

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 (PhD) értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE:

Miklós Rita

okl. hidrogeológus mérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐK:

Prof. Dr. Szűcs Péter
egyetemi tanár

Dr. Lénárt László
c. egyetemi tanár

2022.április

1. Célkitűzések

A korábbi évtizedekben számos kutatás irányult már a bükki karsztrendszer minél alaposabb megismerésére. A hideg karsztrendszer kiemelt szerepet játszik a Bükk térségében, mivel kiváló minőségű vizet biztosít, és napi szinten körülbelül 400 000 ember nap ivóvízellátása történik belőle. A Bükkalja területe az elmúlt másfél évtizedben termálkarsztvíz kitermelés szempontjából egyre kiemeltebb szerepet kapott, és kap a mai napig is. Az elmúlt évtizedben folyamatosan növekvő, intenzív balneológiai célú termálkarsztvíz termelés folyik Eger-Egerszalók-Demjén térségében, Miskolcon és környékén pedig a kisebb részben ivóvíz ellátás célú vízkivétel mellett a kitermelt víz balneológiai célokra kerül felhasználásra, és 2012 óta Közép-Európa legnagyobb, 60 MW_t kapacitású – a bükki termálkarsztra telepített - geotermikus fűtőműve is itt üzemel.

A kutatók nagy részének megegyezik a véleménye a tekintetben, hogy a hegységben a hideg és a termál karsztrendszer kapcsolatban áll egymással (Darabos, et al., 2014; Lénárt, 1994; Lénárt, 2008; Lénárt, 2022; McIntosh, et al., 2011; Szilágyi, et al., 1980), bár a kapcsolatok erősségének megítélésében vannak eltérések. Emiatt különösen fontosnak tartom e terület részletes vizsgálatát. A dolgozat célkitűzései között szerepel a hegységben a hideg és termál karsztrendszer kapcsolatrendszerének, hidraulikai folytonosságának vizsgálata, ennek különböző módszerekkel történő, számszerű bizonyítása.

Munkám során két kutatási területen (Egerszalók-Demjén, valamint Miskolc és környéke) komplex módszereket alkalmazva céloim a termálkarszt geotermikus viszonyainak vizsgálata, pontosítása. Felhasználom a rendelkezésre álló földtani, vízföldtani információkat (szénhidrogén kutató fúrási adatok, vízföldtani naplókából 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 stratégiailag rendkívül fontos termálkarsztvíz pontos állapotáról.

2. Alkalmazott módszerek és eredmények - Hidrogeotermikus vizsgálatok a Bükki Termálkarsztban

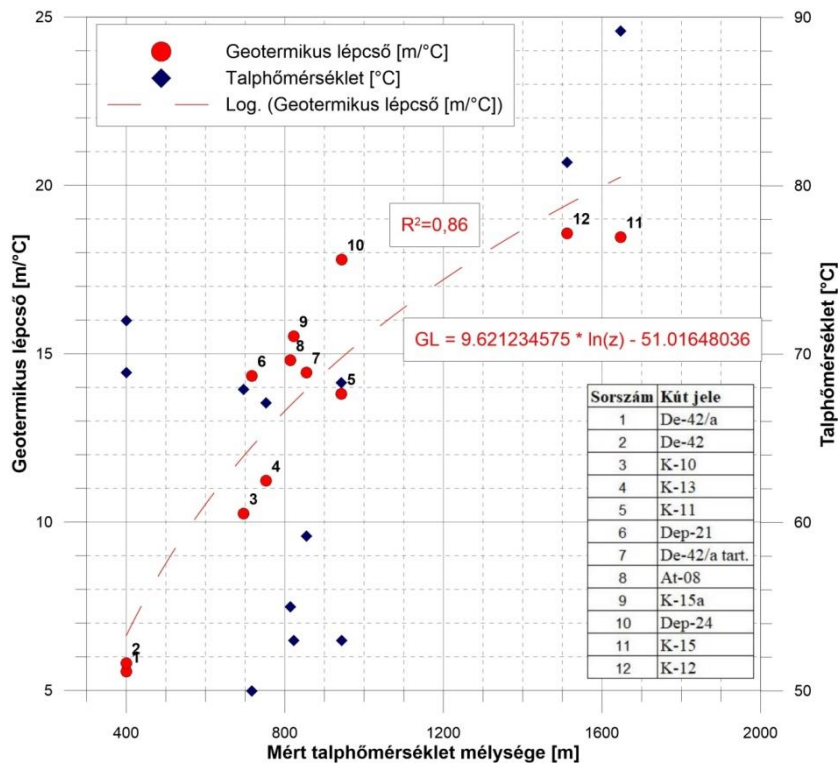
Az elérhető adatok eloszlása alapján a Bükkalján két vizsgálati területet jelöltem ki, melyek Egerszalók-Demjén és térsége, valamint Miskolc és térsége voltak. Amellett, hogy e két területről állt rendelkezésemre kellő mennyiségű adat, a két térség napjainkban termálkarsztvíz termelés szempontjából kiemelt jelentőségű.

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.

