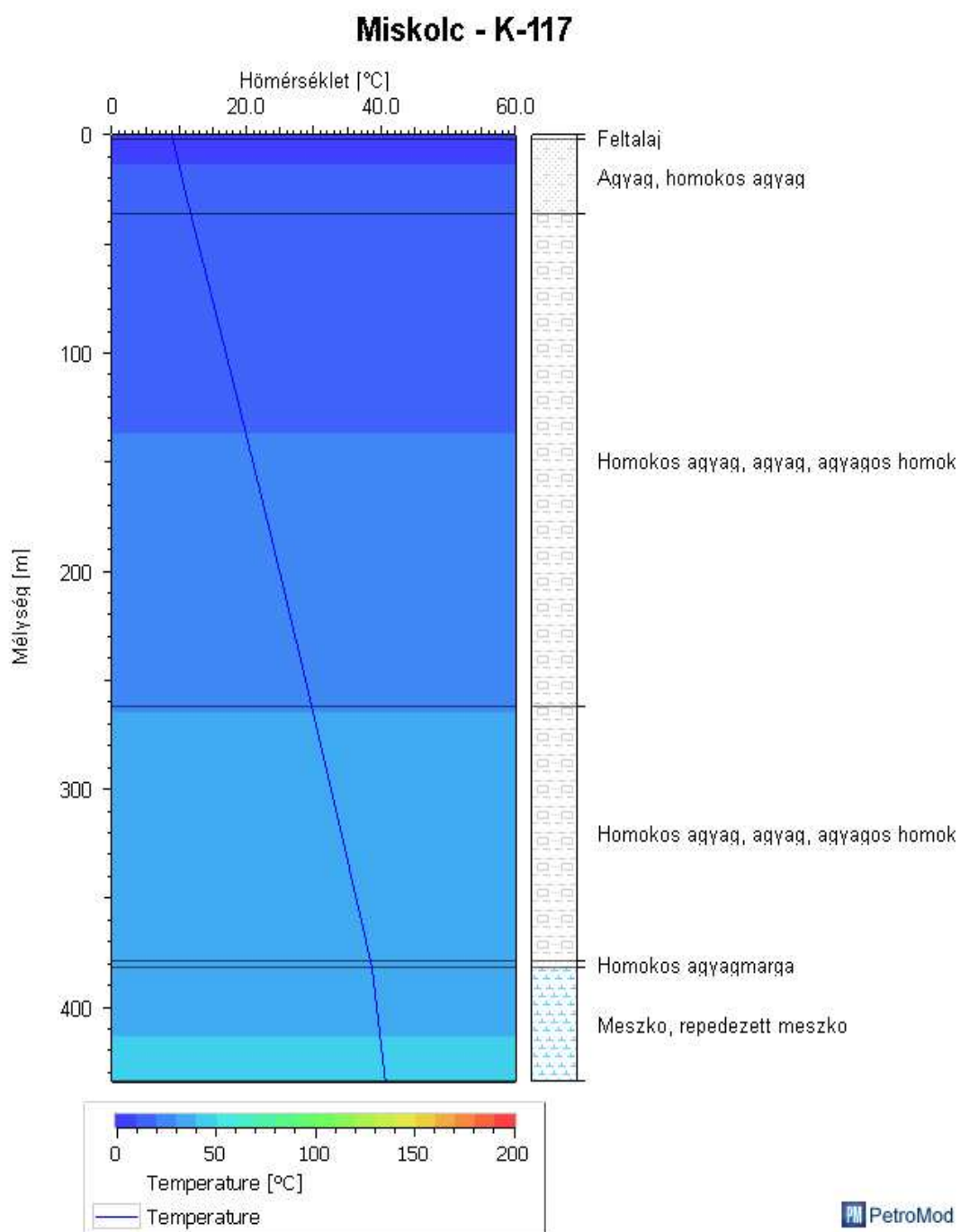
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



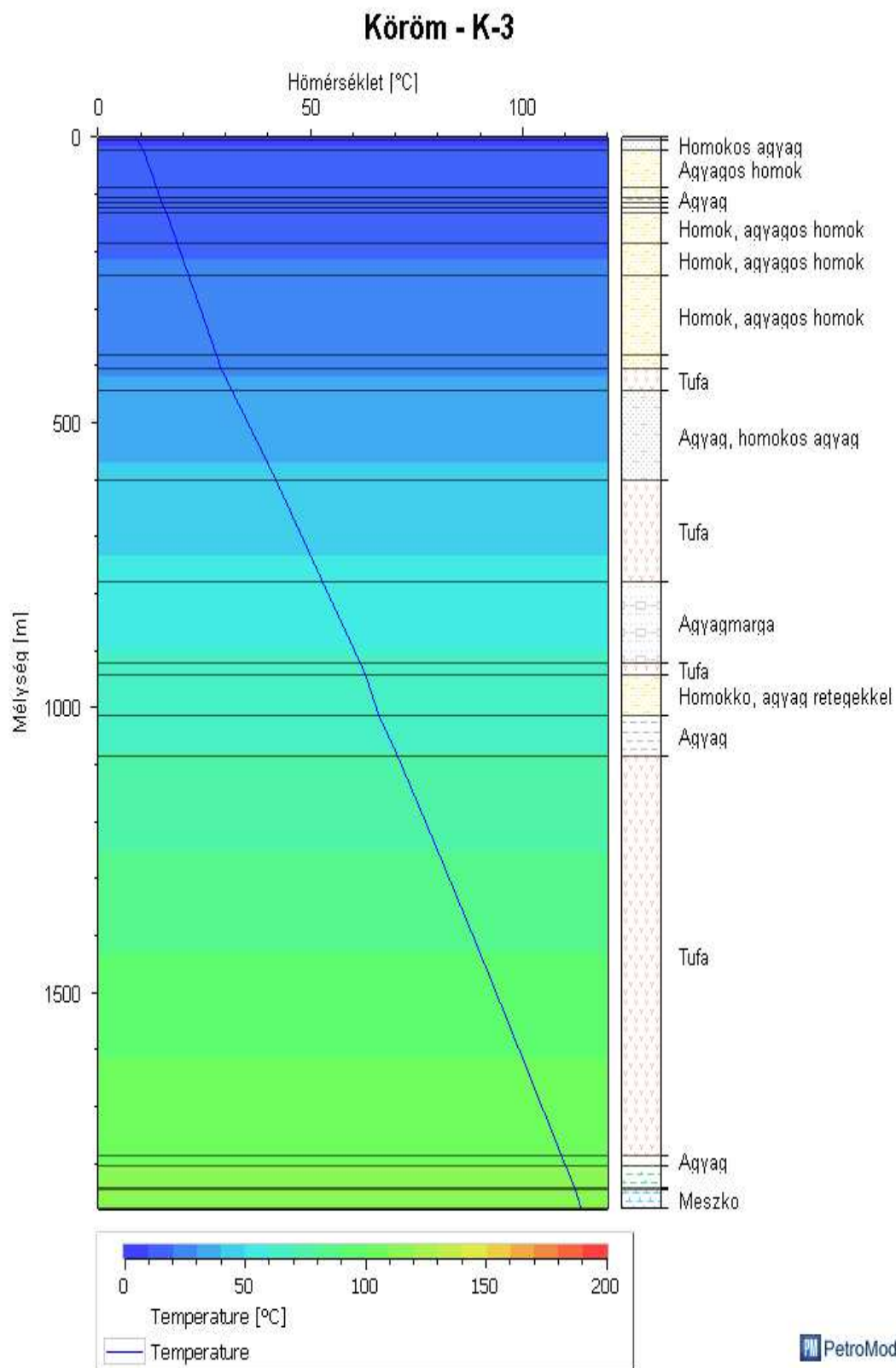
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)



