

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**A FELSŐ KÉREGBELI HŐTERJEDÉS MODELLEZÉSE
ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI
KELET-MAGYARORSZÁGON**

Buday Tamás

Témavezető: Dr. Kozák Miklós



DEBRECENI EGYETEM
Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2015

BEVEZETÉS

A geotermikus energia hasznosítása az elmúlt évtizedekben dinamikusan fejlődik, melynek elsődleges oka, hogy olyan területeket is be lehet vonni a hőkinyerésbe, melyek klasszikus értelemben nem rendelkeznek kiváló, vagy jó geotermikus adottságokkal. Ennek két lehetősége a sekély rendszerek energiataralmának hőszivattyús hasznosítása, illetve az ún. EGS módszer (jövőbeni) elterjedése. Ezáltal nem csak azért fontos megújuló a földhő, mert folyamatosan rendelkezésre áll, hanem azért is, mert majdnem mindenhol kinyerhető valamilyen formában a felső kéreg különböző mélységi szintjeiből. Ezek további terjedése a geotermikus energia hasznosításának gyors előretörését elősegítheti, egyelőre elsősorban közvetlen felhasználás céljából, ugyanakkor a jelenleg alkalmazott technológiák nagy része a földtani környezet hosszútávú hűlését eredményezi. A rendszerek termelhetősége általában több tíz év, de a kőzetek hűléséből származó etikai, jogi, gazdasági és földtani problémák megismerése szükséges és időszerű.

Hazai és nemzetközi energetikai kutatások egyre gyakrabban fordulnak a geotermikus energia kinyerésének optimalizálása felé, mely elsősorban földtani, hőtani, épületgépészeti megfontolásokon alapul. A doktori disszertációban bemutatott kutatások alapját olyan projektek adták, melyekben kutatóként, esetenként a geotermikus témarész vezetőjeként-koordinátoraként vettem részt. E projektekben elvégzett munkák alapján a disszertáció kutatási célkitűzéseiként az alábbi feladatokat határoztam meg:

- numerikus hővezetési szoftvercsomag fejlesztése;
- a természetes hővezetési folyamatok vizsgálata a földkéregben;
- a termelés hatására kialakuló hőmérsékletmezők analitikus és numerikus vizsgálata hőszondák környezetében;
- a maximálisan kitermelhető energia mennyiségének meghatározása sekély hőszondák esetében;
- a kitermelés során kialakuló környezetterhelés számszerűsítése különböző szondakiépítések esetén;
- egy mintaterületen a kapott eredmények alkalmazása, illetve a földtani adottságokból következő tapasztalatok általánosítása Kelet-Magyarországra.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A természetes hővezetési folyamatok és a zárt rendszerű hőkivétel hatására kialakuló hőmérséklet-eloszlást a Fourier I. törvény differenciálegyenletének különböző peremfeltételek közötti megoldásai segítségével vizsgáltam. Ehhez négy különböző helyen elvégzett mérés sekély zónákra vonatkozó hőmérsékleti adatsorát elemeztem.

Az összetettebb geometriák és hőszondás hőkivételek hatásának meghatározására véges differenciás numerikus modellt fejlesztettem Free Pascal környezetben, amit az egyszerű hőmérséklet-eloszlások segítségével validáltam. Ezután ezt a numerikus modellt használva a modell paramétereinek változtatásával meghatároztam a kiépítés és az üzemeltetés hatását a hőközvetítő fluidum várható hőmérsékletváltozására, és ebből következően a hőszivattyú működéséhez szükséges áram előállításakor keletkező CO₂ mennyiségére.

Létavértes környezetében kijelölt 206 km²-nyi mintaterületen a rendelkezésre álló szeizmikus szelvények, kútdokumentációk és szakirodalom alapján vizsgáltam az aljzat és a sekély, 100 m-ig tartó felszínközeli zóna geotermikus energiatermelésbe vonhatóságát EGS, GEOHIL, zárt hőszondák, talajkollektorok és talajvizes hőszivattyús rendszerek esetében.

EREDMÉNYEK

1. tézis

A tranziens hővezetési folyamatok leírására kutatómunkám során létrehozott egyszerű véges differenciás numerikus modellező programok a különböző kialakítású hőszondák környezetében létrejött hővezetést kellő pontossággal írják le, amit elméleti számítások és párhuzamos terepi hőmérséklet-mérések igazoltak.