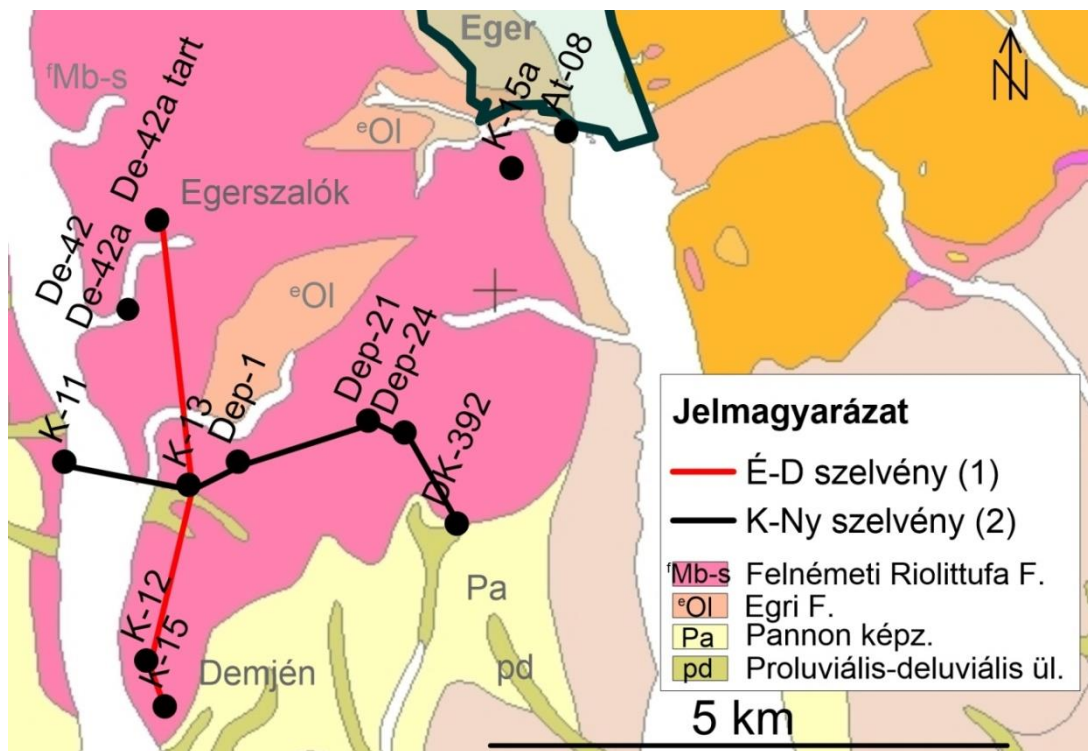
Egerszalók-Demjén térségében fúrási adatok alapján meghatároztam az eocén-triász korú karbonátos vízadó összlet felszínének burkológörbéjét. A térségben kijelölt vizsgálati területen számos fúrási adatsor állt rendelkezésemre, melyhez nem tartoztak talphőmérséklet mérési adatok. Annak érdekében, hogy 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 logaritmikus összefüggéssel írható le, amit a $G_i = 9,6212 \cdot \ln(z_i) - 51,0165$ egyenlettel fejeztem ki (ahol: G_i [m/°C] - geotermikus lépcső a vizsgált pontban, z_i [m]- talpmélység ugyanott) (1. ábra). A kapott 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 megállapított összefüggés segítségével 40 darab 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.

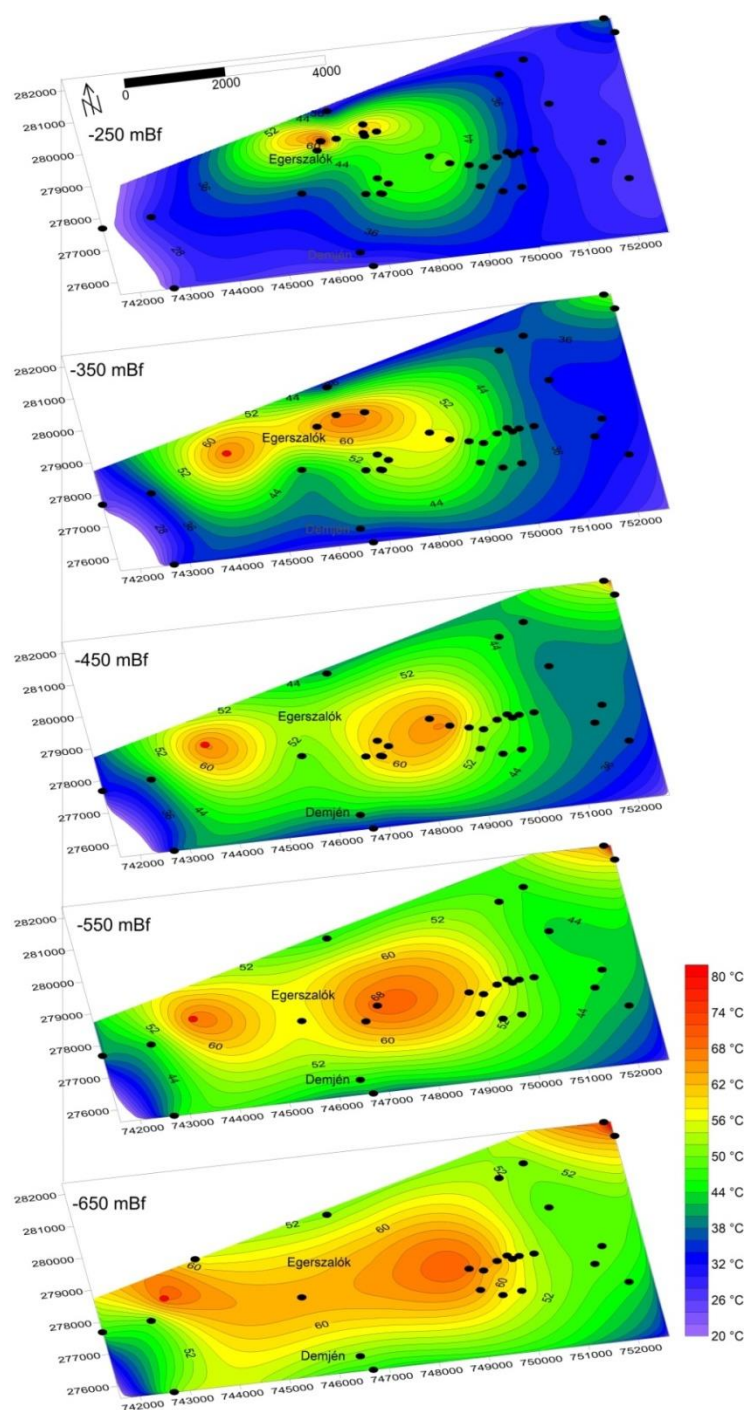
Továbbá, két szelvény mentén (2. ábra), vertikális kiterjedésben hőmérséklet-eloszlást készítettem, és meghatároztam a területen a 30 °C-os izoterma mélységét (4. ábra- 5. ábra).