3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)

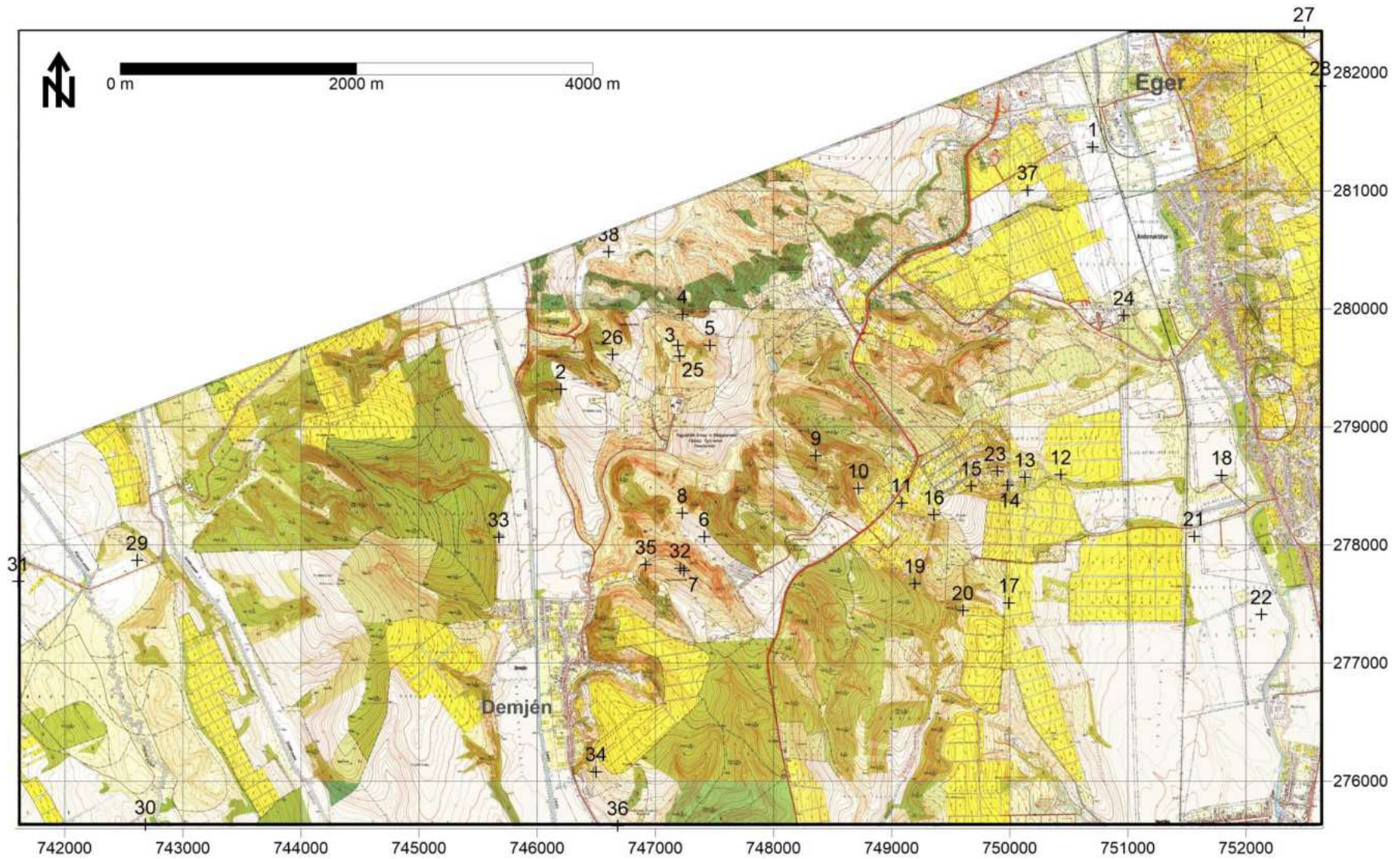


3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek  
(szerző saját szerkesztése)





4. melléklet – A Demjén térségében készült tomografikus mélységjelvényezéshez felhasznált kutak elhelyezkedése, alapadatai (szerző saját szerkesztése)





4. melléklet – A Demjén térségében készült tomografikus mélységszelvényezéshez felhasznált kutak elhelyezkedése, alapadatai (szerző saját szerkesztése)

A Demjén térségében készült tomografikus hőmérsékletszelvényezéshez felhasznált kutak elhelyezkedése. A jelmagyarázatot a táblázat tartalmazza

13. táblázat A Demjén térségében készült tomografikus hőmérsékletszelvényezéshez felhasznált kutak alapadatai

Kút jele	Név	Típus	Talpmélység [m]	Felhasznált hőmérsékletadat típusa	Talpmélység [mBf]	Eocén teteje [m]	Eocén teteje [mBf]	Talpheőmérséklet [°C]
1	At-08	víztermelő	887	modellezett	-737,3	862	-712,3	66,4
2	De-41	CH kutató	584	GL összefüggés alapján számított	-382,4	575	-373,4	65,4
3	De-43	CH kutató	493	GL összefüggés alapján számított	-308,9	483	-298,9	67,4
4	De-44	CH kutató	559	GL összefüggés alapján számított	-327,8	550	-318,8	65,8
5	De-45	CH kutató	546	GL összefüggés alapján számított	-332,5	517	-303,5	66,0
6	Dep-1	CH kutató	783	modellezett	-548,5	685	-450,6	65,2
7	Dep-4	CH kutató	702	GL összefüggés alapján számított	-527,1	685	-510,1	64,8
8	Dep-5	CH kutató	777	GL összefüggés alapján számított	-553,3	767	-543,3	65,2
9	Dep-17	CH kutató	662	GL összefüggés alapján számított	-478,2	653	-469,2	64,8
10	Dep-21	CH kutató	743	modellezett	-493,1	742	-492,1	65,0
11	Dep-24	CH kutató	980	modellezett	-738,1	960	-718,1	67,9
12	DK-337	CH kutató	1392	GL összefüggés alapján számított	-1221,2	1314	-1143,1	79,6
13	DK-366	CH kutató	1287	GL összefüggés alapján számított	-1098,9	1233	-1044,9	75,9
14	DK-367	CH kutató	1243	GL összefüggés alapján számított	-1038,8	1174	-969,8	74,5