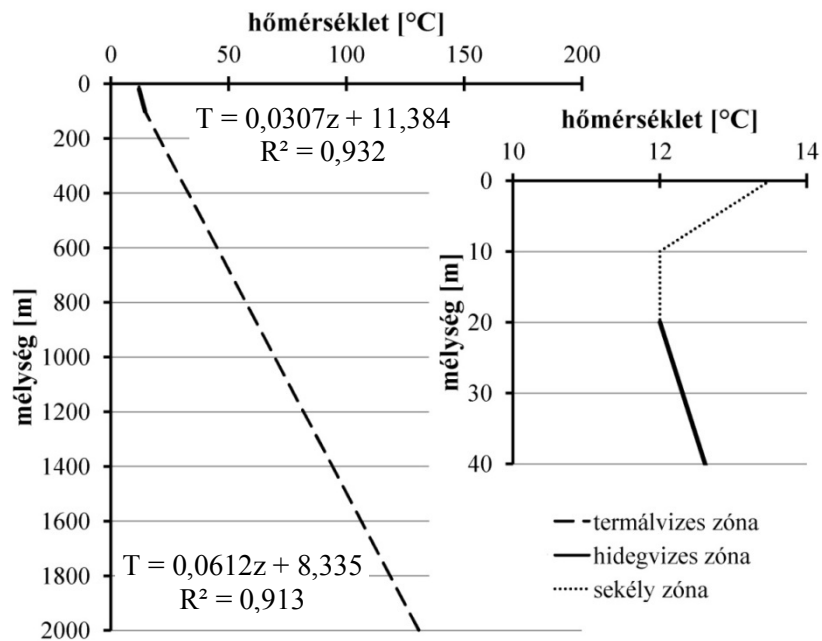
A kereskedelmi forgalomban levő hővezetési szoftverek jelentős része a hővezetési és hőátadási folyamat valamely részét leegyszerűsíti, így legtöbbjük nem, vagy korlátozottan alkalmas az összetett földtani közeg részletes leírására (pl. rétegződés), az egyes paraméterek időbeli változásának kezelésére (pl. kiindulási hőmérsékletnek és/vagy a talajvízszintnek az éves változása). Amennyiben a földtani (primer oldali) paramétereket jól kezelik, ehhez viszonyítva az épületgépészeti kapcsolódás esetenként nem kellően részletes.

A PhD kutatási programnak a keretében FreePascal környezetben létrehozott különböző rácshálóval modellező szoftverek alkalmasak a hőmérsékletmező változásainak számítására egydimenziós, kétdimenziós és háromdimenziós térben is, hengersizmetrikus, tükrorszimmetrikus, illetve általános esetekben. A számítás alapja ugyanaz a szubrutin, míg a vizsgált térrész geometriája miatt a szoftverek többi része eltér egymástól. A programok validálása a Fourier-egyenlet különböző kiindulási és határfeltételek mellett meghatározott megoldásaival, valamint jól monitorozott rendszerekben mért valódi hőmérséklet-változások elemzésével történt. E programok segítségével az elméleti modellekre nagy pontossággal illeszkedő eredményeket kaptam, az eltérés a szondát modellező rácsponton 10 % alatti, a szondától 25 cm-nél távolabb 2 % alatti. A valós folyamatok vizsgálatokor kimutatott jelentősebb eltérések elsősorban a mérési értékek bizonytalanságából adódtak, és ezekben az esetekben is kvalitatívan megbízható eredményeket kaptam.

2. tézis

Debrecen környezetében mélyfúrásban és sekély aknában mért hőmérsékleti adatsorok alapján különböző mélységekre meghatározott geotermikus gradiens értékek egymástól szignifikánsan eltértek. A termálvizes zónában a meghatározott érték 61 °C/km, a 20–100 m-es zónában 30 °C/km, míg a felső tíz méteren egy átmeneti zóna fölött negatív geotermikus gradiens is kimutatható volt.

