



MISKOLCI EGYETEM

MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezetője:

Prof. Dr. Szűcs Péter

egyetemi tanár

**A TOKAJI-HEGYSÉG GEOTERMIKUS ÉS HIDROGEOLÓGIAI  
ADOTTSÁGAINAK VIZSGÁLATA**

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**KÉSZÍTETTE:**

Fejes Zoltán

okl. hidrogeológus mérnök

**TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐ**

Prof. Dr. Szűcs Péter

egyetemi tanár

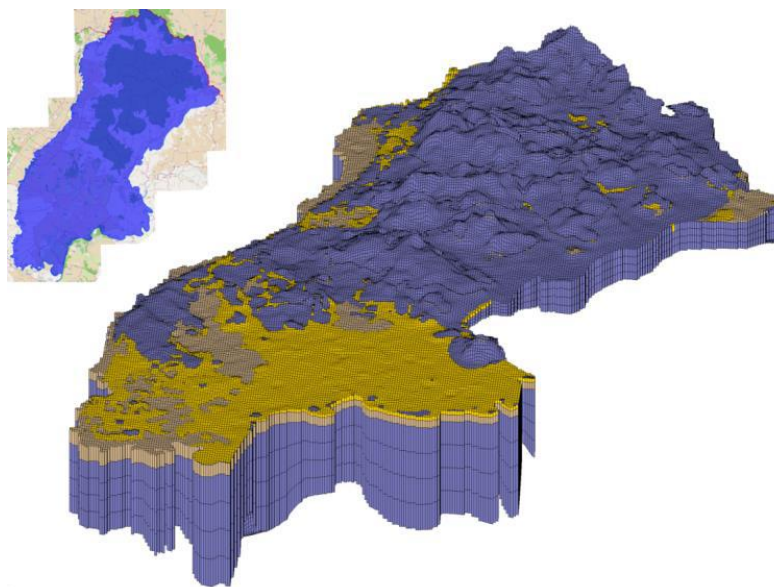
Környezetgazdálkodási Intézet  
Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék  
Miskolc, 2021.



## I. KITŰZÖTT KUTATÁSI FELADAT

A Tokaji-hegység, mint az egyik leghíresebb vulkanikus eredetű hegységünk, főként a borkultúrájáról vált híressé, az itt lévő nagyobb települések az utóbbi évtizedekben azonban többször próbáltak olyan fejlesztéseket végrehajtani, melyek segítségével sikerülne a terület turisztikai és gazdasági potenciálját megnövelni. Az egyik ilyen lehetőség a terület geotermikus potenciáljának a kihasználása, mely során a kitermelt termálvíz-készletek komoly balneológiai, illetve egyéb gazdasági lehetőségeket hordoznak. Az területen végzett termálvíz-kutatások során azonban majdnem minden esetben komoly problémát jelentett a terület geotermikus és hidrogeológiai ismeretanyagának hiánya. A hegység területén végzett néhány vízföldtani kutatástól eltekintve nem történt részletes elemzés a hegység áramlási viszonyairól, sem a geotermális vízkutatás, sem a potenciális ivóvízkészlet mennyiségi és minőségi felmérését illetően. A hegység valódi geotermikus potenciáljának feltérképezése és összefoglalása érdekében elengedhetlené vált egy regionális léptékű ismeretanyag elkészítése, mely komoly alapot nyújt a jövőbeli termálvíz-kutatások számára.

Dolgozatomban kiemelten foglalkoztam azon területek hidrogeológiai, vízkémiai és geotermikus bemutatásával, melyek potenciálisan alkalmasak termálvíz kinyerésére, valamint azon törésszrendszerek kijelölésével, melyek mindaddig termálvíz-kutatási szempontból sokadrangúnak voltak elkönnyelve, azonban kiemelt fontosságúak a mélységi vizek feláramlása szempontjából. A potenciális termálvíz feltárására alkalmas helyszínek kijelölése mellett fontosnak tartottam elkészíteni a hegység vízmérlegét is, hiszen a fenntartható módon kitermelhető termálvíz-készletek és ivóvízkészletek mennyiségének meghatározása elengedhetetlen a felelős vízgazdálkodás során. A kitermelhető mennyiségek meghatározása érdekében a területről szerzett információkkal, kiegészítve a saját kutatási eredményeimmel, elkészítettem az 1. ábrán is látható, Tokaji-hegység regionális léptékű hidrogeológiai modelljét, mely alkalmas lehet Magyarország Vízügyi Gazdálkodási Tervében szereplő víztestek és adatok pontosítására, valamint annak meghatározására, hogy az adott területeken a geotermikus potenciáljukat figyelembe véve milyen termálvíz-hasznosításokra van lehetőség.



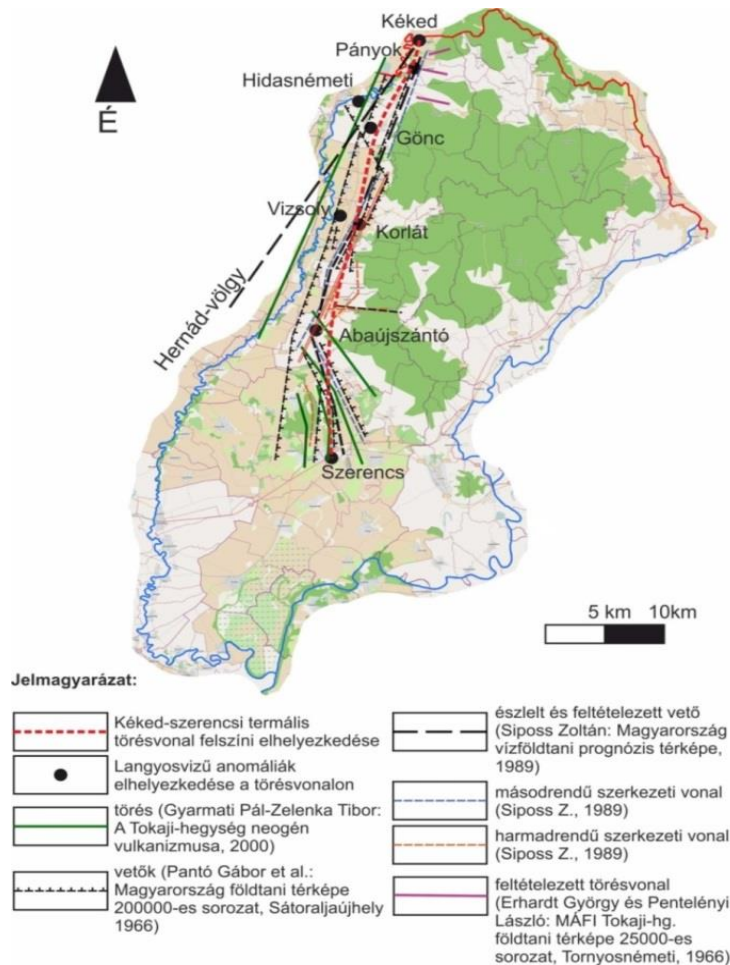
1. ábra: A Tokaji-hegység földtani modellje (szerző saját szerkesztése)

## II. AZ ADATGYŰJTÉS ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

### A KUTATÁSI TERÜLETEN VÉGZETT VIZSGÁLATOK BEMUTATÁSA

A Tokaji-hegység geotermikus és hidrogeológiai szempontú kutatásában első lépésben a hegységről írt szakirodalmak és a korábban elvégzett vizsgálatok biztosították a kiinduláshoz szükséges földtani ismeretanyagot. A Tokaji-hegység területén a múlt század második felében – alapkutatási, térképezési, és ásványi nyersanyagkutatási céllal – sok fúrás létesült. Ezek többsége sekély mélységű, így a mélyebb rétegekről viszonylag kevés információval rendelkezünk. Mélységükből következően az alapfúrások azok, amelyekből a hegység felépítésére, fejlődéstörténetére, az egykor itt zajlott vulkanizmus jellegére a legtöbb adatot kapunk. A legfontosabb szerkezetkutató fúrások, valamint a területről készített szerkezetföldtani és geofizikai térképek alapján meghatározható vált az alaphegység mélységi helyzete. A hegység eddigi geotermikus és hidrogeológiai ismeretanyagáról szintén a hegységről készült szakirodalmak és kutatások nyújtottak segítséget. Az eddigi ismeretanyag alapján már regionális szinten átláthatóvá vált a hegység szerkezetföldtanának és hidrogeológiai rendszereinek kapcsolata, azonban a részletes kép megalkotása érdekében további, lokális ismeretekre volt szükség. Az eddig összegyűjtött tapasztalatok alapján a fő kutatási területnek a Hernád-folyó mentén feltörő langyos vizű anomáliáit választottam, mivel az eddigi adatok alapján itt volt legnagyobb esély a gazdaságosan kitermelhető termálvízkészletek felkutatására.

A Tokaji-hegység nyugati oldalán futó észak-déli irányú Hernád nagyszerkezeti törésvonal nemcsak a hegység nyugati peremét jelöli ki, hanem a térség termálvízkutatása szempontjából is kiemelten fontos. A hatalmas tömegű vulkáni kőzetben, a képződő feszültségtér hatására, lépcsőzetes törések alakultak ki észak-déli irányban. A hegység magasabban fekvő részein lehullott, majd a mélybe szivárgott csapadék e törésvonalakon át feláramlik a felszínközelbe, és pozitív geotermikus anomáliákat okoz. Az egyik legjelentősebb, ismert termális törésvonal Kékedtől indul, s egészen Szerencsig nyomon követhetőek a langyosvizű vízfeltörések (Szófogadó, 1961). E törésvonal mentén feláramló langyos vizek közül néhány már több évtizede ismert, bár kellően részletes kutatás eddig nem történt. A termális törésvonal mentén több helyszínen is végeztem terepi vizsgálatokat. A vizsgálati helyszíneket a más kutatók által elvégzett terepi kutatások, a szakirodalom és a területen végzett geofizikai vizsgálatok alapján választottam ki. A kutatási helyszíneken vízmintákat is vettem, melyeket megvizsgáltam a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Intézeti Tanszékének laboratóriumában. A langyos vizet szolgáltató források és kutak vizében főként az oldott ásványi anyagok mennyiségét és összetételét vizsgáltam, valamint a vizek trícium- és oxigén-izotóptartalma alapján azok látszólagos korát is meghatároztam. A Kéked-Szerencs termális törésvonal feltételezett felszíni elhelyezkedését, illetve a langyosvizű anomáliák helyét a 2. ábrán mutatom be.