4. melléklet – A Demjén térségében készült tomografikus mélységszelvényezéshez felhasznált kutak elhelyezkedése, alapadatai (szerző saját szerkesztése)

13. táblázat folytatása

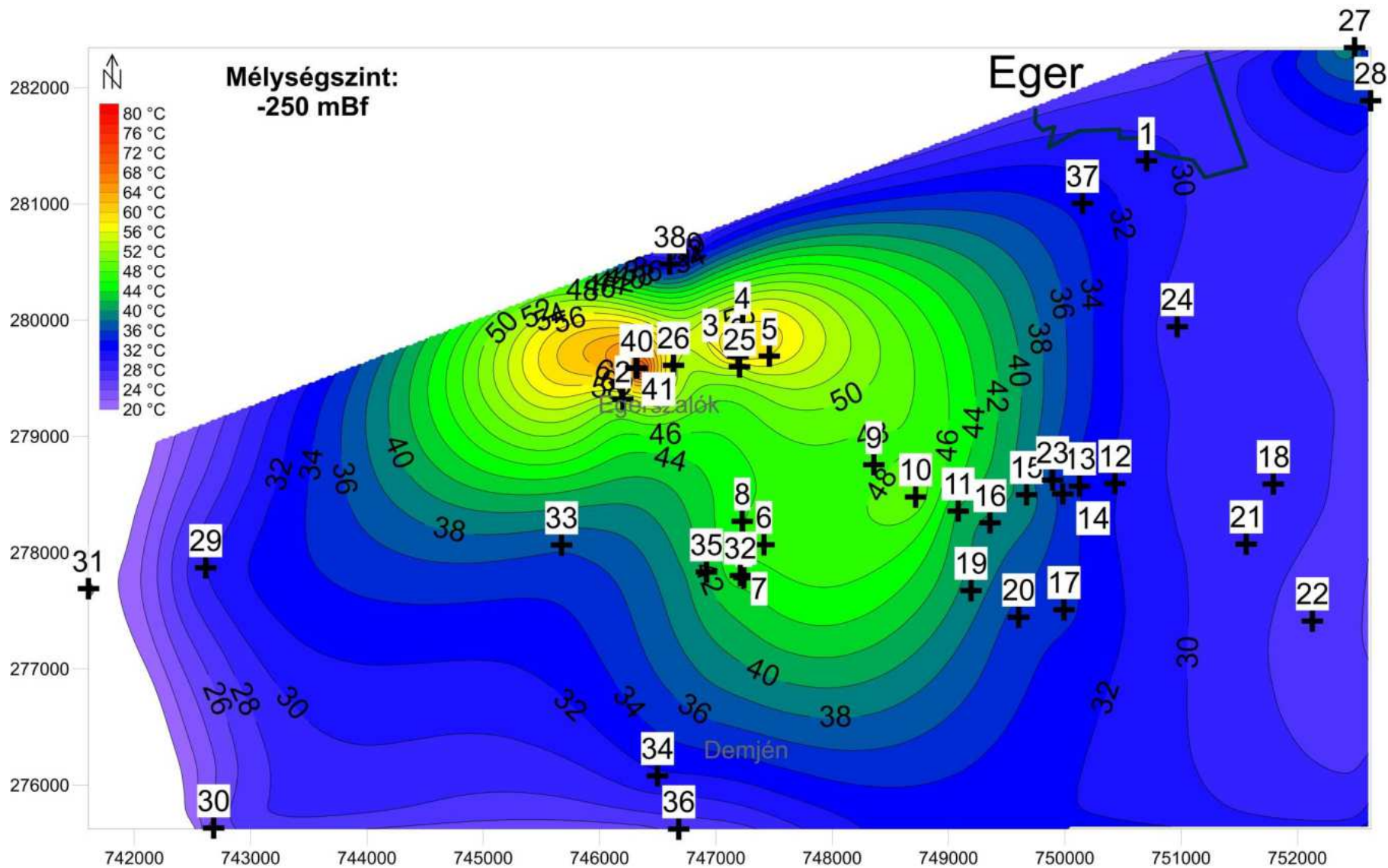
Kút jele	Név	Típus	Talpmélység [m]	Felhasznált hőmérsékletadat típusa	Talpmélység [mBf]	Eocén teteje [m]	Eocén teteje [mBf]	Talpfőmérséklet [°C]
15	DK-368	CH kutató	1124	GL összefüggés alapján számított	-883,9	1106	-865,9	71,1
16	DK-369	CH kutató	1108	GL összefüggés alapján számított	-862,7	1085	-839,7	64,3
17	DK-370	CH kutató	1335	GL összefüggés alapján számított	-1127,9	1320	-1112,9	77,5
18	DK-381	CH kutató	1595	GL összefüggés alapján számított	-1454,3	1471	-1330,3	88,6
19	DK-391	CH kutató	1124	GL összefüggés alapján számított	-883,9	1106	-865,9	71,1
20	DK-392	CH kutató	1251	modellezett	-1047,3	1120	-916,3	74,7
21	DK-402	CH kutató	1600	GL összefüggés alapján számított	-1460,9	1583	-1443,9	88,9
22	DK-403	CH kutató	1950	GL összefüggés alapján számított	-1813,1	1920	-1783,1	112,7
23	DK-410	CH kutató	1266	GL összefüggés alapján számított	-1053,4	1217	-1004,3	75,2
24	DK-I	CH kutató	1700	GL összefüggés alapján számított	-1545,5	1350	-1195,5	94,4
25	Ds-02	CH kutató	537	GL összefüggés alapján számított	-361,6	526	-350,6	66,2
26	Ds-04	CH kutató	558	GL összefüggés alapján számított	-360,4	551	-353,4	65,8
27	Ost-É-1	CH kutató	896	GL összefüggés alapján számított	-684,6	846	-634,6	66,5
28	Ost-É-2	CH kutató	1045	GL összefüggés alapján számított	-835,9	929	-719,9	69,2
29	Verps-2	CH kutató	1585	GL összefüggés alapján számított	-1432,2	1398	-1245,2	88,1

4. melléklet – A Demjén térségében készült tomografikus mélységszelvényezéshez felhasznált kutak elhelyezkedése, alapadatai (szerző saját szerkesztése)