Debrecen környezetében több különböző adatbázis hőmérsékletadataiból készült geotermikus gradiens meghatározás. A termálvizes zónák (500–2500 m) esetében ez az érték 61 °C/km-nek adódott. A 100 m mélységig terjedő zónákban ez az érték a termálvizes zónákra jellemző értéknél kisebb, a Megújuló Energia Alkalmazási Központban elhelyezett hőmérők adatai alapján 30 °C/km (1. ábra). A mélyebb zónákhoz képest kisebb értékek oka egyrészt lehet paleoklimatikus, másrészt a vizsgált mélységtartomány alsó részén már megjelenhet a Nyírségben beszivárgó és onnan DNY felé áramló vizek, illetve az intenzív vízkitermelés hatására meginduló lefelé irányuló vízutánpótlódás hatása is. Több mérési adatsor alapján a kéreg legfelső részében (10–20 m-ig) a hőmérsékletek a 20–90 m közötti hőmérsékletadatokból meghatározott függvénykapcsolatból adódó értékeknél nagyobbak, közel konstans értékűek (11,5–12 °C), míg a legsekélyebb zónában két városi mérési ponton negatív geotermikus gradiens kimutatható (1. ábra). Ennek oka a felszín felől érkező recens hőtöbblet (pl. globális felmelegedés, városi hősziget jelenség miatt). A hazai viszonyok között eddig nem részletezett felismerésnek különösen a 20 métert nem meghaladó, egyszerűbb hatásági engedélyezést igénylő rendszerek méretezésében lehet kiemelt szerepe.



1. ábra Debrecen környezetében kialakult, 2000 m-ig igazolt hőmérsékletprofil és annak a talajvizes zónában kinagyított része

3. tézis

Működő szondarendszeren elvégzett többlépcsős szondateszt (thermal response test, TRT) kiértékelése elvégezhető a monitoring rendszer adataira történő függvényillesztéssel, a különböző hőtermelési/hőnyelési teljesítménylépcsőkhöz tartozó hőmérsékleti hatások szuperpozíciójának alkalmazásával.

A TRT méréseket elsősorban kiépítés alatt álló rendszereken szoktak végezni, a kinyerhető hőmennyiség meghatározása céljából. Kutatásaink során lehetőség nyílt egy működő rendszer (Megújuló Energia Alkalmazási Központ, Debrecen) egyik szondájának pihentetésére, majd a hőszivattyú kiiktatására és a szondateszt elvégzésére. Tekintve, hogy ehhez a hőszivattyú működését egy adott ideig szüneteltetni kell, így nem szoktak ilyen méréseket végezni, mely a hagyományos szondatesztekhez képest több módosítást is igényel. Az elvégzett teszt technikai okok miatt többlépcsős lett, így a kiértékelést a hagyományos módon nem lehetett elvégezni. A szondához kapcsolt monitoring rendszer adatait a vonalforrás módszerből levezethető függvényekhez illesztve meghatározhatók a mérés esetleges hibáiból, valamint a kiépítésből adódó ismeretlen paraméterek, így a hővezetési tényező is. Erre vonatkozóan a vezető geotermikus folyóiratokban és más szakirodalmi forrásokban nincs példa, ezért az eljárásom módszertani újításnak tekinthető. Monitoringhálózattal rendelkező hőszondás rendszerek vizsgálata esetén kiegészítő mérésenként javaslom a hagyományos szondateszt kiértékelésébe is beépíteni.

4. tézis

/a Elméleti (analitikus) módszerekkel és a fejlesztett program segítségével numerikus közelítéssel meghatározható egy adott hőszondás primeroldali rendszerből kitermelhető maximális energia folyamatos üzemelés, valamint különböző üzemeltetési ciklusok eseteire.

/b A szondák környezetének megfelelő kiépítésével a kinyerhető teljesítmény növelhető, vagy az azonos teljesítmény kedvezőbb üzemeltetési feltételek mellett termelhető ki.