2. ábra: Kéked-Szerencs termális törésvonal felszíni elhelyezkedését, illetve a langyosvízű anomáliák elhelyezkedése (szerző saját szerkesztése)

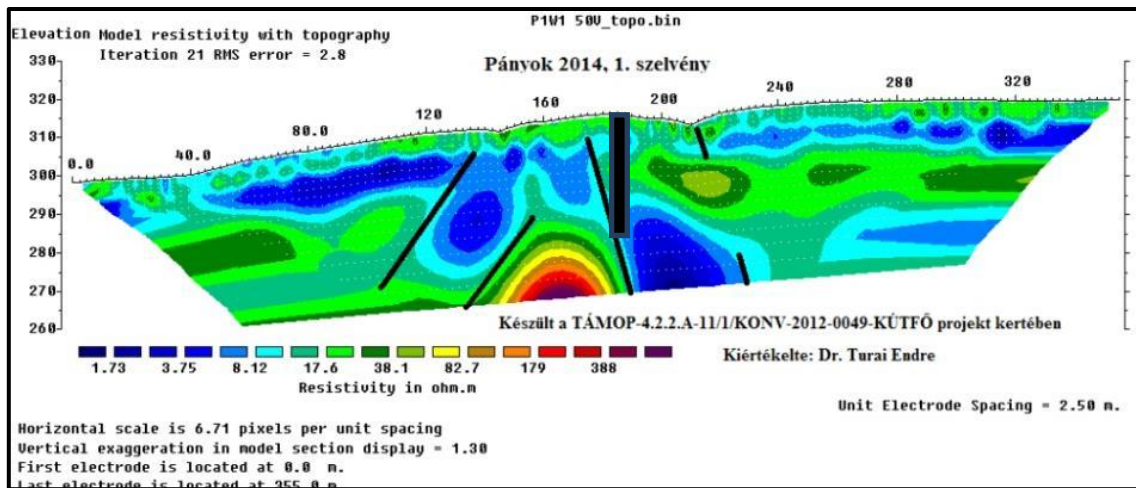
Látható, hogy a langyos vízű anomáliákat okozó törésvonalat több térképen is jelölték, azonban pontos elhelyezkedését illetően nem történt ezidáig részletes kutatás a területen. Az általam berajzolt Kéked-Szerencsi törésvonal feltételezett felszíni elhelyezkedését a korábbi szeizmikus olajkutatási célú kutatások, a felszíni geoelektromos vizsgálatok, a területről készített szerkezetkutató térképek, valamint a Kútfő projekt során elvégzett saját magam által elvégzett multielektrodás és VESZ (Vertikális Elektromos Szondázás) geofizikai méréseim alapján jelöltem ki.

A VESZ mérés során, a tápelektrodákon keresztül áramot vezetünk a talajba, aminek hatására egyenáramú áramtér jön létre, az így kialakuló feszültségkülönbség pedig két mérőelektroda között megmérhető. A mért értékekből kiszámíthatjuk a felszín alatti féltér látszólagos fajlagos ellenállását, mely a rétegződés és az elektródaelrendezés geometriai állandóval jellemzett hatását is magán viseli. Tekintve, hogy a különböző típusú kőzetek fajlagos ellenállása (anyagi minőségük különbözősége-, vagy valamely azt befolyásoló külső hatás miatt) általában eltérő, a VESZ alkalmas a földtani felépítés meghatározására.

A multielektrodás vizsgálat hasonló a VESZ (Vertikális Elektromos Szondázás) méréshez, mivel itt is az egyes kőzetek eltérő elektromos tulajdonságainak figyelembevételével rajzolható fel a felszín alatti tér rétegtani és tektonikai sajátossága. A multielektrodás mérés esetén a tápelektroda és a mérőelektroda helyzetét módosíthatjuk, így

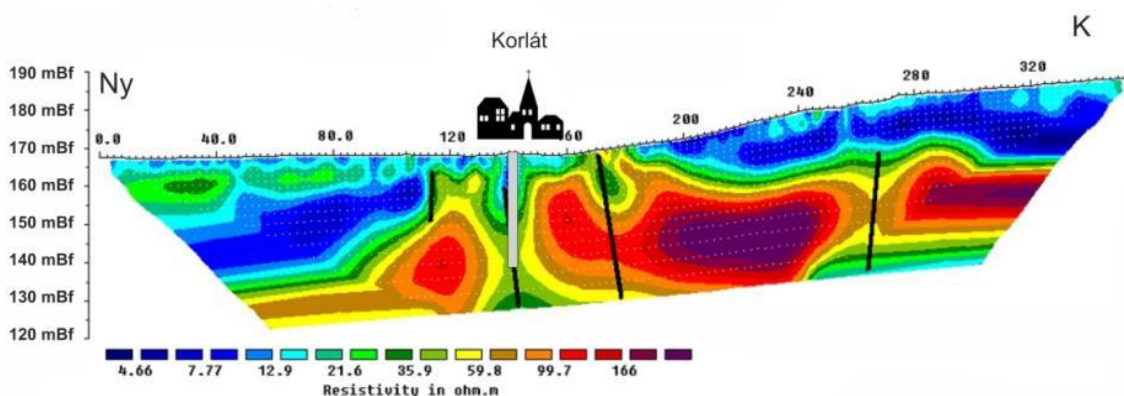
jóval részletesebb fajlagos elektromos ellenállás képpel rendelkező szelvény nyerhető a felszín alatti térrészről.

A hegység nyugati oldalán elhelyezkedő langyosvízű feláramlások közül Pányokon, Korlátan, Abaujszántón és Szerencsen végeztem felszíni geofizikai vizsgálatot. A Pányokon elvégzett multielektrodás vizsgálatok eredményeképpen elsőként sikerült beazonosítani és leírni egy eddig ismeretlen termáلكutat, mely bizonyítja, hogy a hegység alkalmas lehet a gazdaságosan kinyerhető terálvíz-készletek feltárására (3. ábra) (Fejes és társai (1), 2015) (Fejes és társai (2), 2015).



3. ábra: A pányoki multielektrodás geofizikai mérés egyik szelvénye (szerző saját szerkesztése)

Korlátan a multielektrodás vizsgálat eredményeképpen sikerült a település langyos vizet szolgáltató vízműkútja és a mellette fekvő langyosvízű Tapolca-tó utánpótlódását biztosító törést kimutatnom, mely a vízkémiai és vízkor vizsgálatokkal együtt bizonyítja a feltörő víz mélységi eredetét (4. ábra).



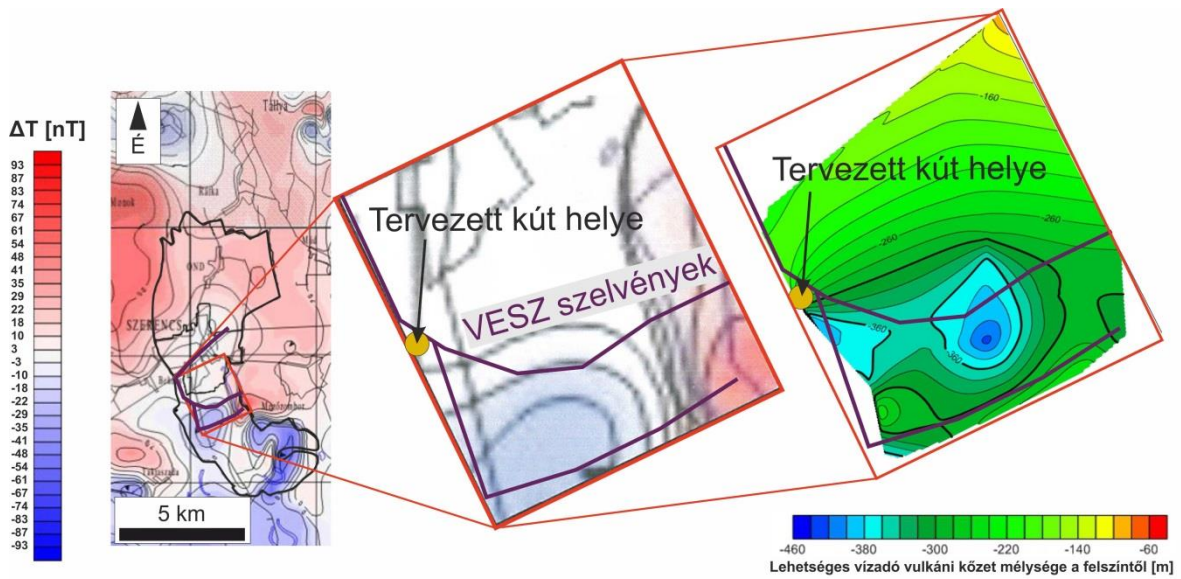
4. ábra: A korláti nyugat-kelet irányú multielektrodás geofizikai szelvény, a törést szűrőző kúttal (szerző saját szerkesztése)

A Korláttól délre fekvő Abaújszántói fürdő langyos vizének utánpótlódására már ezt megelőzően is végeztek részletes felszíni geofizikai kutatást. A korábbi kutatások és a saját terepi geofizikai vizsgálatom eredményei alapján sikerült behatárolnom a felszín alatti vetők helyzetét, melyek részt vesznek a mélységi langyos vizek áramoltatásában (5. ábra).



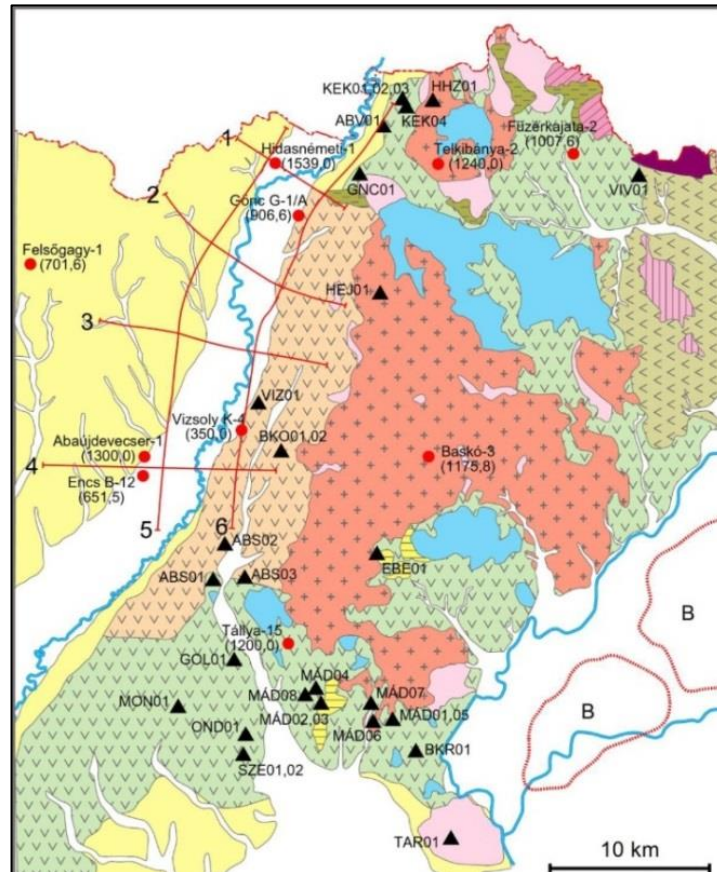
5. ábra: A geofizikai vizsgálatok alapján behatárolt vetők felszíni nyomvonalai (szerző saját szerkesztése)

Szerencs déli részén az ott elvégzett VESZ mérési sorozatom eredményei alapján sikerült feltárni egy felszín alatti vulkáni kitérési központot is, mely eddig nem szerepelt egyik földtani térképen sem (Zelenka és társai, 2012). Ez utóbbin a geofizikai eredmények alapján sikerült egy potenciális termálkút helyzetét is meghatároznom (6. ábra).