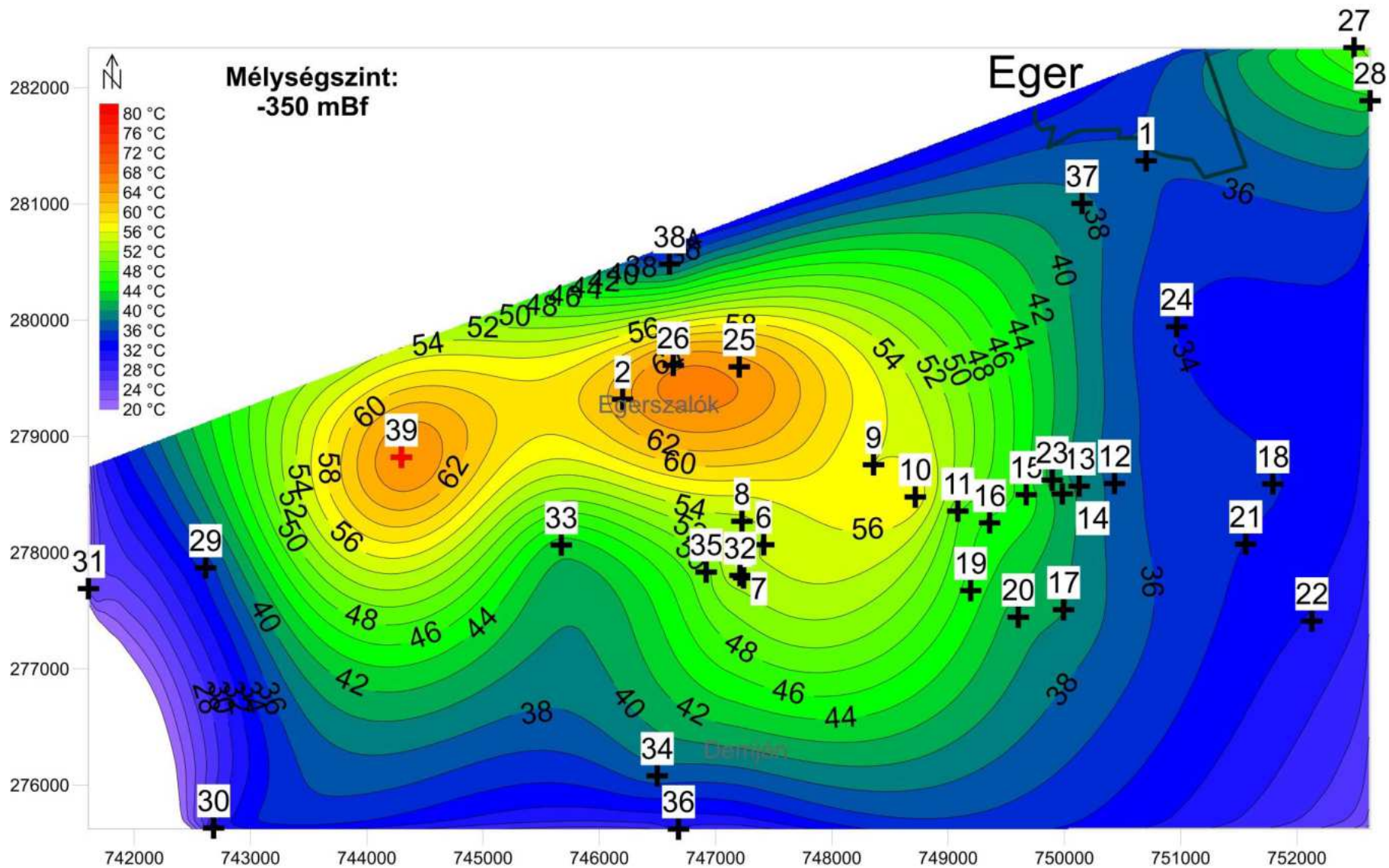
13. táblázat folytatása

Kút jele	Név	Típus	Talpmélység [m]	Felhasznált hőmérsékletadat típusa	Talpmélység [mBf]	Eocén teteje [m]	Eocén teteje [mBf]	Talpfőmérséklet [°C]
30	Verps-3	CH kutató	1500	GL összefüggés alapján számított	-1349,2	1395	-1244,2	84,1
31	Verps-4	CH kutató	1670	GL összefüggés alapján számított	-1490,4	1390	-1210,4	92,7
32	K-10	víztermelő	696,5	GL összefüggés alapján számított	-524,5	670	-498	54,4
33	K-11	víztermelő	951,6	modellezett	-802,8	845	-696,2	75,0
34	K-12	víztermelő	1515	modellezett	-1355	1358	-1198	81,4
35	K-13	víztermelő	758	modellezett	-600,5	745,4	-587,9	58,9
36	K-15	víztermelő	1655	modellezett	-1514,3	1564,5	-1423,8	87,2
37	K-15a	víztermelő	840	modellezett	-659,41	805	-624,4	52,9
38	De-42a tart	víztermelő	855,5	modellezett	-695,1	787	-626,6	52,4
39	Pseudo-kút	-	-	-	-	-	-	-
40	De-42a	víztermelő	426	mérési adat	-267,9	405	-246,9	72
41	De-42	víztermelő	407,5	mérési adat	-245,7	396	-234,2	65

5. melléklet – Az Eger-Egerszalók-Demjén vizsgálati terület hőmérséklet-eloszlás térképe különböző mélységszinteken, jelölve a felhasznált kutak helyzete (jelmagyarázat: 4. melléklet, 13. táblázat) (szerző saját szerkesztése)