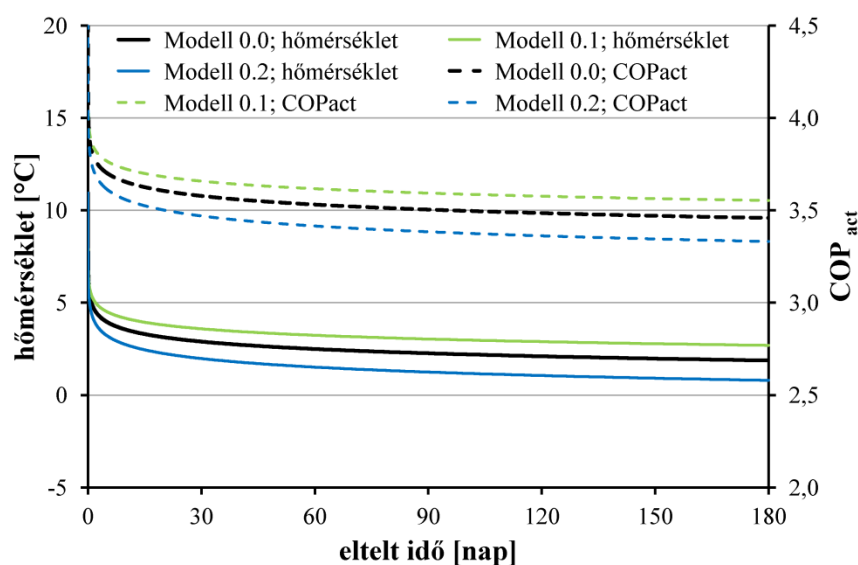
/c Szondamezők esetében a tartós üzemelés, a nagy fajlagos hőteljesítmény kitermelése vagy a kis szondatávolság a szondamező belsejének túlűlésével, a rendszerek működésképtelenségével járhat. Ez a hatás a megfelelő ütemezésű és mennyiségű nyári hőtáplálás segítségével csökkenthető, illetve kiküszöbölhető.

A hőszondás és talajkollektoros rendszerek maximális fajlagos terhelhetőségét egy adott kiépítés mellett a maximális megengedett hőmérsékletcsökkenés határozza meg. Ennek értéke egyrészt a

felszín alatti térrész kiindulási hőmérsékletétől, másrészt a hőszivattyúba belépő fluidum minimális hőmérsékletétől függ. Ha a hőszonda körüli térrész hővezető-képessége, valamint hőkapacitása jelentősen növelhető, akkor – azonos fajlagos hőteljesítmény kivétele mellett – a cirkuláltatott fluidum hőmérsékletének csökkenése kisebb (2. ábra). Mivel ez a hőmérséklet meghatározza a hőszivattyú aktuális hatékonyságát, így a nagyobb visszatérő hőmérsékletértékek a külső energia kisebb mértékű felhasználását, így olcsóbb üzemeltetést és kisebb környezetszennyezést eredményeznek.

Magányos vagy néhány, egymástól távolabb eső szonda esetében a hűtőanpótlódás részben megtörténhet a távolabbi területek irányából, így a potenciál csökkenése mérsékelt. Belső szondákkal rendelkező szondamezők belső részének regenerálódása a külső szondák árnyékoló hatása miatt sokkal lassabb, aminek a következtében évről évre egyre nagyobb a különbség a belső és külső szondák hőmérséklete között. Ez a monitoringrendszerrel nem rendelkező kiépítések esetén csak abból derülhet ki, hogy a rendszer hatékonysága drasztikusan csökken, és a hőszondák a tervezési hőigényt nem lesznek képesek kielégíteni. Ez akár néhány éven belül is bekövetkezhet.

Javulás érhető el a szondák távolságának növelésével, valamint más geometriájú, nem a jelenleg preferált elrendezésű rácshálóval. A túlhasználat elkerülhető úgy is, ha a szondamező egyes részei egymástól függetlenül üzemeltethetők, így elsősorban a könnyebben regenerálódó szondákat használják. Emellett a nyári többlethőt passzív hűtés, aktív hűtés vagy direkt hőbetáplálás segítségével a felszín alá lehet vezetni és ott tárolni. Ennek kivitelezését lehetőség szerint úgy kell megoldani, hogy a teljes szondamező a következő fűtési szezonra hőtöbblettel rendelkezzen.



2. ábra Azonos leadott hőszivattyú-teljesítmény (10 W/m) hatására kialakuló hőmérsékletcsökkenés és COP érték különböző adottságok esetén
 Modell 0.0 a talaj hővezető-képessége 1,8 W/(m·K); Model 0.1: a talaj hővezető-képessége 2,1 W/(m·K);
 Model 0.2: a talaj hővezető-képessége 1,5 W/(m·K)

5. tézis

Az aljzatot elérő, nagy mélységű, zárt vagy GEOHIL típusú hőkivételi rendszerek hazai viszonyok között legígéretesebben a pozitív termikus anomáliájú aljzathátakon telepíthetők. A hatékonyságuk optimalizálása csak megfelelő kútkiképzéssel, például az egyes csőszakaszok szigetelésével érhető el.