6. ábra: A vizsgálati területről készített légi mágneses térkép összehasonlítva a területen készített földi VESZ mérések eredményeivel (szerző saját szerkesztése)

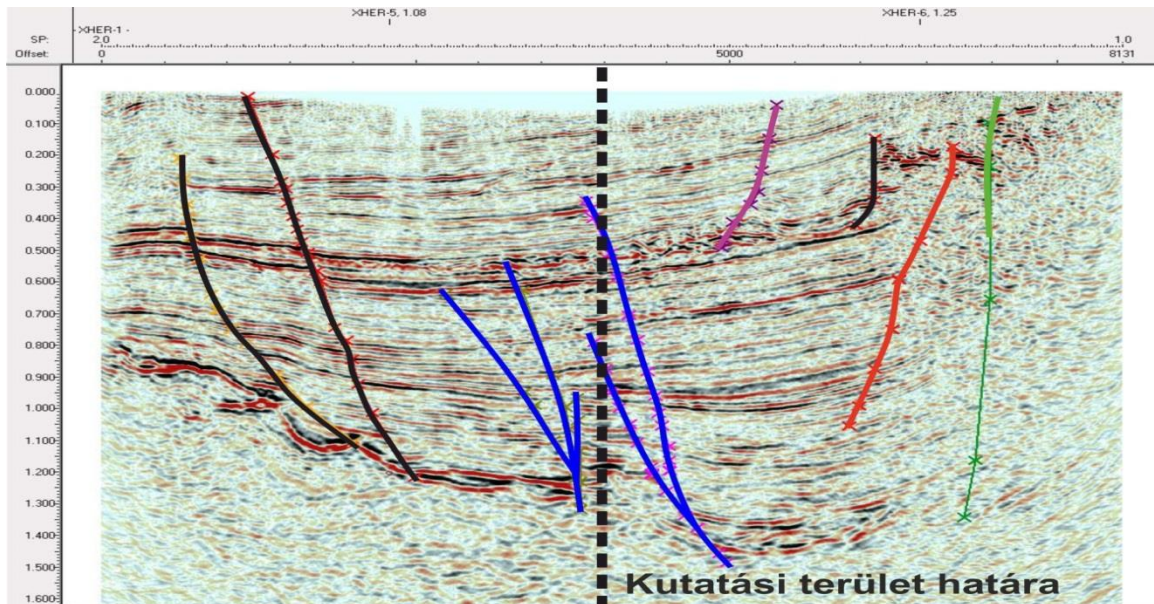
Az eddigi kutatási helyszíneken kívül kiemelendő helyszín Hidasnémeti is, ahol az eddig bemutatott geofizikai vizsgálatok helyett olajkutatási céllal 6 db szeizmikus szelvény készült, melyek az Szlovák-Magyar országhatártól egészen Abaújszántóig tartanak a Hernád-völgyben (7. ábra).



7. ábra: A Hernád-völgyben kijelölt szeizmikus mérések nyomvonalai (Bodor, 2011)



A szeizmikus szelvények behatolási mélysége igencsak változatos. Míg a Hernádtól nyugatra eső területeken akár 900-1000 m-es mélységből is kapunk információt, addig keletre a Tokaji-hegység oldalában a behatolási mélység alig pár száz méter. Az olajkutatási céllal készült szelvények elemzése azonban sok információt szolgáltat a felszín alatti törések helyzetéről, melyek közül számos részt vesz a mélységi vizek felszínközelbe jutásában (8. ábra).



8. ábra: 1. számú kelet-nyugat irányú szeizmikus szelvény (szerző saját szerkesztése)

A terepi mintavételek és vizsgálatok tapasztalatait mellett a Tokaji-hegység vízháztartási vizsgálatokra alkalmas regionális léptékű hidrogeológiai modelljéhez szükséges alapparaméterek közül számos adat a továbbiakban sem állt rendelkezésemre, ezért a hiányzó adatokat további saját mérésekkel egészítettem ki. A modell elkészítéséhez az alábbi adatokra végeztem adatgyűjtést:

1. Kutak és források hidrogeológiai és geotermikus paraméterei
2. Tokaji-hegység koncepcionális áramlási modellje
3. A kutak szivárgási tényezőjének terepi meghatározása
4. Beszivárgási, utánpótlódási vizsgálatok a hegységben

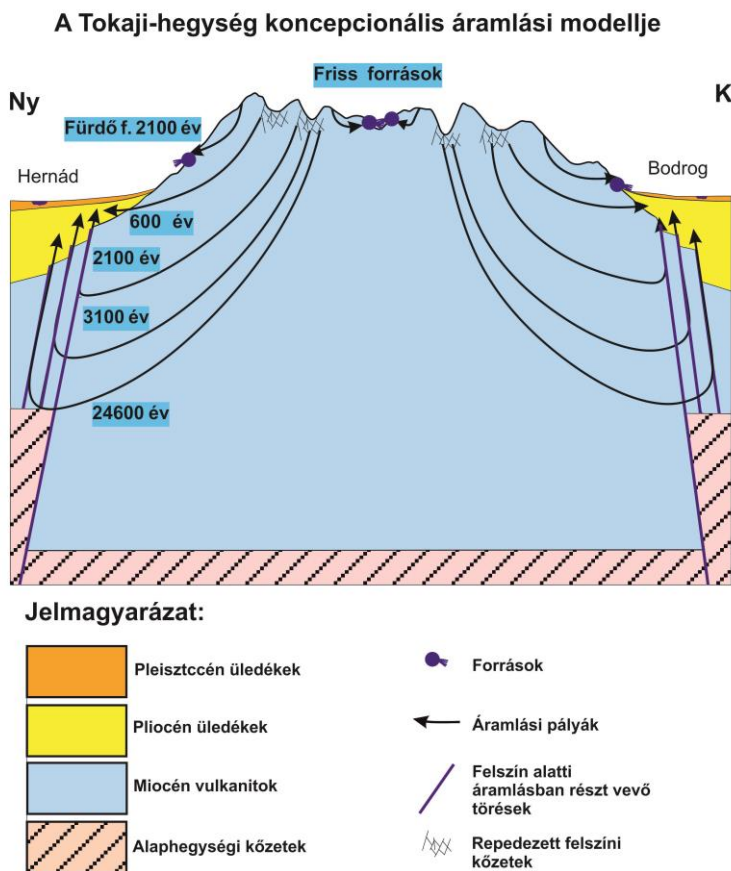
A vizsgálati területen több száz kút és forrás található. Ezek vízkémiai és hidrogeológiai paraméterei azonban több különálló adatbázisban lettek rögzítve, így korábban nem volt lehetőség regionális mértékű következtetések levonására. A kutatásom során a Tokaji-hegység forrásainak és kútjainak hidrogeológiai és geotermikus paramétereit összegyűjtöttem, az eddig a területen végzett vízkémiai vizsgálatokat rendszereztem, és ezekből egy hidrogeológiai és egy vízkémiai adatbázist építettem.

Az általam összeállított Hidrogeológiai adatbázis az alábbi adatokat tartalmazza:

1. Források/kutak helyparaméterei (EOV koordináták, mBf magasság, település stb.)
2. Vízadó rétegek adatai (szűrőzések, vízadó anyaga, hőmérsékleti értékek stb.)
3. Kúthidraulikai paraméterek (nyugalmi vízszint, üzemi vízszint, hozam stb.)
4. Geotermikus paraméterek (kifolyó víz hőmérséklet, talphőmérséklet stb.)

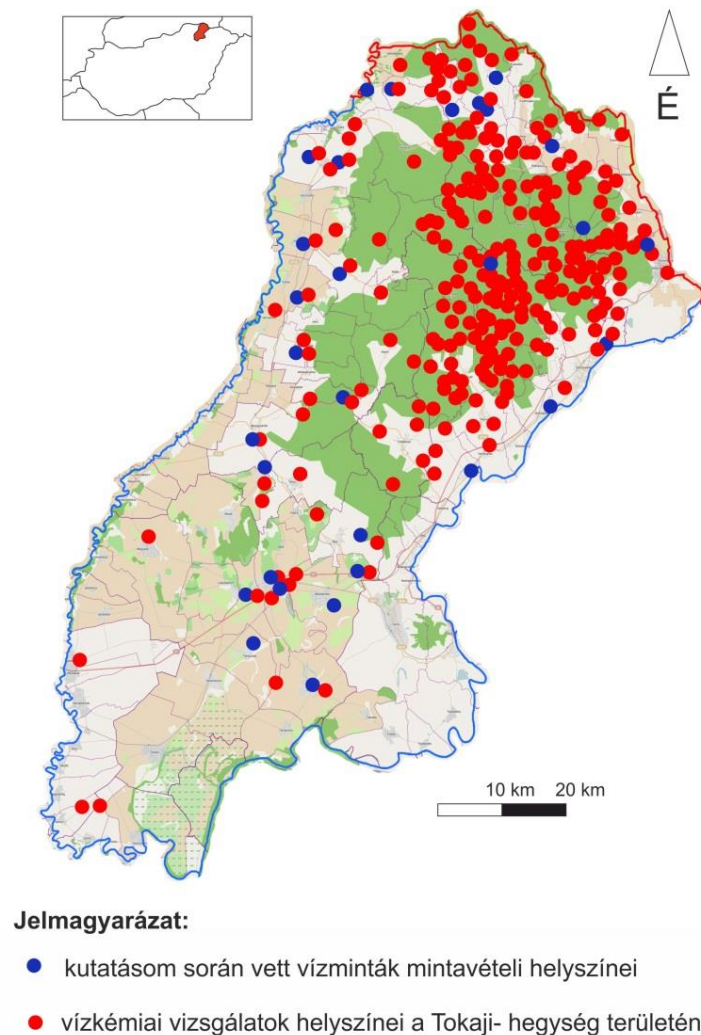
A területen végzett eddigi hidrogeológiai kutatások és tapasztalatok alapján elkészítettem a hegység koncepcionális áramlási modelljét (9. ábra), melynek megfelelőségét a peremi részeken található kutak és források kifolyó vizének magasabb hőmérséklete, nagyobb és stabilabb hozama, a feláramló vizek vízkémiai összetétele, valamint a vizek izotóp tartalma is igazolja.

A Tokaji-hegység és környezetének kutatása során 34 település területén, 50 forrás és kút vizéből vettem vízmintát vízkor meghatározás céljából, melyeken a vizek trícium és  $^{18}\text{O}$  izotópjait vizsgáltam. A vízminták látszólagos vízkor eredményei is igazolják a terület felszín alatti vizeire készített koncepcionális áramlási modell helyességét. A 9. ábrán látható, hogy míg a hegység belsejében levő források vize friss, a trícium izotóp tartalma magas, addig a nyugati hegységperemi területeken kialakult források és kutak esetében a felszín alatti vizek a törésvonalakon át hosszú áramlási pályákon jutnak el a Hernád-völgyébe.