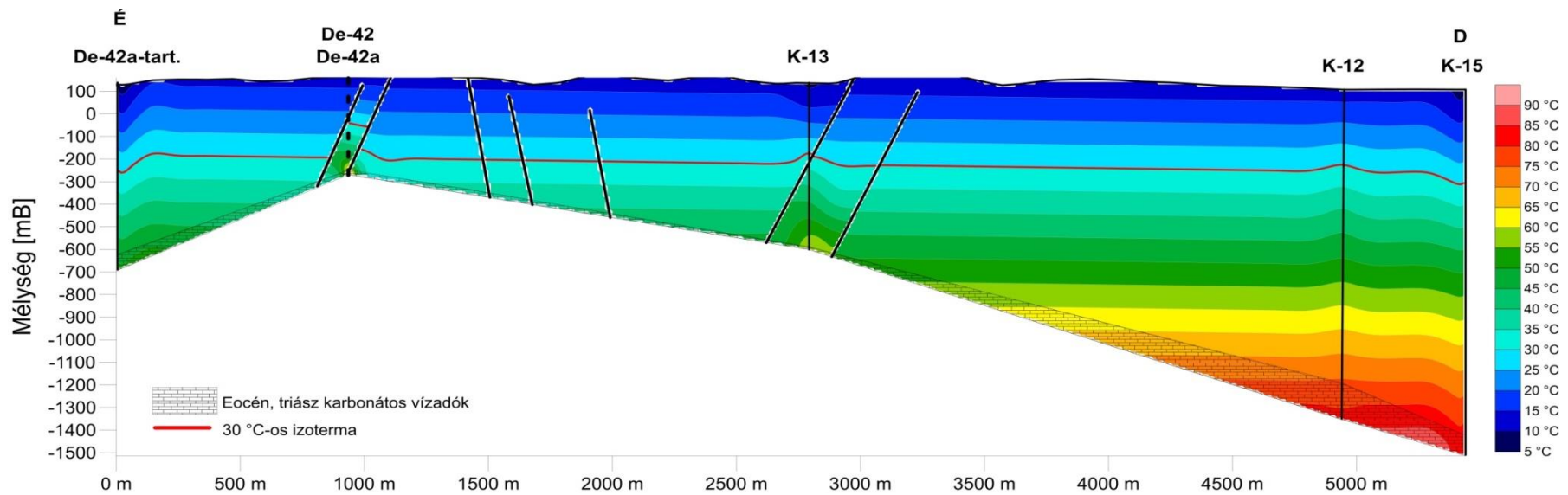
1. ábra Egerszalók-Demjén térségében a jellemző geotermikus lépcső (GL) meghatározásához felhasznált egyenlet ($R^2=0,86$) mellett, megadva a felhasznált hévízkutak geotermikus lépcső és talphőmérséklet adatai (szerző saját szerkesztése)



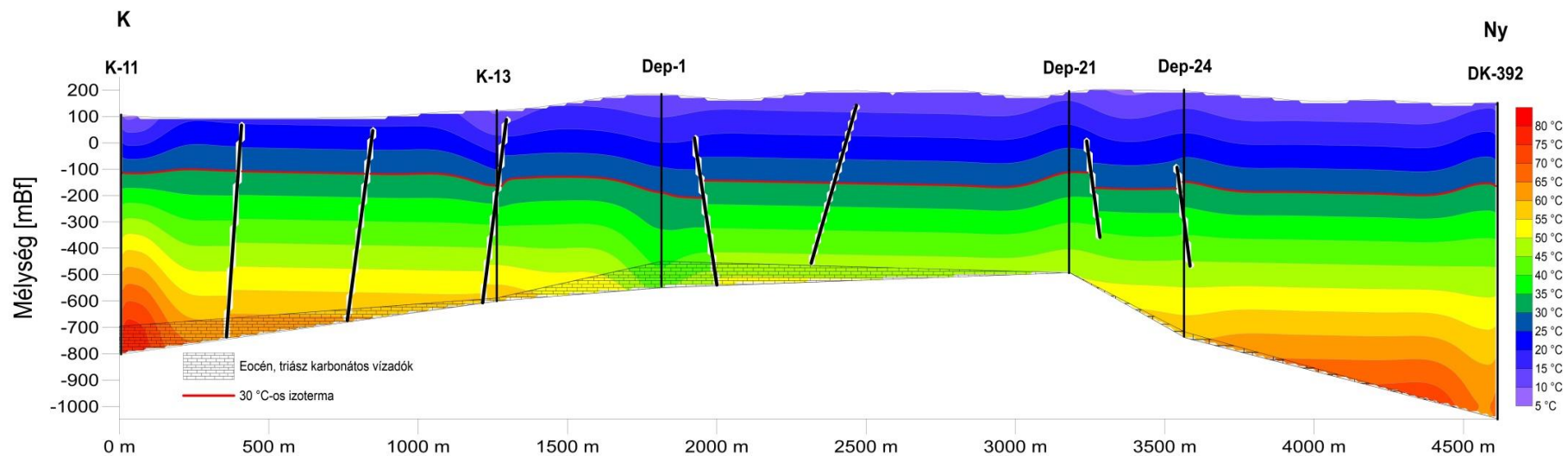
2. ábra A demjéni területről készült szelvények nyomvonalai, a terület fedett földtani térképe (Magyar Állami Földtani Intézet, 2005) nyomán a szerző saját szerkesztése))



3. ábra Az Egerszalók-Demjén térségében a különböző mélység szinteken a hőmérséklet-eloszlás alakulása (piros jelölés: a törérendszer helyzetét reprezentáló pseudo-kút)
(szerző saját szerkesztése)