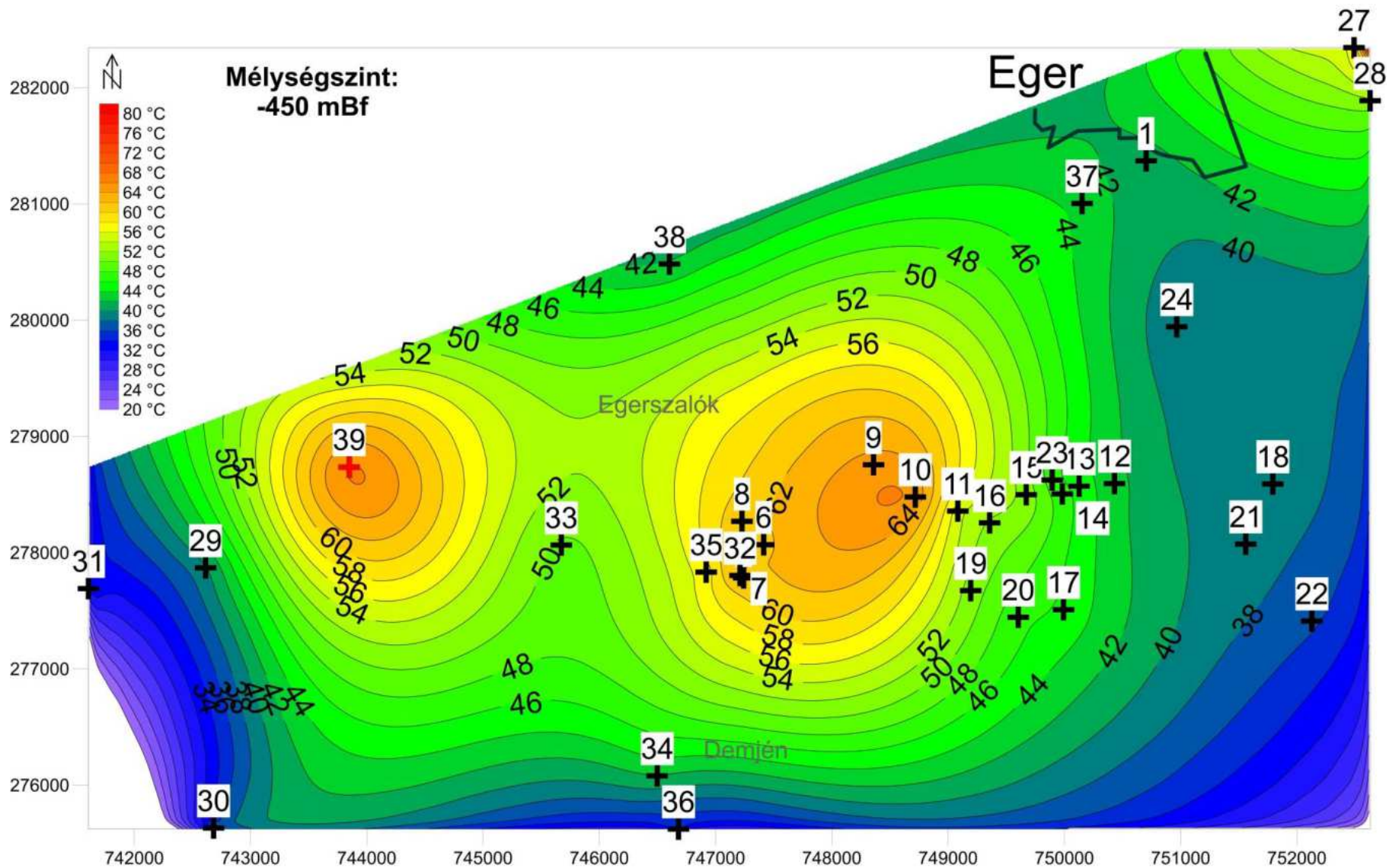


5. melléklet – Az Eger-Egerszalók-Demjén vizsgálati terület hőmérséklet-eloszlás térképe különböző mélységszinteken, jelölve a felhasznált kutak helyzete (jelmagyarázat: 4. melléklet, 13. táblázat) (szerző saját szerkesztése)

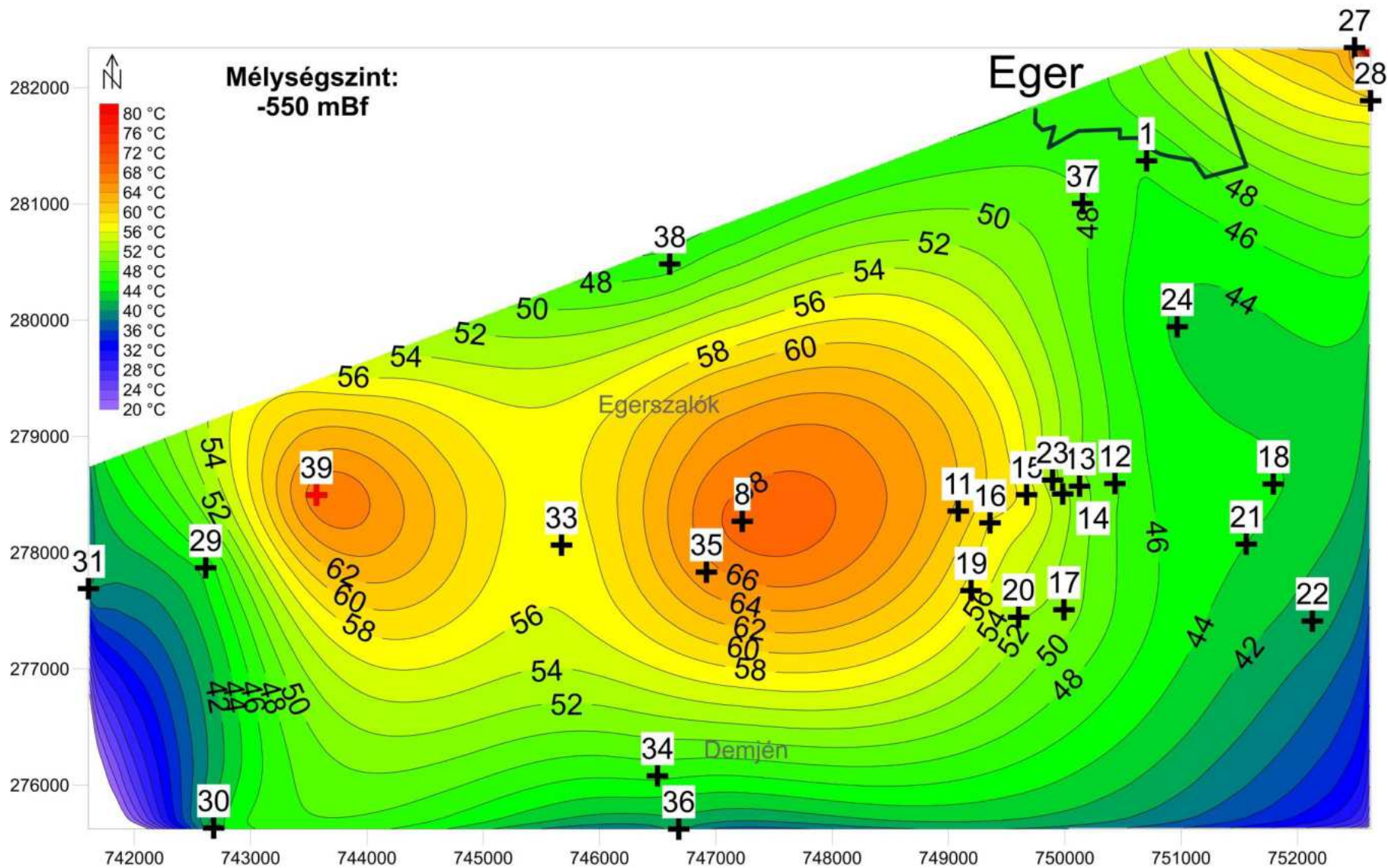




5. melléklet – Az Eger-Egerszalók-Demjén vizsgálati terület hőmérséklet-eloszlás térképe különböző mélységszinteken, jelölve a felhasznált kutak helyzete (jelmagyarázat: 4. melléklet, 13. táblázat) (szerző saját szerkesztése)