9. ábra: A vízkor eredmények ábrázolása a koncepcionális áramlási modellen (kelet-nyugati szelvény) (szerző saját szerkesztése)

A Tokaji-hegység forrásainak és kútjainak vízminőségével több szerző is foglalkozott ezt megelőzően (Havassy, 2004) (Szűcs és Ritter, 2008) (Mátyás, 1984). Összegyűjtöttem a Tokaji-hegységgel foglalkozó nagyobb forráskatasztereket és vízkémiai adatbázisokat annak érdekében, hogy a korábbi eredményeket összevethessem a saját méréseimmel, így vizsgálva a vizek minőségének időbeli változását, valamint a regionális áramlási rendszerek sajátosságait. Ezek alapján összesen 37 vízmintát vettem (22 kút és 15 forrás), melyek rutinkémiai vizsgálatát a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék laboratóriumában végeztem el, valamint a vett vízmintákat több vízkémiával foglalkozó akkreditált laboratóriumba is elküldtem termásvízkomponensek, mikroelemek, valamint vízkor meghatározása céljából. A hegységben eddig elvégzett és a saját kutatásom során vett vízkémiai mintavételi pontok helyzetét a 10. ábrán mutatom be.



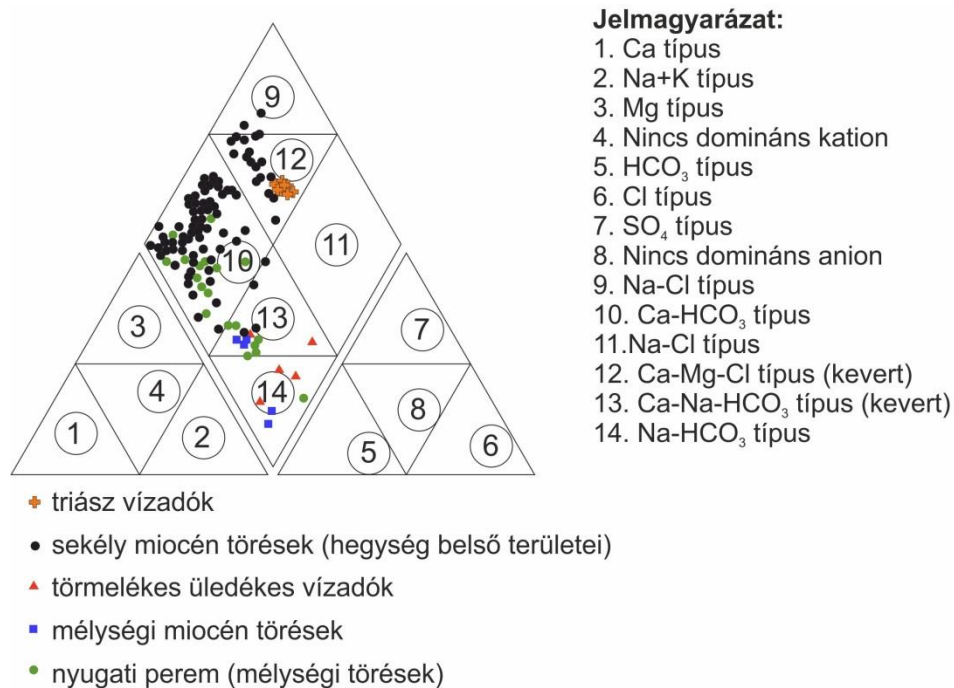
10. ábra: A hegységben eddig elvégzett és a saját kutatásom során vett vízkémiai mintavételi pontok helyzete (szerző saját szerkesztése)

Az eddigi mérések és a saját méréseim felhasználásával létrehoztam egy egységes vízkémiai adatbázist, mely egyesíti a kutatási területen eddig elvégzett összes vízkémiai mérés eredményét. Az adatbázis 70 település, több mint 240 db forrásának és kútjának, több

mint 880 db vízkémiai elemzését tartalmazza. Az adatbázis összeállításakor az alábbi paramétereket gyűjtöttem össze, annak érdekében, hogy a vízkémiai összefüggések kimutathatók legyenek:

1. Források/kutak helyparaméterei (EOV koordináták, mBf magasság, település stb.)
2. Vízadó rétegek adatai (szűrőzések, vízadó anyaga, hőmérsékleti értékek stb.)
3. Vízkor vizsgálatok adatai ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ )
4. Rutinkémiai komponensek ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  stb.)
5. Nyomelemek (As, B, Cd stb.)

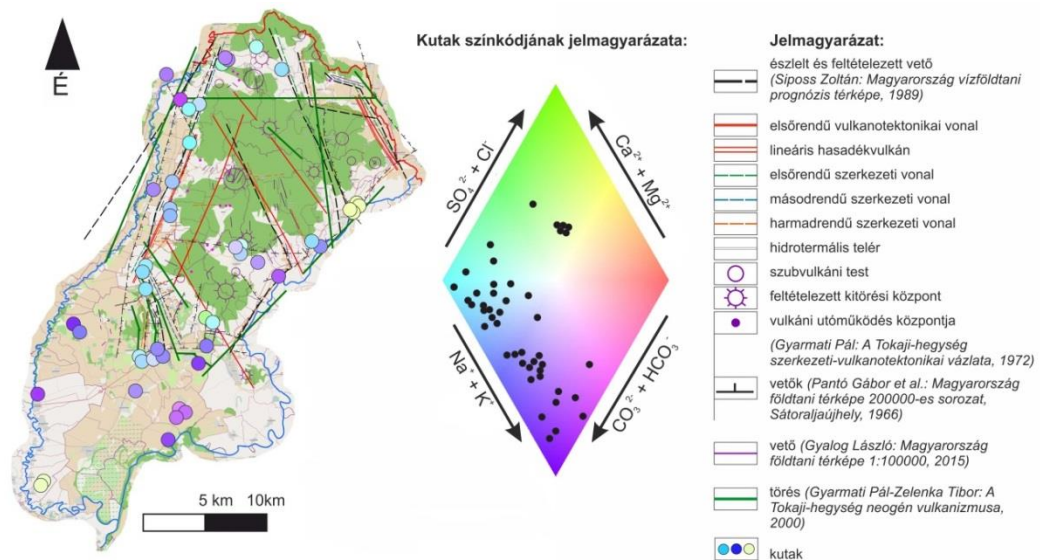
A vízkémiai adatbázisban összegyűjtött több száz kút és forrás közül kiválasztottam 131-at, melyek kellően részletes vízkémiai adatsorral rendelkeznek. A dolgozatomban felhasznált vízkémiai mérések eredményeit a 11. ábrán mutatom be, ahol a hegység egyes területeit ábrázolom érdekében, hogy láthatóak legyenek a hegység egyes területei közti vízkémiai eltérések.



11. ábra: A területen lévő kutakból és forrásokból vett vízminták Piper-diagramon való értelmezése (szerző saját szerkesztése)

Az összegyűjtött értékek jobb ábrázolása érdekében egy újfajta, Background Color Scheme elnevezésű grafikus ábrázolási módszert alkalmaztam, melyet eddig csak folyóvizek vízminőségváltozásának bemutatására alkalmaztak, de ahogy a 12. ábrán is látható, jól használható a kutak vízkémiai paramétereinek ábrázolására is (Szűcs és társai (2), 2014). A HSV diagramon ábrázolt pontok mindegyikéhez egy színkódot rendelünk, a térképi ábrázolás is lehetővé válik. A háromszögdiaagram csúcsaiban elhelyezkedő értékek koordinátaíhoz hozzárendeltem a HSV színrendszer egy-egy paraméterét. A HSV színrendszer a színeket a színárnyalathoz (H - Hue), telítettséghez (S - Saturation) és a világosságához (V - Value)

kapcsolja. A diagram minden pontja ezen értékek arányából áll, így egy színátmenetes skálát kapunk, melyen ábrázolva a pontjainkat, az egymástól eltérő vízkémiájú vízminták eltérő szinkulccsal fognak rendelkezni (Luk, 2013) (Fekete és társai, 2014).



12. ábra: A Tokaji-hegység fontosabb szerkezeti vonalai a hegység kútjainak szinkóddal jelölt anion és kation arányának függvényében (szerző saját szerkesztése)

A hidrodinamikai modell felállításához fontos ismernünk a vízáramlásban részt vevő kőzetek hidrogeológiai paramétereit. Ezeket a hegységben telepített kutak próbaszivattyúzási vizsgálataiból tudjuk a legegyszerűbben meghatározni. A hegység területén lévő azon kutak esetén, amelyek nem rendelkeztek szivárgási tényező eredményekkel és lehetőségem nyílt rá, elvégeztem a terepi próbaszivattyúzási vizsgálatot. A hagyományos próbaszivattyúzási eljárások azonban csak porózus közeg esetén adnak pontos értéket, vulkanikus kőzetek esetén nem áll rendelkezésre információ ezek alkalmazhatóságával kapcsolatban. A Dr. Székely Ferenc által megalkotott WT (WellTest) szoftver kiemelten alkalmas több, eltérő paraméterekkel rendelkező porózus rétegek próbaszivattyúzásának kiértékelésére, de mindeközéig a szoftver nem került tesztelésre vulkanikus eredetű repedezett vízadóknál. Célom volt az új WT módszer számítási eredményeit összehasonlítani a Theis féle egykutas visszatöltődéses modellel, annak érdekében, hogy meghatározzam a módszer eredményességét vulkanikus vízadó rétegek esetén is. A módszer kiválasztásához a füzérkomlói 1. számú kutat, a hejcei 3. számú kutat és a megyaszói 4. számú kutat jelöltem ki, ahol a terepi próbaszivattyúzási vizsgálatokat elvégezhettem. A próbaszivattyúzás során kapott adatokat egy kutas Theis visszatöltődéses módszerrel és a WellTest szoftverrel is kiértékeltem. Theis (1935) matematikai megoldása rendkívül hasznos a zárt tükrű vízadó réteg hidraulikai tényezőinek (elsősorban a transzmisszivitás) meghatározására. A hagyományos Theis módszer esetén a termelőkúton kívül szükség van legalább még egy monitoring kútra, hogy a monitoring kútban tapasztalható vízszintváltozásból nyerjünk ki információkat. A Theis visszatöltődéses módszer esetén azonban csak a termelőkútra van szükségünk, melyben a kútba visszaáramló vízből nyerhetünk fontos adatokat. A maximális

termelési hozammal leszívott, depresszionált kútban, amikor beáll a statikus üzemi vízszint, a bűvárszivattyút kikapcsoljuk. Ekkor a vízszint emelkedni kezd, és ezt a vízszintváltozást az idő függvényében regisztráljuk. A görbe lefutása jellemző az adott réteg nyomásviszonyaira, utánpótlódási viszonyaira és szivárgási tényezőjére (Röhrich, 2007). A kiértékelési módszer előnye annak gyorsasága és egyszerűsége, melynek eredményeként akár a próbaszivattyúzást követő pár percen belül a terepen meghatározható számos hidrogeológiai paraméter. A módszer nem vesz figyelembe néhány fontos tényezőt (pl. rétegek közti átfejtődést), így a kapott eredmény nem minden földtani közegben tükrözi megfelelően a valós értékeket.