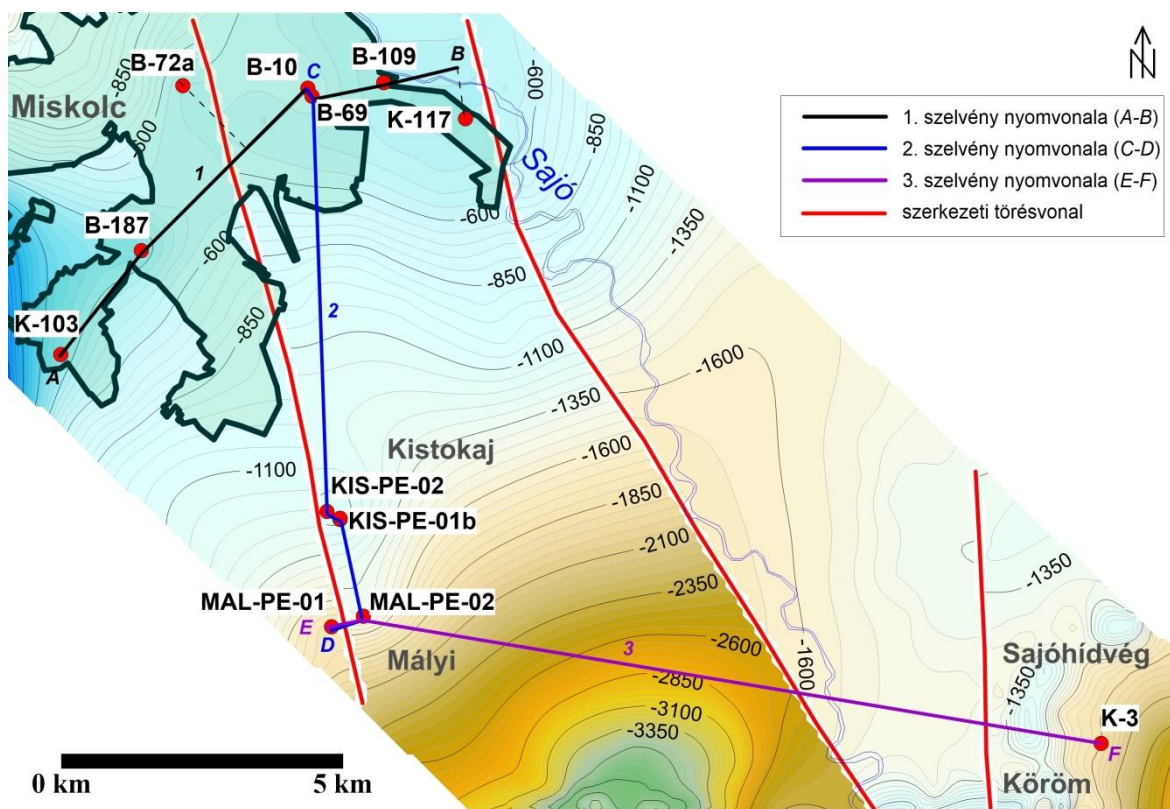


4. ábra Az egerszalóki-demjéni területen készült É-D irányú hőmérséklet-eloszlás szelvény, jelölve a 30 °C-os izoterma, az eocén, triász korú karbonátos vízadók fedőjének burkológörbéje, és fúrások által feltárt rétegvastagságok [a vetők helyzetét Csiky, 1961, 1966 nyomán adtam meg] (szerző saját szerkesztése)



5. 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)

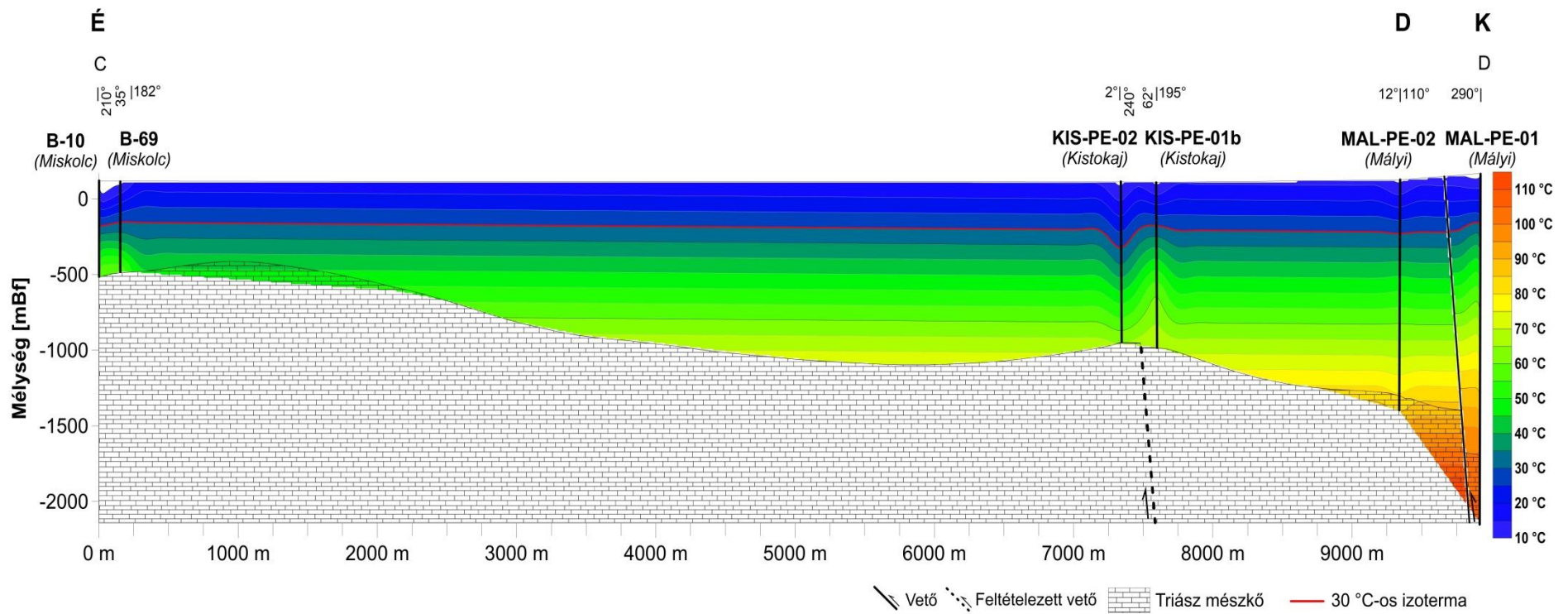
Miskolc és térségében felhasználva a korábbi, és a 2010 után létesült, termálkarsztot elérő kutak adatait, valamint földtani információkat, pontosítottam a területről készült pretercier aljzattérképet (6. ábra).