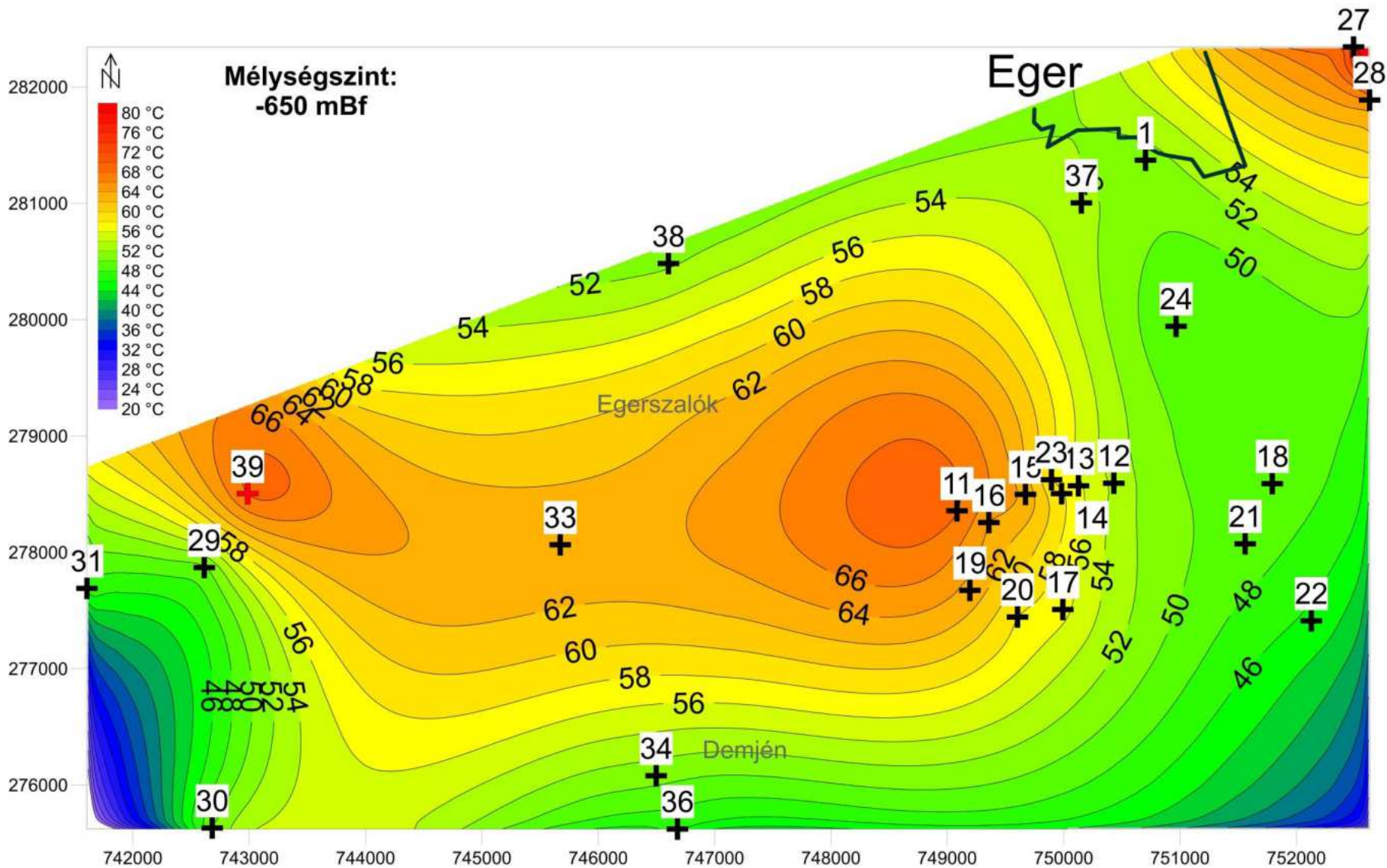


5. melléklet – Az Eger-Egerszalók-Demjén vizsgálati terület hőmérséklet-eloszlás térképe különböző mélységszinteken, jelölve a felhasznált kutak helyzete (jelmagyarázat: 4. melléklet, 13. táblázat) (szerző saját szerkesztése)





5. melléklet – Az Eger-Egerszalók-Demjén vizsgálati terület hőmérséklet-eloszlás térképe különböző mélységszinteken, jelölve a felhasznált kutak helyzete (jelmagyarázat: 4. melléklet, 13. táblázat) (szerző saját szerkesztése)



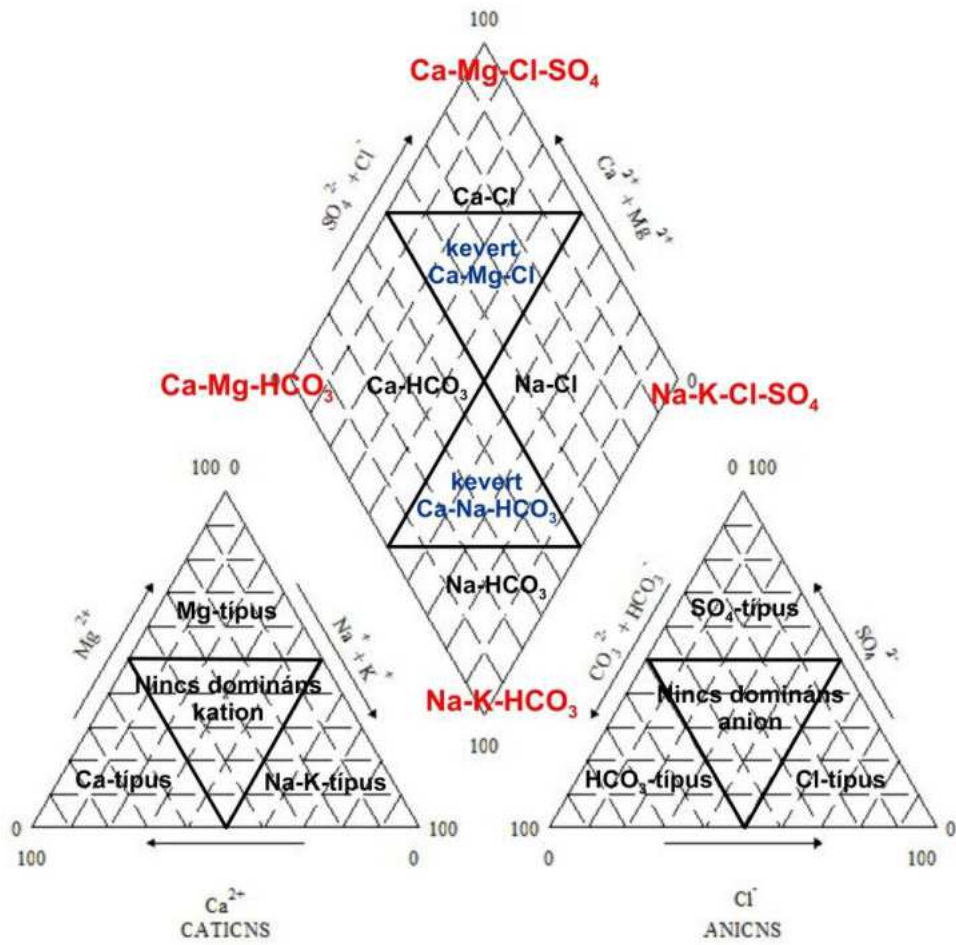


6. melléklet – A vízkémiai fácies meghatározásához felhasznált kutak adatai, és a vízkémiai fácies meghatározása (Back, 1961) nyomán

14. táblázat Miskolcon és térségében vizsgált kutak vízkémiai fáciese, az adatok származási helyének megjelölése