A WT szoftver Dr. Székely Ferenc, az MTA doktorának hazai fejlesztésű eszköze, mellyel akár 500 modellréteg közti vízáramlás is szimulálható, így jóval részletesebb képet nyújt a valós felszín alatti áramlásokról (Székely, 2010). A WT szoftver eddig porózus és karsztos tárolókban került felhasználásra maximálisan 109 modellréteg alkalmazásával, azonban a vulkanikus vízadók esetén mindeközéig nem került tesztelésre a szoftver használhatósága. A szoftver eddigi hazai, kuvaiti, amerikai, szlovák és hollandiai használata sikerrel zárult (Székely és társai, 2015).

A két kiértékelési módszert eredményeit összehasonlítva megállapítottam, hogy az alkalmazhatóságukat a terület földtani komplexitása, illetve az egyes vízadó rétegek utánpótlást biztosító szerepe határozza meg. Az eredmények alapján úgy tapasztaltam, hogy az egyes módszerek között nincs nagyságrendi eltérés. A minimális különbséget a földtani bizonytalanságok, és az elemzési módszerek különböző paraméterérzékenysége adja. A módszerek értékeinek egyezősége igazolja az újkeletű WT szoftver hatékonyságát és megbízhatóságát hasadékos vízadóval rendelkező kutak esetére is, így ez a módszer bizonyítottan alkalmas mind hasadékos, mind porózus vízadók vizsgálatára.

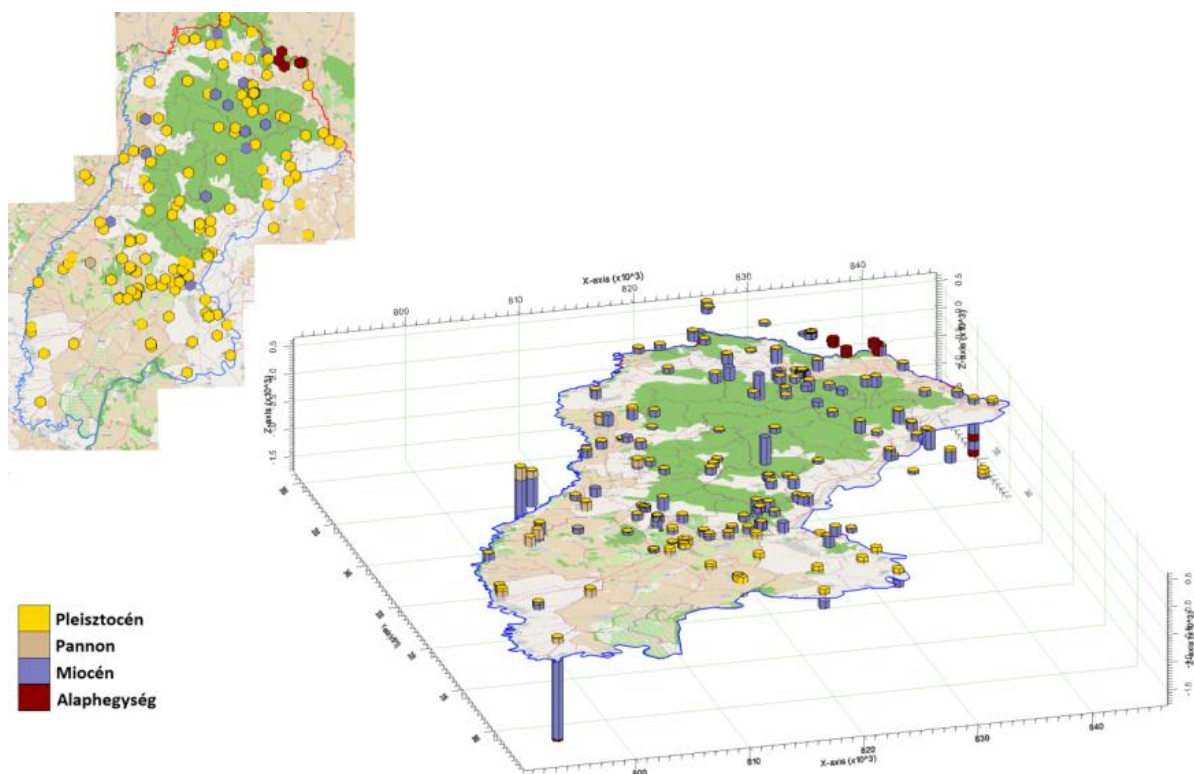
A Tokaji-hegység felszín alatti vizeinek utánpótlódása a hegység magasabban fekvő területein lehulló csapadék beszivárgásából származik. A lehulló csapadék beszivárgó hányadával már korábban is sokan foglalkoztak, de a vulkanikus területen történő beszivárgási viszonyok vizsgálatáról nem történt részletes kutatás ezt megelőzően. A hidrodinamikai modell beszivárgási viszonyainak, és így utánpótlódásának meghatározása érdekében terepi vizsgálatokat végeztem a hegységben. A vizsgálatot Guelph Permeabimeter-rel végeztem, melynek működése némileg eltér a hagyományos beszivárgási vizsgálatokétól: a méréshez egy furatot mélyítettem a talajba, amiben a műszer egy állandó magasságú vízoszlopot tart fent részleges vákuum segítségével. A belső víztároló csőben lévő levegő cső jelöli ki a furatban lévő vízszintet. Az elszivárgó víz miatt a belső víztárolóba levegő jut, ami csökkenti a részleges vákuumot, így a beáramló víz állandó vízszintet képes tartani a műszeren belül. A furat sugarából, a furatban lévő vízszint nagyságából és az állandó infiltrációs kapacitásból számos talajjellemző számolható, amelyek közül a legfontosabb a telített szivárgási tényező. A permeabiméterrel kapott eredményeket, valamint a területről származó egyéb földtani és vízföldtani paramétereket felhasználva a beszivárgási viszonyokat a HELP (Hydraulic Evaluation of Landfill Performance) szoftver alkalmazásával határoztam meg. A HELP a hulladéklerakók hidrológiai folyamatainak modellezésére és a lerakók tervezési hibáiból adódó talajvíz elszennyeződés előrejelzésére készült az Amerikai Egyesült Államok hadseregének kísérleti vízügyi állomásán. A szoftver használatával kapott eredményekből az látszik, hogy a lejtőviszonyok és a területhasználat szinte nem befolyásolta

a beszivárgást, mert a felső két réteg gyenge vízvezető tulajdonsága elnyomta ezek hatását. Az andezites és riolitufás területeken a beszivárgás sokéves átlagértéke a vizsgálatok eredményei alapján kb. **7,5 %-nak felel meg.**

### A FÖLDTANI MODELL FELÉPÍTÉSE

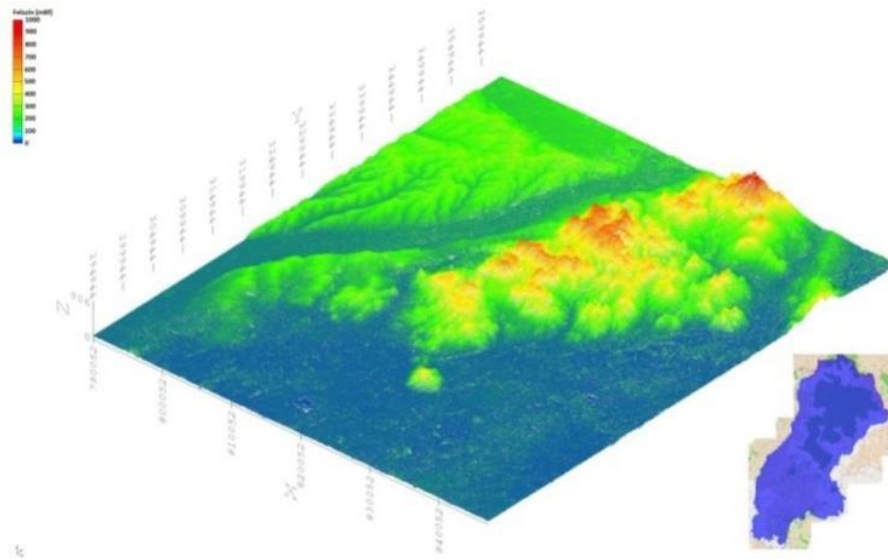
Az előzőekben bemutatott terepi geofizikai és hidrogeofizikai vizsgálatok eredményeinek felhasználásával lehetőségem nyílt felépíteni a Tokaji-hegység regionális hidrogeológiai modelljét (Fejes és társai, 2013). A modell fő célja a hegységben lezajló áramlási rendszerek megértése, a termálvizek feláramlási zónáinak vizsgálata és a hegység vízmérlegének elkészítése a kinyerhető vízkészletek meghatározása céljából. A modellezés során USGS MODFLOW programcsomagot alkalmaztam, amely része a GMS (Groundwater Modeling System) programnak, hogy szimulálja az áramlási viszonyokat a Tokaj-hegységben.

A hidrogeológiai modell felépítésének első lépése a földtani modell elkészítése. A földtani modellhez 173 db fúrási rétegsort, több sekély és mély geoelektromos geofizikai vizsgálatot, szeizmikus vizsgálatokat és a területről ez idáig készített szerkezetföldtani térképet használtam fel. A földtani modellben felhasznált fúrásokat a 13. ábrán mutatom be.



13. ábra: A Tokaji-hegység földtani modellje a modellalkotáshoz felhasznált fúrásokkal és kutakkal (szerző saját szerkesztése)

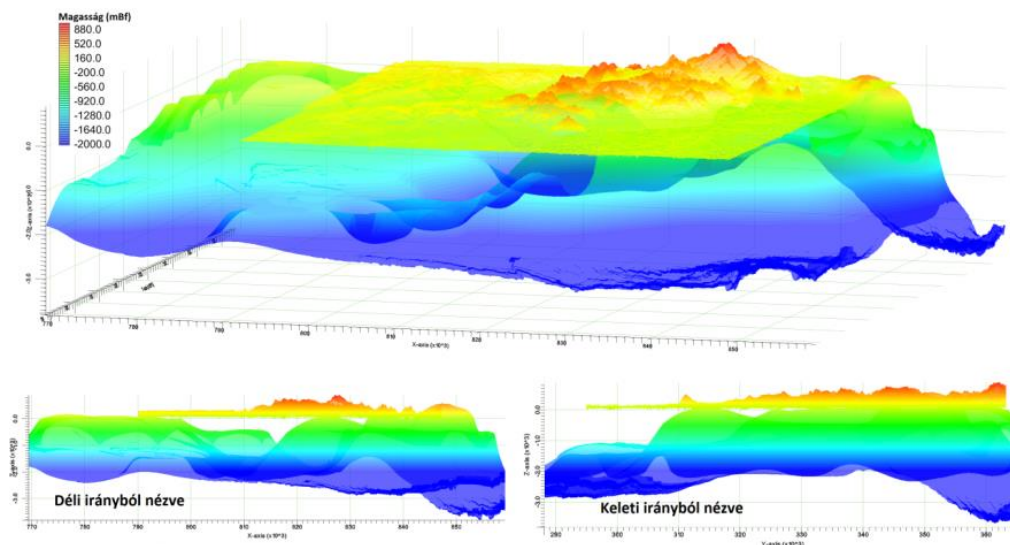
A modellezett terület domborzatát SRTM digitális műholdképről vettem át (14. ábra), amely természetesen a modell felső határa is egyben. A vizsgált térbeli test alsó határát, az alapkőzet mélységét geofizikai mérések alapján készítettem el, és digitalizálással helyeztem be a GMS programba.