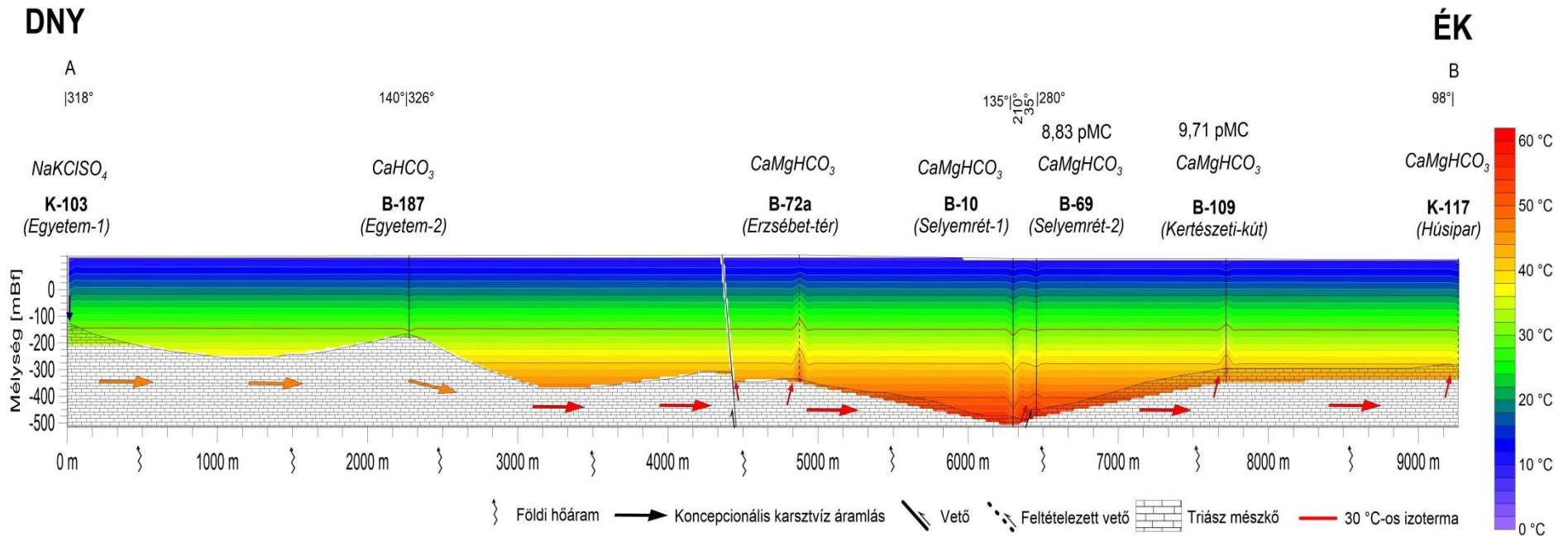
6. ábra A Miskolc és környéke vizsgálati terület pretercier aljzattérképe; a főbb törésvonalak, valamint a három vizsgált szelvény nyomvonala (BTIX Kft., 2010; Lexa, et al., 2000) nyomán szerző saját szerkesztése

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 és ^{14}C mérési eredményeket, elkészítettem a terület koncepcionális karsztvízáramlási képét (7. ábra - 8. ábra).



7. 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]

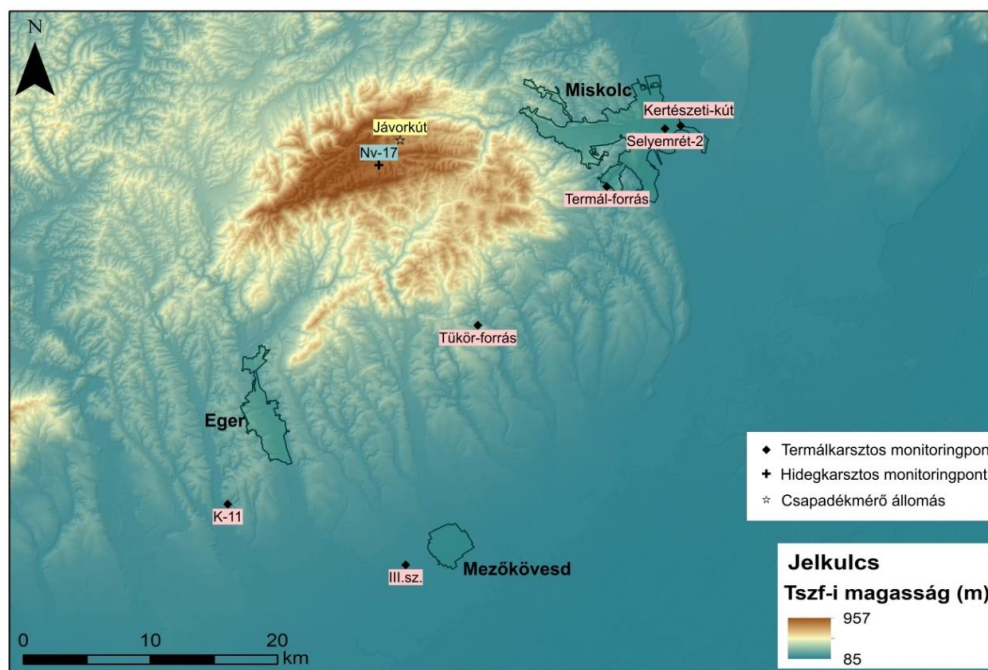


8. ábra A Miskolc és környéke területén készült DNY-ÉK irányultságú elvi hőmérséklet-eloszlás szelvény (2), jelölve a 30 °C-os izoterma és az triász korú mészkő aljzat, három kút pMC (percent Modern Carbon) tartalma, és a termálkarsztvíz koncepcionális áramlási rendszere [szerző saját szerkesztése (BTIX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

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.