<b>Kút neve</b>	<b>Vizsgált terület</b>	<b>Vízkémiai adatok származási helye</b>	<b>Vízkémiai fácies</b>
B-10 (Selyemrét-1)	Miskolc	Vízföldtani napló	CaMgHCO <sub>3</sub>
B-69 (Selyemrét-2)	Miskolc	Saját mintázás	CaMgHCO <sub>3</sub>
K-117 (Húsipar)	Miskolc	Vízföldtani napló	CaMgHCO <sub>3</sub>
B-109 (Kertészeti-kút)	Miskolc	Saját mintázás	CaMgHCO <sub>3</sub>
B-72a (Erzsébet-téri kút)	Miskolc	Vízföldtani napló	CaMgHCO <sub>3</sub>
B-187 (Egyetem-2)	Miskolc	Vízföldtani napló	CaHCO <sub>3</sub>
K-103 (Egyetem-1)	Miskolc	Vízföldtani napló	NaKCISO <sub>4</sub>
		Országos	
KIS-PE-01b	Kistokaj	Geotermikus Rendszer	CaHCO <sub>3</sub>
KIS-PE-02	Kistokaj	Vízföldtani napló	CaHCO <sub>3</sub>
MAL-PE-01	Mályi	Saját mintázás	CaNaHCO <sub>3</sub>
MAL-PE-02	Mályi	Saját mintázás	CaHCO <sub>3</sub>

6. melléklet – A vízkémiai fácies meghatározásához felhasznált kutak adatai, és a vízkémiai fácies meghatározása (Back, 1961) nyomán



### **13. Mellékletek jegyzéke**

1. melléklet – A vizsgált területen modellezett kutak elhelyezkedése, alapparaméterek (szerző saját szerkesztése)
2. melléklet – A vizsgált terület részletes fejlődéstörténete az alsó triásztól
3. melléklet – A Demjén és Miskolc térségi területeken készült 1D-s kútmodellek (szerző saját szerkesztése)
4. melléklet – A Demjén térségében készült tomografikus mélységszelvényezéshez felhasznált kutak elhelyezkedése, alapadatai (szerző saját szerkesztése)
5. Az Eger-Egerszalók-Demjén vizsgálati terület hőmérséklet-eloszlás térképe különböző mélységszinteken, jelölve a felhasznált kutak helyzete (jelmagyarázat: 4. melléklet, 13. táblázat) (szerző saját szerkesztése)
6. melléklet – A vízkémiai fácies meghatározásához felhasznált kutak adatai, és a vízkémiai fácies meghatározása (Back, 1961) nyomán

#### 14. Saját tudományos közlemények (MTMT alapján)

1. **Szegediné Darabos Enikő, Miklós Rita, Tóth Márton, Sűrű Péter, Lénárt László (2013):** Hidrokémiai paraméterek vizsgálata a Garadna-forrásban. MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2013, 2013. június 4., Debrecen, szerk: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. (ISBN 978-963-7064-30-2). pp. 81-90.
2. **Szegediné Darabos Enikő, Miklós Rita, Tóth Márton, Lénárt László (2014):** *Investigation of Discharge and Hydrochemical Data of Garadna Spring*. X. KÁRPÁT-MEDENCEI KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KONFERENCIA, 2014. március 27-29., Kolozsvár (Románia), konferenciakötet, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 2014. (ISSN 1842-9815). pp.202-207.
3. **Enikő Szegediné Darabos, Rita Miklós, Márton Tóth, László Lénárt (2014):** *Investigation of the Garadna Catchment Area*. GEOSCIENCES AND ENGINEERING – A Publication of the University of Miskolc, Volume 3, Number 5 (2014), University Press, Miskolc, 2014. (HU ISSN 2063-6997).pp.119-129.
4. **Miklós Rita, Szegediné Darabos Enikő, Tóth Márton, Hernádi Béla, Lénárt László (2015):** *Vízkeimiai adatok felhasználási lehetőségei*. XVII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, 2015. március 26-29., Déva (Románia), konferenciakötet, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 2015. (ISSN 1842-9440). pp. 134-137).
5. **Miklós Rita (2015):** *Vízkeimiai adatok gyakorlati felhasználási lehetőségei*. Diáktudomány, a Miskolci Egyetem tudományos diákköri munkáiból (szerk.: Kékesi T., Wopera Zs., Dabasi-Halász Zs.), Miskolc, 2015., pp. 22-23. (ISSN 2062-07-21)
6. **Csomor Tibor Áron, Miklós Rita, Móricz Ferenc (2015):** *Jarosite in sandstone - the mineral characterisation of a special rock from the Szendrő Mts., Hungary*. In Acta Mineralogica-Petrographica, abstract series, 6<sup>th</sup> Mineral Science in the Carpathians Conference, Veszprém, 16-19 May, 2015. Department of Mineralogy, Geochemistry and Petrology, University of Szeged. pp. 7. (ISSN 1589-4835)
7. **Szegediné Darabos Enikő, Miklós Rita, Tóth Márton, Lénárt László (2015):** *A 2014/2015-ös év kutatási irányai és eredményei a Bükkben – The main research programs and their results of the year 2014/2015 in the Bükk Mountains*. XIX. Karsztfeljlődés Konferencia, 2015. május 28-29., pp. 29-47. (DOI: 10.17701/15.29-47)
8. **Miklós Rita, Tóth Márton, Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László (2015):** *Vízkeimiai adatok felhasználása karsztvíz domborzati térkép pontosítására*. MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2015,

2015. június 11., Debrecen, szerk: Bodzás Sándor, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. (ISBN 978-963-7064-32-6). pp. 71-76.
9. **Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László, Tóth Márton, Miklós Rita, Hernádi Béla, Czesznak László (2015):** *A Bükk karsztvizei: Hosszú adatsorok alkalmazási lehetőségei.* Mérnökújság, XXII. évf. 7-8. szám, Magyar Mérnöki Kamara, Budapest, 2015.
  10. **Darabos Enikő, Miklós Rita, Kovács Péter, Szűcs Péter, Lénárt László (2016):** *A Bükk Karsztvíz Észlelő Rendszer adatainak vizsgálata a hegységben jelentkező klímaváltozás jellegének és következményeinek meghatározására.* XII. KÁRPÁT-MEDENCEI KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KONFERENCIA, 2016. június 1-4. Beregszász. (ISBN 978-963-429-049-0)
  11. **Kovács Attila, Darabos Enikő, Pierre Perrochet, Lénárt László, Miklós Rita (2016),** *Forrás és kút hidrogram elemzések eredményei a Bükkben.* MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN, 2016. május 25., Miskolc. pp. 261-268.
  12. **Miklós Rita, Lénárt László, Szűcs P. (2016):** *Preciseness of a Karst Water Relief Map Using Hydrochemical Measurements in the Bükk Mountains, Hungary.* Doktoranduszok Fóruma, 2016. november 16., Miskolc. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar szekciókiadványa, ISBN 978-963-358-129-2, pp. 26-32.
  13. **Miklós Rita (2017):** *Vízkémiiai adatok felhasználása a karszt kutatásban.* XIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2017. április 5-8., Kolozsvár. ISSN 1842-9815, Ábel Kiadó, pp. 136-143.
  14. **Lénárt László, Darabos Enikő, Hernádi Béla, Czesznak László, Miklós Rita, Tóth Márton (2017):** *A bükki termálkarszt Bükk-térségi részének pillanatnyi feltártsága.* XIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2017. április 5-8., Kolozsvár. ISSN 1842-9815, Ábel Kiadó, pp. 85-86.
  15. **Miklós Rita (2017):** *A Demjén és környékén mélyült termálvizes fúrások adatainak újrafeldolgozása.* A Kárpát-medence ásványvizei – XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia, 2017. augusztus 24-27., Sepsiszentgyörgy, ISBN 978-606-8951-00-3. pp. 33-39.
  16. **Darabos Enikő, Miklós Rita, Tóth Márton, Lénárt László (2018):** *A BKÉR adatainak felhasználása a karszt kutatásban.* Műszaki Földtudományi Közlemények, 86. kötet, 3. szám (2017). pp. 66-78.
  17. **Miklós Rita, Lénárt László (2018):** *A Bükk déli előterében mélyült termálvizes fúrások adatainak újrafeldolgozása..* XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2018. április 5-7., Gödöllő. pp. 186-190.