14. ábra: A modellezett térrész felső rétege (szerző saját szerkesztése)

A modellezett terület összetettsége miatt egyszerűsítettem a geológiai felépítést és összesen 4 db eltérő földtani paraméterekkel rendelkező réteget alakítottam ki. A rétegek esetén megkülönböztettem az **alapkőzetet**, az arra települő repedezett **miocén** vulkanit réteget, a hegységperemi völgyekben és a vizsgált terület déli részén elhelyezkedő **pliocén** üledékes képződményeket, valamint a felszíni **kvarter** réteget. Ezeket a rétegeket tovább bontottam vertikálisan az áramlási rendszer jobb szimulálhatósága érdekében, így végül összesen 7 rétegből állt össze a földtani modell.

Minden modellréteg fekjét térben változóan vettem fel, oly módon, hogy a fúrási rétegsorok és a kutak vízföldtani naplójának alapján kapott rétegvastagságokat interpoláltam a modellezett területre (15. ábra).



15. ábra: A modellezett terület fedőjének és fekjének ábrázolása (szerző saját szerkesztése)



## A VÍZFÖLDTANI MODELL MEGALKOTÁSA

A korábban bemutatott vízföldtani paraméterek földtani modellbe való beillesztésével kialakíthatóvá vált a Tokaji-hegység hidrogeológiai modellje. Az egyes földtani rétegekhez hozzárendeltem a szakirodalom (Ducci, 2010), a terepi vizsgálatok és a laborban végzett számítások alapján kapott szivárgási tényező, porozitás és vízszint értékeket (1. táblázat).

1. táblázat: A modellezett terület földtani egységeinek hidrogeológiai paraméterei (szerző saját szerkesztése)

Földtani egység	Modellréteg	Földtani képződmény	Kh (m/d)	Kv (m/d)	n <sub>0</sub> (-)
1	1, 4.	Miocén (repedezett) képződmények	0,1-0,01	0,03-0,003	0,1
2	2.	Kvarter kőzetek	0,1-10	0,03-3	0,15
3	3.	Pliocén képződmények	0,1-20	0,03-5	0,2-0,3
4	5-7.	Miocéni (tömör) kőzetek	0,001	0,001	0,05

A modell északi részén áramlásmentes, míg a többi részen állandó nyomású határfeltételt állítottam be a peremeken. A modellszámításoknál az alapkőzetet kvázi vízzárónak feltételeztem. Ezt támasztotta alá a területen végzett xenolitikutató vizsgálat eredménye is, melynek során a Kútő projektben 75 mintában kerestünk az alaphegység anyagára vonatkozó zárványokat. A kutatás során feltárt xenolitok alapján a hegység aljzatának anyaga nem volt egyértelműen eldönthető, de egyértelműen valamilyen rossz vízvezető képességekkel rendelkező vízzáró képződmény. A megadott rétegeket vegyes tükrűnek tételeztem fel, ami jelentősebb számítási igényhez vezetett ugyan, de nagyobb volt a modell szabadsági foka is. Az így kialakított modellbe összesen 164 kutat illetve forrást helyeztem, melyek kielégítik azon követelményeket, hogy rendelkeznek hidrogeológiai naplóval, végeztek bennük próbaszivattyúzást (vagy nekem volt lehetőségem ezt elvégezni), valamint rendelkezünk ismeretanyaggal a vízáadó kőzetével kapcsolatban. A rétegek nyugalmi vízdomborzatának elkészítésekor figyelembe vettem a fúrt kutak vízszint adatait, illetve a források felszínre bukkanásainak helyeit (16. ábra). A magasabb területeken a nagyobb lefolyás miatt kisebb, míg a völgyekben nagyobb beszivárgási értékeket állítottam be.

A vízkémiai, geotermikus és izotóphidrológiai módszerekkel történő kalibrálás után meghatároztam a vízáadó rétegek üzemi vízszintjeit, a termelési adatokat is figyelembe véve. A modellezett értékek és a valós mért értékek közti eltérés számszerűsítése érdekében az ún. négyzetes hiba elvét alkalmaztam (angolul: RMSE - root mean square error), mely az eltérések összegét veszi figyelembe az adatok számával összefüggésben. Minnél nagyobb az összes modellezett és a valós mért érték közti eltérés, annál nagyobb a kapott érték. Minél jobban megközelítik a számított értékek a valós értékeket, annál jobban tart az RMSE a 0-hoz.

A négyzetes hiba számításának képlete:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_s - h_0)^2}{n}}$$

ahol:

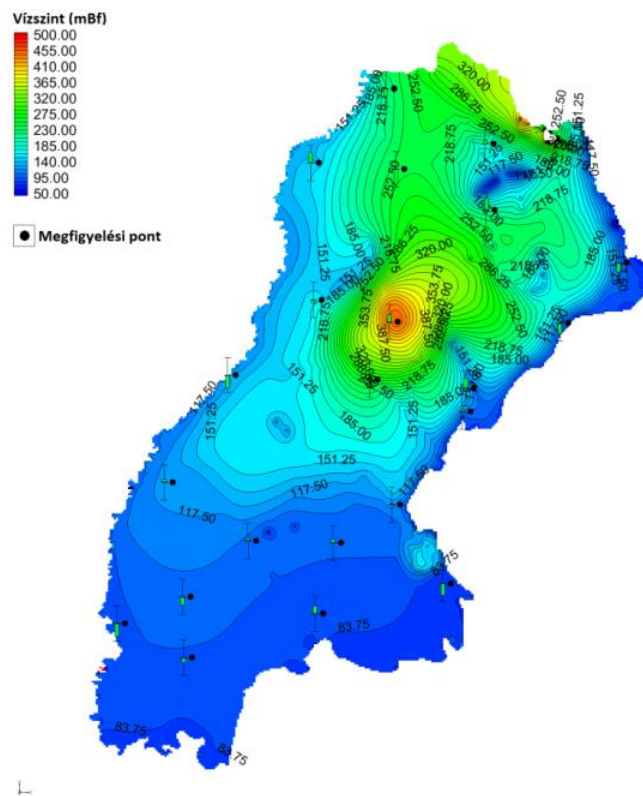
$h_s$  – számított vízszint értéke [m]

$h_0$  – mért vízszint értéke [m]

$n$  – mérések száma [db]

(Perry és társai, 2016)

A kalibrált modell értékeiből számított közepes négyzetes eltérés nagysága 6,12 m-re adódott, ami kutanként átlagosan kevesebb, mint fél méteres eltérést jelent. Figyelembe véve a modellezett terület nagyságát, a geológiai komplexitást és a hatalmas hidrogeológiai adatsort, ez az eltérés elfogadhatónak tekinthető.



16. ábra: Üzemi vízszintek alakulása a modellezett területen a repedezett miocén modellrétegben (szerző saját szerkesztése)

## A TOKAJI-HEGYSÉG VÍZMÉRLEGÉNEK ÉS VÍZTESTJEINEK PONTOSÍTÁSA

A Tokaji-hegységből fenntartható módon kitermelhető vízkészletek mennyiségi becslése kiemelten fontos kérdés, melynek ismerete elengedhetetlen a jövőbeli hideg és termásvíz hasznosítás megtervezéséhez (Virág és társai, 2014). A 2015-ös Vízyűjtő-gazdálkodási Terv több mellékletében is foglalkozik a Tokaji-hegység vízmérlegének egyes részeivel. Az itt szereplő vízmérleget kívántam dolgozatomban némileg pontosítani, mivel a felhasznált adatok némelyike pusztán becslésen alapul, valamint a víztest felosztás nem veszi figyelembe kellő súllyal a mélységi miocén repedések fontosságát a hegységtől távolabbi területeken. Az általam elkészített modell segítségével meghatároztam a Tokaji-hegység egészére vonatkozó egyszerűsített vízmérleget, pontosítottam a felszín alatti víztestek kiterjedését és alakját, valamint a felszín alatt lévő, fenntartható módon hozzáférhető termásvízkészlet mennyiségét is. A modell alapján sikeresen határoztam meg a felszíni vízfolyások, valamint a felszín alatti vízáramlások mennyiségét (2. táblázat).

2. táblázat: A Tokaji-hegység vízmérlegének elemei (szerző saját szerkesztése)

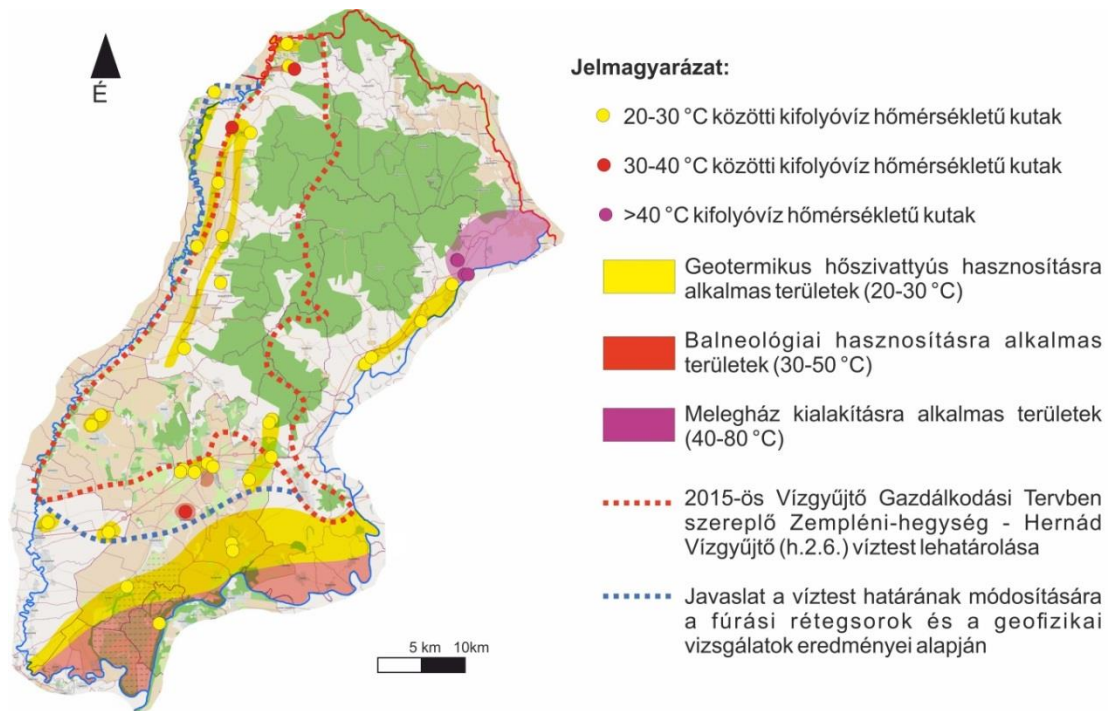
<b>Modellezett terület nagysága [km<sup>2</sup>]</b>	1.919
<b>Éves csapadék átlagos mennyisége [mm]</b>	600
<b>Csapadékból történő beszivárgás [m<sup>3</sup>/nap]</b>	236.589
<b>Források hozama [m<sup>3</sup>/nap]</b>	19.054
<b>Kutak hozama [m<sup>3</sup>/nap]</b>	30.802
<b>Vízfolyások a hegység területén (kivéve a Bodrog és Hernád) [m<sup>3</sup>/nap]</b>	50.918
<b>Mélységi beszivárgó vízmennyiség [m<sup>3</sup>/nap]</b>	186.733
<b>Hegységtől nyugatra történő vízáradás [m<sup>3</sup>/nap] (Hernád mentén)</b>	74.469
<b>Hegységtől délre történő vízáradás [m<sup>3</sup>/nap] (Hernád és a Bodrog között)</b>	72.452
<b>Hegységtől nyugatra történő vízáradás [m<sup>3</sup>/nap] (Bodrog mentén)</b>	39.811