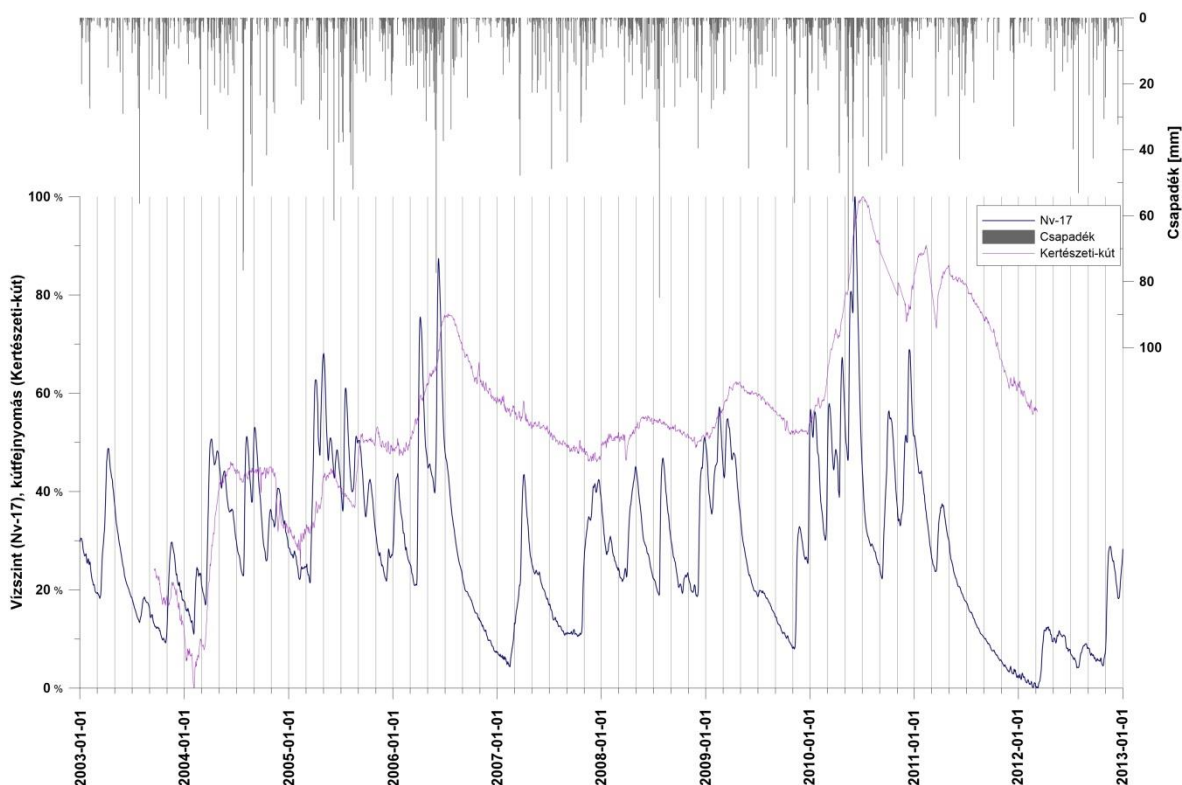
3. Alkalmazott módszerek és eredmények – Idősor elemzések

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 céлом 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. A vizsgált mérőhelyek területi elhelyezkedését az 9. ábra mutatja be.



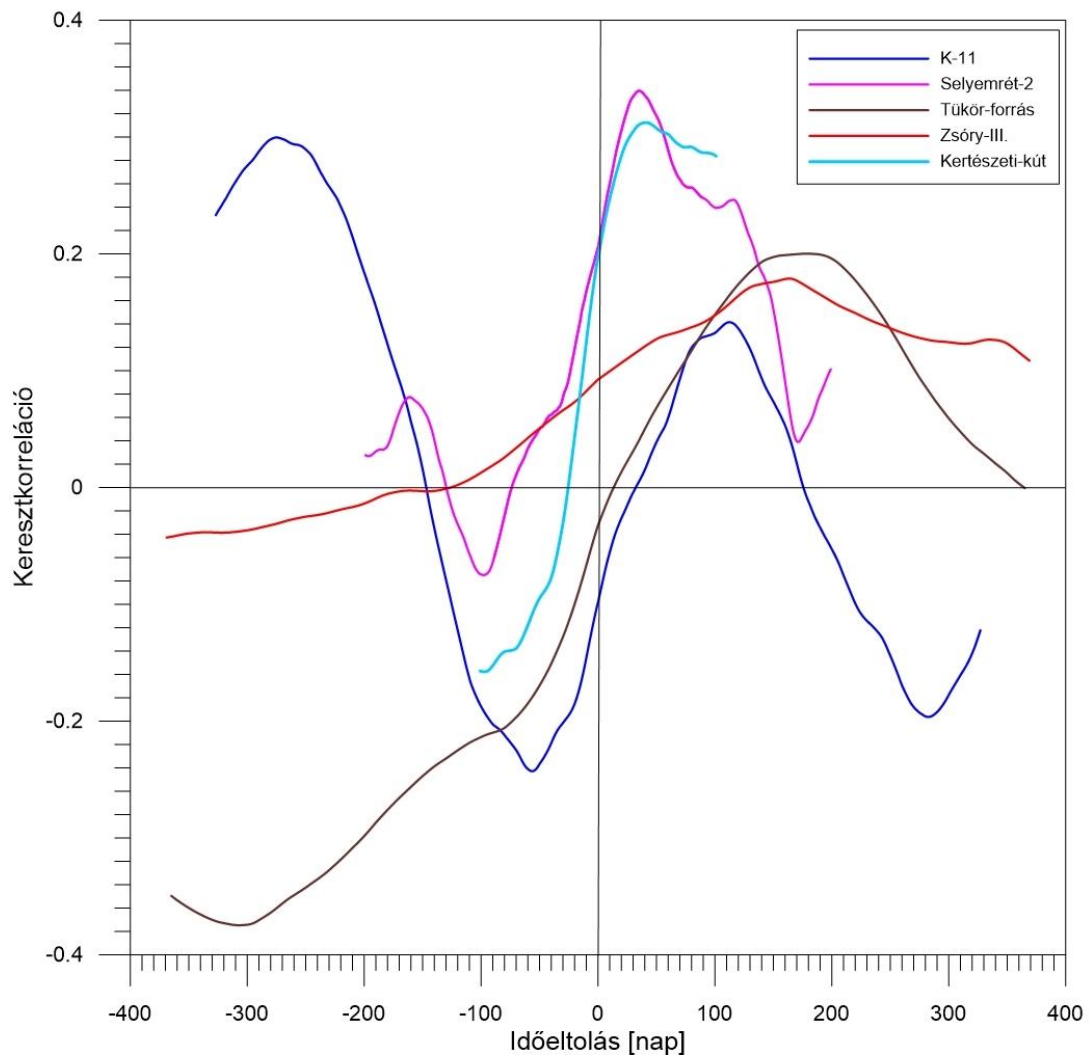
9. ábra A vizsgálatokba bevont mérőhelyek elhelyezkedése (szerző saját szerkesztése)