18. **Miklós Rita (2018):** *Potenciális termálkarsztvíz áramlási pályák lehatárolási lehetősége a Bükk dél-keleti előterében.* In: Tometz, L; Tometzova, D; Dirnerová, D (szerk.), Lectures of 14<sup>th</sup> International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin, Košice, Szlovákia: Technical University of Kosice, pp. 46-56.
19. **Miklós Rita, Prohászka András, Lénárt László (2019):** *Vízföldtani és geotermikus szelvények a Bükki termálkarsztról Eger-Egerszalók-Demjén környékén.* Almássy Endre XXVI. Konferencia a Felszín Alatti Vizekről, 2019. március 26-27., Siófok, poszterelőadás.
20. **Miklós Rita, Prohászka András, Lénárt László (2019):** *Vízföldtani és hőmérsékletszelvény Eger-Egerszalók-Demjén környékéről.* XV. Nemzetközi Tudományos Konferencia a Kárpát-medence Ásványvizeiről, 2019. augusztus 22-24., Miskolc, poszterelőadás.
21. **László Lénárt, Enikő Darabos, László Czesznak, Béla Hernádi, Zsombor Fekete, Béla Balla, Péter Kovács, Rita Miklós (2019):** *Overview of the Bükk karst water monitoring system (NE Hungary).* In: Blatnik, M; Gabrovšek, F; Kogovšek, B; Mayaud, C; Petrič, M; Ravbar, N (szerk.), 27th International Karstological School "Classical karst" KARST HYDROGEOLOGY – RESEARCH TRENDS AND APPLICATIONS, Postojna, Szlovénia: Scientific Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts (ZRC SAZU, p. 110, abstract.
22. **Rita Miklós, László Lénárt, Péter Szűcs (2019):** *Hydrogeological and geothermal section of the Bükk Thermal Karst reservoir, Hungary.* 46th IAH Congress, 2019. szeptember 22-27., Malaga, Spain. Poster presentation.
23. **Szűcs Péter, Turai Endre, Vass Péter, Zákányi Balázs, Ilyés Csaba, Nyiri Gábor, Fekete Zsombor, Miklós Rita, Máдай Viktor, Móricz Ferenc (2019):** *Re-utilizing possibilities of abandoned hydrocarbon wells in Northern Hungary.* In: J., Jaime Gómez Hernández; Bartolomé, Andreo Navarro: Groundwater management and governance. Malaga, Spanyolország: Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español p. 131, abstract.
24. **Dávid Bretán, Péter Szűcs, Rita Miklós, Csaba Ilyés (2019):** *Geotermikus energia hasznosíthatósági lehetőségei a Bükkalja térségében meddő szénhidrogén termelő kutak átképzésével.* International Journal of Engineering and Management Sciences 4 (4). pp. 351-357. doi: 10.21791/IJEMS.2019.4.40.
25. **Maria Camila Segura Castillo, Rita Miklós (2019):** *Characterization of the potential environmental impacts associated with the groundwater exploitation in Colombia.* Műszaki Földtudományi Közlemények 88 (2) pp. 183-189.

26. **Rita Miklós, László Lénárt, Enikő Darabos, Attila Kovács, Ágnes Pelczéder, Norbert Péter Szabó, Péter Szűcs (2020):** *Karst water resources and their complex utilization in the Bükk Mountains, northeast Hungary: an assessment from a regional hydrogeological perspective.* Hydrogeology Journal (28), pp. 2159-2172. doi.org/10.1007/s10040-020-02168-0
27. **Bretán Dávid, Szűcs Péter, Miklós Rita, Ilyés Csaba (2020):** *Geothermal energy utilization by revitalization of abandoned oil wells in a foreground of a mountainous region.* Műszaki Földtudományi Közlemények 89 (1) pp. 347-356
28. **Yetzabbel Flores, Christian Camacho, Rita Miklós, Péter Szűcs, László Lénárt (2020):** *Comparison of the general hydrogeological conditions of the karst water bodies of Hungary and Ecuador.* Geosciences And Engineering: A Publication Of The University Of Miskolc 8 : 13 pp. 131-153. , 23 p.
29. **Dávid Bretán, Péter Szűcs, Rita Miklós, Csaba Ilyés (2021):** *Feasibility of repurposing existing and abandoned hydrocarbon wells in the form of a geothermal well-triplet system.* Multidiszciplináris tudományok: a Miskolci Egyetem közleménye 11 (2). pp. 2-8. doi.org/10.35925/j.multi.2021.2.1
30. **Miklós Rita, Lénárt László, Szűcs Péter (2021):** *Geotermikus viszonyok modellezése Demjén környékén.* XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2021. március 30-április 1., Budapest. pp. 181-185.
31. **Miklós Rita, Lénárt László, Darabos Enikő, Kovács Attila, Czesznak László, Pelczéder Ágnes és Szűcs Péter (2021):** *A Bükk hegység karsztvíz-készleteinek feltárása és hasznosítása.* Hidrológiai Közöny 101 (2). pp. 31-43.
32. **Szűcs Péter, Ilyés Csaba, Miklós Rita, Tóth Márton, Darabos Enikő, Lénárt László, Turai Endre, Kolencsikné Tóth Andrea (2021):** *INNOVÍZ Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében I. Szélsőséges időjárási körülmények hatása a felszín alatti vizek utánpótlódására.* XXVII. Almássy Endre konferencia a felszín alatti vizekről, 2021. szeptember 28-29., Siófok, poszterelőadás.

Beadás dátuma: 2022.04.12.

Jelölt neve: Miklós Rita

---

Miklós Rita