Ami fontos újtásnak számít, hogy a víztestek határain a felszín alatti átszivárgó víz mennyiségét a Vízyűjtő gazdálkodási Tervben 10.000 m<sup>3</sup>/nap-nak becsülték, viszont a modellezésem során ennek a többszöröse jött ki eredményként.

A felszín alatti kitermelhető ivóvíz mennyiségének becslése mellett a modellbe helyezett fiktív kutak alkalmazásával sikerült meghatároznom a fenntartható módon kitermelhető termásvízkészlet mennyiségét. A kapott eredmények alapján megállapítottam, hogy a Tokaji-hegység területén, a jó vízáradó töredezett miocén rétegekben, a hozzáférhető és hosszú távon kitermelhető termásvízkészlet mennyisége optimális esetben elérheti a **4.500-5.000 m<sup>3</sup>-t naponta**.

A hideg és meleg felszín alatti vízkészletek meghatározásán kívül a területen lévő kutak fűrészi rétegsorai, valamint a kutatási eredményeim alapján javaslom a Vízyűjtő gazdálkodási terv 1-8. mellékletében szereplő Porózus és hegyvidéki felszín alatti víztestek térképén a **h.2.6** jelű víztest alakjának módosítását (Zempléni-hegység – Hernád-vízyűjtő). A Vízyűjtő gazdálkodási tervben a víztest megrajzolásakor nem vették figyelembe a hegységtől délre kialakított miocén mélységi repedéseket szűrőző kutakat, valamint a Hidasnémeti-1

fúrési rétegsorát. A kutak fúrési rétegsorainak, illetve a szerencsi területen végzett felszíni geoelektromos VESZ mérések eredményeinek figyelembevételével sikerült pontosítanom víztest alakját, melyet a 17. ábrán mutatok be.



17. ábra: A Tokaji-hegység hőhasznosítási térképe a 2015-ös Vízyűjtő Gazdálkodási Terv víztestjeinek módosításával (szerző saját szerkesztése)

A Tokaji-hegység területén található mélységi törést szűrőző kutak esetén tapasztalható a legnagyobb vízutánpótlódás, a legnagyobb kifelő víz hőmérséklet mellett. A felszín alatt vízkészletek hasznosíthatóságára vonatkozóan jó alapul szolgál a Lindal-diagramm (Lindal, 1973) (Mádlné és Szőnyi, 2006), amely a geotermikus folyadékok különböző hőmérsékleteken történő felhasználási lehetőségeit mutatja. A hegységről szerzett hidrogeológiai, geológiai és geofizikai ismereteink alapján feltérképezhetővé vált a kutatási terület eddig bizonyított geotermikus potenciálja, illetve az ehhez köthető hasznosítási lehetőségek kijelölése. Az eddigi tapasztalatok alapján elkészítettem a Tokaji-hegység potenciális langyos és termásvíz kinyerésére alkalmas területeinek térképét, feltüntetve a langyos- és melegvízű kifelő vízzel rendelkező kutakat, valamint a potenciális hasznosítási lehetőségeket (17. ábra).

### III. TÉZISEK

#### 1. tézis:

*Az eddigiek során nem állt rendelkezésre egy egybefüggő tanulmány a Tokaji-hegység hidrogeológiai és geotermikus viszonyainak regionális szintű összefoglalásáról. A doktori értekezésemben részleteiben foglaltam össze a hegység területén elvégzett korábbi vizsgálatok eredményeit, a saját kutatómunkám eredményeit, a területről szerzett geológiai és szerkezetföldtani ismereteket, a területen lévő források és kutak hidrogeológiai és geotermikus paramétereit, valamint ezek vízkémiai sajátosságait. Ezen adatok felhasználásával megalkottam a Tokaji-hegységről kútjainak és forrásainak hidrogeológiai, geotermikus és vízkémiai paramétereit tartalmazó adatbázisát, mely mindezidáig nem állt rendelkezésre a regionális kutatások számára. Mindezek alapján kijelenthető, hogy **elkészítettem a Tokaji-hegység egyik legrészletesebb hidrogeológiai és geotermikus sajátosságait magába foglaló regionális léptékű összefoglaló anyagát.***

#### 2. tézis:

*A hegységben végzett korábbi vizsgálati eredmények és saját kutatómunkám alapján megállapítottam, hogy a hegységperemeken beáramló csapadékvíz a mélybe áramlik, majd a hegységperemmel párhuzamosan futó törésvonalak mentén a felszínközelségbe tör langyos vizű anomáliákat okozva. A langyos vizű kutakban elvégzett helyszíni vizsgálatok, a vízkémiai elemzések és a tríciumos izotópvizsgálat alapján elkészítettem a Tokaji-hegység koncepcionális áramlási modelljét. A koncepcionális áramlási modell, a terepi vizsgálatok és a rendelkezésre álló adatok alapján **elkészítettem a hegység regionális léptékű hidrodinamikai modelljét**, melynek segítségével felállítottam a hegység **regionális szintű vízmérlegét**, a terület potenciális termálvízkészleteinek hasznosítási lehetőségeit, valamint a Vízyűjtő Gazdálkodási Tervben leírt felszín alatti víztestek alakját és az ezekben **hozzáférhető termálvíz mennyiségét is pontosítottam.***

#### 3. tézis:

*Speciális, repedezett kőzetek vizsgálatára alkalmas hidrogeológiai módszerek felhasználásával részt vettem egy **innovatív hidrogeofizikai módszeregyüttes kidolgozásában.** A meglévő módszerek tudatos és együttes használatával, valamint a geológiai és hidrogeológiai adottságok figyelembevételével, egy vulkanikus területen alkalmazható termálvíz kutatási módszert hoztam létre. Az elkészült, széles körben alkalmazható hidrogeofizikai kutatási eljárást sikeresen alkalmaztam a Tokaji-hegység déli területein, amely alapján a termálvíz készletek feltárása hatékonyabban megvalósítható.*

#### 4. tézis

*A hegység nyugati oldalán kialakult észak-déli irányú Hernád-vonalra merőlegesen több kisebb repedésrendszer jött létre, melyek mélységi vízvezető szerepe kiemelt fontosságú. A hegység északi részén lévő Hasdát-patak vonalát követő Hasdát törés csak egy rövid szakaszon szerepelt a szerkezetföldtani térképeken, de a területen végzett geofizikai*

*vizsgálatok alapján **sikerült bebizonyítanom ennek folytatását kelet felé. A Hasdát-vonal kiemelkedő fontosságú a Tokaji-hegység geotermikus kutatásában, mivel mindezidáig itt sikerült megvizsgálni és leírni a Tokaji-hegység egyetlen **sekély mélységű vulkanikus törésrendszerből utánpótlódó termálvizét, bizonyítva, hogy a Tokaji-hegység a termálvíz gazdaságos feltáráásra alkalmas terület.*****

#### **AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA**

Bár a Tokaji-hegység az egyik legismertebb vulkanikus eredetű hegységünk, de a kevés számú, nem túl részletes hidrogeológiai kutatás miatt viszonylag kevés ismeretanyaggal rendelkezünk a terület geotermikus sajátosságait illetően, ennek következtében a hegység termálvíz kutatás szempontjából sokadrangúnak lett elkönyvelve. A Tokaji-hegység kútjainak és forrásainak vízföldtani adatai, a területek végzett geofizikai vizsgálatok, valamint az egyéb hidrogeológiai kutatások eredményei több, egymástól különálló adatbázisokban szerepeltek, ennél fogva nem állt rendelkezésre egy összefoglaló anyag a további regionális kutatások számára. A kutatásom során nemcsak az eddig elvégzett vizsgálatok eredményeit gyűjtöttem össze, hanem a saját kutatási eredményeimet is felhasználva elkészítettem a Tokaji-hegység egyik legrészletesebb hidrogeológiai és geotermikus sajátosságait magába foglaló regionális léptékű összefoglaló anyagát. A kutatásom során elvégzett felszíni geofizikai vizsgálatok eredményeképpen pontosítottam az alap kutatás során felhasznált szerkezetföldtani térképeket is, így bizonyítva, hogy a hegység geológiai ismeretanyaga még közel sem teljes és további kutatásokra van szükség.