Első lépésben a mérőhelyek vízszint/nyomás görbéit grafikus úton vettem 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. Példaként az Nv-17 és a Kertészeti-kút önmagukkal normált adatsorainak összevetését mutatom be (10. ábra).



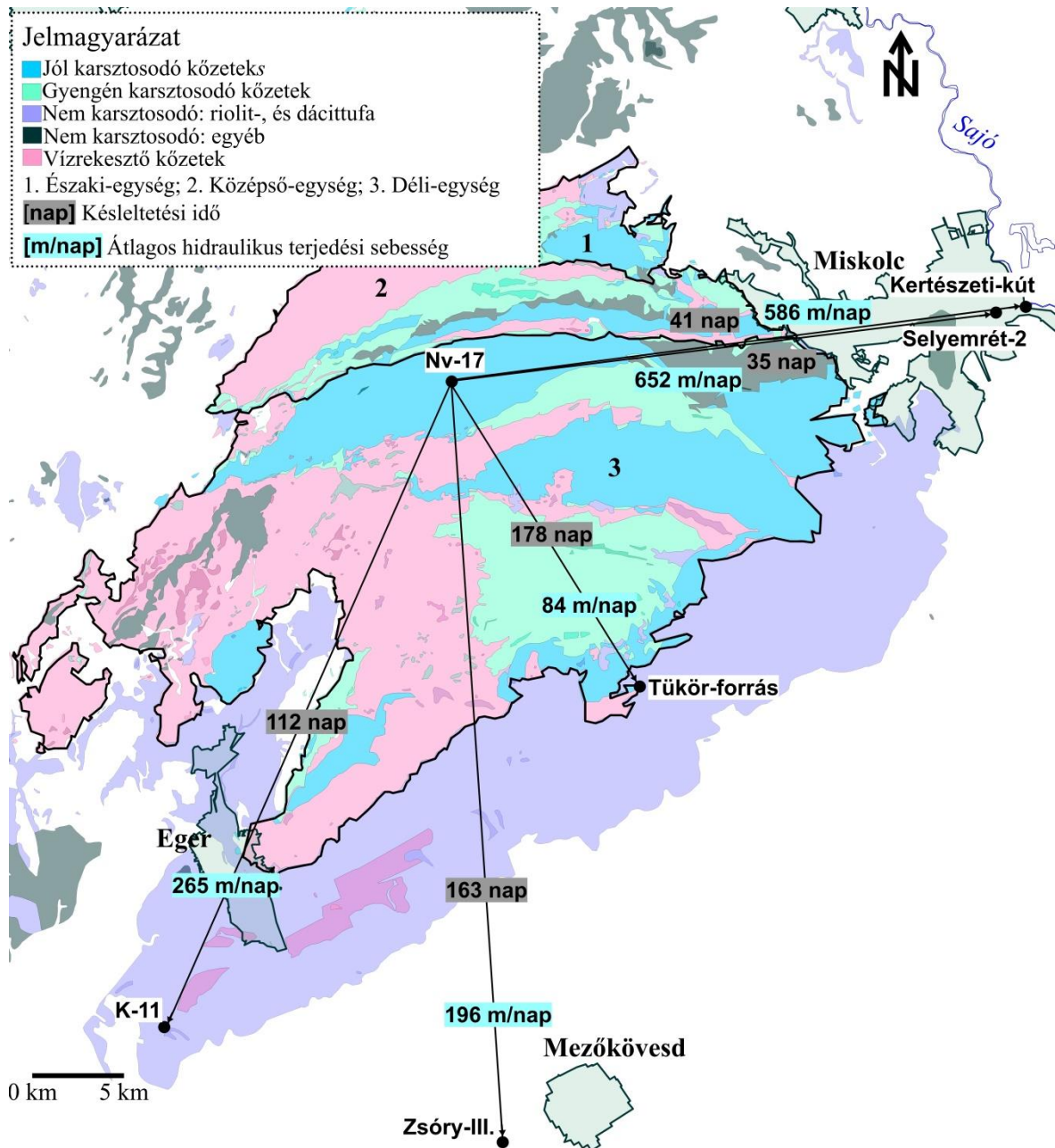
10. ábra Az Nv-17 és a Kertészeti-kút önmagukkal normált adatsorainak összevetése, kiegészítve a jávorkúti csapadékadatokkal 2003-2013 között (szerző saját szerkesztése)

A keresztkorrelációs vizsgálatok elvégzésével bizonyítottam, hogy az Nv-17 és az egyes mérőhelyek között kapcsolat áll fenn, és meghatároztam a késleltetés mértékét (11. ábra). 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.



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

Felhasználva a késleltetési időket, átlagos hidraulikus nyomásterjedési sebességet határoztam meg az Nv-17 és a vizsgált mérőhelyek közötti térrészre vonatkozóan (12. ábra). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Bükk központi területei felől haladva a legjobb hidraulikai kapcsolat K felé adott, melyet a DNy-i, majd a D-i irány követ.



12. 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)

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.

Az idősorokon keresztsspektrál analízist végeztem, mely során a két mérőhely között számított 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 keresztsspektrál 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 (1. táblázat). Ez az eredmény is bizonyítja a Bükkben a hideg és termálkarszt kapcsolatának meglétét.

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

Mérőhely	A koherencia függvény alapján kijelölhető periódusidők [nap]	Keresztsspektrál analízis eredmény alapján kijelölhető periódusidők [nap]	A vizsgált adatsorok Fourier-transzformációja alapján kijelölhető periódusidők [nap]
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

A koherencia vizsgálatok, keresztsspektrál analízis és Fourier transzformációs vizsgálati eredmények összegzése alapján periódusidőket határoztam meg az Nv-17 és vizsgált termálkarsztos mérőhelyek tekintetében (2. táblázat).

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

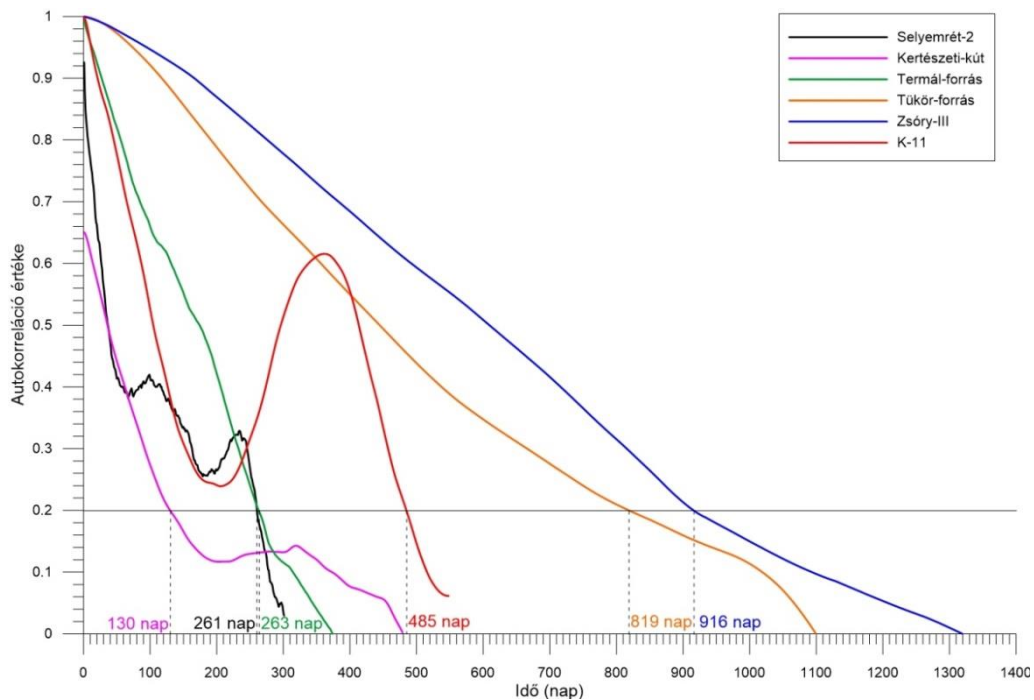
Mérőhely	Periódusidők [nap]
Kertészeti-kút	101-102, 40-42
Selyemrét-2-kút	199-200, 44, 36, 27
K-11	327, 82-84, 47-50, 41-42
Zsóry-III. sz. kút	142-148, 39-47, 22-28
Tükör-forrás	365-366, 61, 49
Termál-forrás	222, 89, 44-49, 30

A továbbiakban spektrálanalízis segítségével periodicitás vizsgálatot végeztem a Bükk központi részén hulló csapadék, Nv-17 vízszint, valamint a termálkarsztos mérőhelyek adatsorain. 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, melynek oka lehet, hogy a Selyemrét-2 kút több árampályáról kapja utánpótlását.

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.

Az 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 adatsorain autokorrelációs vizsgálatot végeztem (13. ábra). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a termeléssel zavart mérőhelyeken a módszer nem alkalmazható eredményesen.



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

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 összletben 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.

4. 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 $G_l = 9,6212 \cdot \ln(z_i) - 51,0165$ 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}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 keresztkorrelációs 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 keresztkorrelációs, 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.

5. A téziszűzetben felhasznált irodalom jegyzéke

1. **Darabos, E. (2017):** Vízkészlet számítás és idősorok elemzése karsztosodottsági jellemzők meghatározása céljából a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer adatai alapján. Miskolc, Miskolci Egyetem, PhD értekezés.
2. **Darabos, E., Tóth, M., Lénárt, L. (2014):** *Karsztvízkészlet-meghatározás módszertani fejlesztése a Bükk példáján.* XVI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia: 16th Mining, Metallurgy and Geology Conference, Székelyudvarhely, Románia, pp. 248-252.
3. **Lénárt, L. (1994):** *Vízmozgások a Bükk-vidéken.* A Bükk-vidék vízkészletvédelméért, pp. 9-16.
4. **Lénárt, L. (2008):** *Hideg, langyos és meleg karsztvíz-zónák a Bükkben és környezetében.* Mineral waters in the Carpathian Basin 5th International Scientific Conference. Csíkszereda, pp. 41-50.
5. **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.
6. **McIntosh, R. W., Kozák, M., Plásztán, J. (2011):** Geológiai értékek a leszálló és termokarszt területek morfológiájának összehasonlítása tükrében. Calandrella 14, pp. 22-33.
7. **Szilágyi, G., Böcker, T., Schmieder, A. (1980):** *A Bükk hegység regionális hidrodinamikai képe és karsztvízforgalma.* Hidrológiai Közlöny 60(2), pp. 50-55.