A hideogeológiai és földtani adatok felhasználásával megalkottam a Tokaji-hegység regionális léptékű hidrodinamikai modelljét. A Tokaji-hegységről ezt megelőzően csak lokális területi modellek készültek, így a hegység egészére vonatkozó modell segítségével egészében tudjuk vizsgálni a terület vízmérlegét, és a fenntartható módon kitermelhető vízkészlet mennyiségét. A 2015-ös Vízyűjtő Gazdálkodási Tervben a hegység vízmérlegének egyes elemeit csupán nagyságrendo becslésekkel határozták meg, főként a víztestek határán felszín alatt átszivárgó víz mennyiségét. Az általam elkészített vízmérleg több tényezőt vett figyelembe (beszivárgás, folyók, források stb.) ennek következtében a kapott eredmények realisabb képet alkotnak a hozzáférhető vízkészletek mennyiségéről. A hegység geotermikus potenciáljának meghatározására eddig nem állt rendelkezésre még becsült adat sem. A hosszú távon kitermelhető termálvízkészletet mennyiségi meghatározásával lehetővé váltak a fenntartható módon kialakítható termálvízhasznosítások helyszínének kijelölése és tervezése. Az egyes területek vízkészleteinek hasznosítására vonatkozóan ezt megelőzően nem állt rendelkezésre semmilyen adatbázis vagy térkép, mivel a hegységet termálvíz kutatásra alkalmatlan területnek minősítették. Az általam elkészített Tokaji-hegység hőhasznosítási térképe segítséget nyújthat a hegység magánszemélyei és önkormányzatai számára a területek termálvíz potenciáljának kihasználhatóságát illetően, így fejlesztve a turisztikai és ipari szektort. A 2015-ös Vízyűjtő Gazdálkodási Tervben a Tokaji-hegység hegyvidéki felszín alatti víztestjének megrajzolásakor számos kutatási eredményt nem vettek figyelembe, így a vízkészletek tervezésekor nem állt rendelkezésükre kellően pontos adat. A korábban elvégzett, valamint a saját geofizikai kutatási eredményeim felhasználásával sikerült

pontostani a víztestek alakjára, így a közeljövőben már pontosabban lehet meghatározni a hegység egészére vonatkozó vízmennyiségeket. A hegység területén ezt megelőzően csupán a gönci Amádé ásványvizes kútból sikerült 30 °C-ot meghaladó termálvizet kinyerni, azonban ennek mélysége meghaladja a 900 m-t. A kutatásom során megvizsgált és leírt, eddig ismeretlen pányoki termálkút bizonyítja, a főtörésre merőleges haránttörések mélységi vízvezető szerepének fontosságát, valamint azt, hogy a Tokaji-hegység területe alkalmas gazdaságosan kitermelhető termálvíz-készletek feltárására és kitermelésére

A hegység termálvíz-készletének továbbpontosítása, valamint az egyes területeken lokálisan termálvíz-potenciáljának meghatározása érdekében kifejlesztett innovatív hidrogeofizikai módszeregyüttes kidolgozásával lehetőség nyílt a meglévő módszerek tudatos és együttes használatával, valamint a geológiai és hidrogeológiai adottságok figyelembevételével, egy vulkanikus területen alkalmazható termálvíz-kutatási módszer használatára. Az elkészült, hidrogeofizikai kutatási eljárás sikeresen alkalmazásával a termálvíz-készletek feltárása hatékonyabban megvalósíthatóvá vált.

#### **A TÉZISFÜZETBEN SZEREPLŐ HIVATKOZÁSOK LISTÁJA**

- Bodor B. (2011): A Hernád-árok szerkezetföldtani vizsgálata, ELTE Szakdolgozat (Budapest)
- Ducci D. (2010): Aquifer Vulnerability Assessment Methods: The Non-Independence of Parameters Problem. *Journal of Water Resource and Protection*, 2, 305.
- Fejes Z., Szűcs P. (2013): Potential tepid and hot water resources in the Tokaj mountains. *Geosciences and engineering: A publication of the University of Miskolc*, 24, 101-109.
- Fejes Z., Szűcs P., Fekete Zs. (2015): Termálvíz-kutatás a Tokaji-hegység északi részén. *Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia*, 17, 109-113.
- Fejes Z., Szűcs P., Fekete Zs., Turai E., Baracza M. K. (2015): A geothermal system on the western slopes of the Tokaj Mountains. *MicroCAD 2015, XXIX. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Miskolc, 2015, Miskolci Egyetem.*
- Fekete Zs., Fejes Z., Szűcs P., Gonda N. (2014): A Tokaji-hegység vízkémiai jellemzése. *A Kárpát-medence ásványvizei X. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 2014, Sapientia*, 53-62.
- Havassy A. (2004): A Tokaji-hegységi Hercegkúti-patak forrásainak hidrogeológiai és természetvédelmi szempontú vizsgálata és értékelése, Doktori (PhD) értekezés (Debreceni Egyetem).
- Lindal B. (1973): *Industrial and other Application of Geothermal Energy.* (Armstead, H.C.H., Paris, 1973) 135-148.
- Luk P. (2013): A Background Color Scheme for Piper Plots to Spatially Visualize Hydrochemical Patterns. *Groundwater*. 52, 1-6.
- Mádlné Szőnyi, J. (2006): *A geotermikus energia, Készletek, kutatás, hasznosítás.* Grafikon Kiadó, Nagykövácsi.
- Mátyás E. (1984): Hidrogeológiai kutatások a mádi Bomboly-völgyben. *Földtani kutatás*. 3, 29-49.
- Perry M. J., Jason L. R., Jared J. T., Catherine A. C., Aliesha L. D., and Melinda L. E. (2016): *Simulation and Assessment of Groundwater Flow and Groundwater and Surface-Water Exchanges in Lakes in the Northeast Twin Cities Metropolitan Area, Minnesota, 2003*

through 2013. (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report, Minnesota, 2016) 46.

- Röhrich T. (2007): Schlumberger Water Services: AquiferTest Pro v. 4. 2. Users's Manual, Advanced pumping test and slug test analysis Software. Waterloo, Canada, 145- 148.
- Székely F. (2010): Hévízeink és hasznosításuk. Magyar Tudomány. 171. évf. 12. 1473-1485.
- Székely F., Szűcs P., Zákányi B., Cserny T., Fejes Z. (2015): Comparative analyses of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations. Journal of Hydrology. 520, 180–185
- Szófogadó P. (1961): A göncz-szerencsi törés vízföldtani jelentősége, különös tekintettel az abaújszántói strandfürdő vízellátására. Hidrológiai közlöny. 41, 145-148.
- Szűcs P., Ritter Gy. (2008): Sárospatak–Végardó Termálfürdő hévízkútjainak hidrodinamikai modellezése, A Kárpát-medence Ásványvizei. V. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 2008, Miskolci Egyetem, 1–10.
- Szűcs P., Fejes Z., Zákányi B., Fekete Zs., Hartai É., Turai E., Gyulai Á., Szabó N. P. (2) (2014): Mineral, Medicinal and Thermal Water Resources in the Tokaj Mountains Serving Tourism Developments, GEOTOUR & IRSE 2014, Miskolc, 2014, Technical University of Košice, 7-12.
- Virág M., Szűcs P., Fejes Z., Csegény J. (2014): A termálvíz-készlet-gazdálkodás időszerű kérdései az Észak-magyarországi régió területén, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Szolnok, 2014, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 360-366.
- Zelenka T., Gyarmati P., Kiss J. (2012): Paleovolcanic reconstruction in the Tokaj Mountains Central European Geology, 55, 49-83.

#### IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

1. Fejes Z., Szűcs P. (2013): Potential tepid and hot water reources in the Tokaj mountains. Geosciences and engineering: A publication of the University of Miskolc, 24, 101-109.
2. Fejes Z., Szűcs P., Szlabóczky P. (1) (2013): Hidrogeofizikai kutatások a Tokaji-hegység déli részén. Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Debrecen, 2013, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 66-73.
3. Fejes Z., Szűcs P., Kormos K. (2) (2013): Hidrogeofizikai alkalmazások a szerencsi termálvíz-kutatásban; Víz a házban és a ház körül Környezetmérnöki konferencia, 12, 6-10.
4. Fejes Z., Szűcs P., Fekete Zs. (1) (2015): Termálvíz-kutatás a Tokaji-hegység északi részén. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, 17, 109-113.
5. Fejes Z., Szűcs P., Fekete Zs., Turai E., Baracza M. K. (2) (2015): A geothermal system on the western slopes of the Tokaj Mountains. MicroCAD 2015, XXIX. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Miskolc, 2015, Miskolci Egyetem.
6. Fejes Z., Zákányi B., Szűcs P., Deák J. (3) (2015): Áramlási rendszerek pontosítása izotóp és vízkémiai vizsgálatokkal a Tokaji-hegység peremi részein. Műszaki Tudomány



az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Debrecen, 2015 Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 83-88.

7. Fejes Z., Szűcs P., Fekete Zs. (4) (2015): Hydrochemical and hydrogeological characteristic of the tepid water upflows on the Hernád-valley. 11th International Scientific Conference on Mineral Waters of the Carpathian Basin, Miskolc, 2015, Miskolci Egyetem MFK-KGI.
8. Fejes Z., Szűcs P., Turai E., Zákányi B., Szabó N. P. (2021): Regional hydrogeology of the Tokaj Mountains world heritage site, North-East Hungary. Acta Montanistica Slovaca, 26, 18-34.
9. Fekete Zs., Fejes Z., Szűcs P., Gonda N. (2014): A Tokaji-hegység vízkémiai jellemzése. A Kárpát-medence ásványvizei X. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 2014, Sapientia, 53-62.
10. Gyulai Á., Szűcs P., Turai E., Baracza M. K., Fejes Z. (2016): Geoelectric Characterization of Thermal Water Aquifers Using 2.5D Inversion of VES Measurements, Surveys in Geophysics, Miskolc, 2016, 24.
11. Madarász T., Szűcs P., Kovács B., Lénárt L., Fejes Z., Kolencsik-Tóth A., Székely I., Kompár L., Gombkötő I. (2015): Recent trends and activities in hydrogeologic research at the University of Miskolc, Hungary. Central European Geology, 58, 171-185.
12. Székely F., Szűcs P., Zákányi B., Cserny T., Fejes Z. (2015): Comparative analyses of pumping tests conducted in layered rhyolitic volcanic formations. Journal of Hydrology, 520, 180–185
13. Szűcs P., Fejes Z., Zákányi B., Fekete Zs., Szárnya G., Hartai É., Turai E., Gyulai Á., Szabó N. P., Cserny T. (1) (2014): Ásvány-, gyógy- és hévizek a Tokaji-hegységben. A Kárpát-medence ásványvizei X. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Csíkszereda, 2014, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem 32-39.
14. Szűcs P., Fejes Z., Zákányi B., Fekete Zs., Hartai É., Turai E., Gyulai Á., Szabó N. P. (2) (2014): Mineral, Medicinal and Thermal Water Resources in the Tokaj Mountains Serving Tourism Developments, GEOTOUR & IRSE 2014, Miskolc, 2014, Technical University of Košice, 7-12.
15. Szűcs P., Fejes Z., Zákányi B., Fekete Zs., Szárnya G., Hartai É., Turai E., Gyulai Á., Szabó N. P., Cserny T. (3) (2014): General characterization of mineral and thermal water resources in the Tokaj Mountains. Geosciences and engineering: A publication of the University of Miskolc, Miskolc, 2014, University Press, 77-82.
16. Szűcs P., Fejes Z., Zákányi B., Székely I., Madarász T., Kolencsikné T. A., Gombkötő I. (1) (2015): Results of the WELLaHEAD Project connected to water and mining. Geothermal potential of the Tokaj-Mountains. Pilot test of passive acid mine drainage

water management. Electronic Journal of the Freiberg Geoscience Department. 40, 170-177.

17. Turai E., Gyulai Á., Szűcs P., Baracza M. K., Fejes Z., Pethő G., Szabó N. P. (2015): A felszíni geofizikai mérések eredményei a zempléni melegvíz-kutatásban. A Magyar Geofizikusok Egyesületének 34. Vándorgyűlése: EGBELL 2015, Budapest, 2015, 65-66.
18. Virág M., Szűcs P., Fejes Z., Csegény J. (2014): A termálvízkészlet-gazdálkodás időszerű kérdései az Észak-magyarországi régió területén, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Szolnok, 2014, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 360-366.