A zárt és kvázizárt rendszerek esetében a harántolt kőzetekben történő hővezetés és a rendszerek mechanikai stabilitása egyaránt meghatározó feltétel. Kompakt kőzetek hővezető-képessége – különösen nagy kvarctartalom mellett – az agyagos és nagy porozitású üledékek hővezető-képességénél jelentősen nagyobb. Emellett a repedezett aljzathátakban esetlegesen kialakuló termogravitatív cirkuláció által okozott pozitív hőmérséklet-anomália is elősegíti a

hőtermelést. Ennek megfelelően kedvező, ha a hőcserélő felületnek minél nagyobb hányada kompakt kőzetekben kerül kiképzésre. Az erősen tagolt hazai medencealjzat morfológiáját figyelembe véve ez leginkább az aljzathátak területén teljesül, ahol a kompakt kőzetek 1500–2000 m mélységtől érhetők el.

A svájci viszonyítási területhez képest a hazai alföldi földtani viszonyok között a GEOHIL rendszer csak kútszerkezeti módosításokkal építhető ki (a felszínközeli porózus és a fellazult felső-aljzatzónák kizárása béléscsővel), a kitermelhető energia szempontjából azonban a hőmérsékleteloszlás kedvezőbb. A hagyományos, hőszigetelés nélküli zárt kútszerkezetek, 15–20 °C-os bemenő fluidumhőmérséklet és 6000 m-es talpmélység esetén a hőmérsékletnövekedés a kiépítéstől, hozamtól és a földtani adottságoktól függően 5–20 °C, azaz a hőmennyiség és a hőmérséklet is kicsi a kút talphőmérsékletéhez és a beruházás volumenéhez viszonyítva. Ha a belépő hőmérséklet egy kaszkád hasznosítás után is még viszonylag nagy (pl. 60–80 °C-os), és az ehhez tartozó mélységig a kútszerkezet jelentősen szigetelt, valamint a termelőcső hővezetési tényezője is kicsi, akkor egy 6000 m-es kútból akár segédközeges erőművi áramtermelésre is alkalmas hőmérséklet nyerhető ki a kedvező aljzatadottságú medenceterületeken (pl. Debrecen).

6. tézis

Az aljzatot elérő, nagy mélységű, nyílt hőkivételi rendszerek hatékonysága jelentősen függ a kialakítandó repedés- vagy pórushálózattól. Az EGS rendszerek potenciális helyei hazánk területén a medencealjzat átkristályosodott kőzetei (pl. gránit, granodiorit), így a szükséges fűrészi mélység nagy részét könnyebb és olcsóbb fűrhatóságú üledékösszetben lehet lemélyíteni, viszont a hőátadás a kedvező adottságú kvarcdús kristályos kőzetekből történhet. Az aljzatban meghatározó a korábbi, többhullámban kialakult szerkezeti elemek rendszere, melyek közül kiemelendők a feltolódási síkok környezetében kialakuló breccsazónák, valamint a pikkelytakarós szerkezetek haránttörései. Ezekben a repesztés hatására előnyös és kockázatos hasadékok is kinyílhatnak.

Az EGS rendszerek kiépíthetősége szempontjából fontos, hogy az aljzat jól repeszthető kőzetekből álljon, és tartalmazzon korábbi tektonikai aktivitásból származó zárt és nyílt litoklázisokat, töréses, illetve morzsolt zónákat. A nagy nyomású fluidum besajtolás ezt a repedéshálózatot tágitja tovább, ilyen formán a kezdeti feszültségtér és repedéshálózat alapvető fontosságú, mivel költségcsökkentő és hatékonyságnövelő. Magyarország aljzatában alapvetően DNY-ÉK csapásirányú, DK-i lejtésű feltolódási síkok alakultak ki. Ezek környezetében erősen anizotróp repedésrendszer kinyílása várható, amelynek horizontális csapásirányú vagy lapos dőlésű tagjai az EGS rendszerek szempontjából kedvezőek, a nyitott szubvertikális repedései viszont kedvezőtlenek a vertikális vízáramlás lehetőségei miatt. Egy ilyen törésrendszernek az aljzat mélyebb részein levő repedéshálózata használható úgy, hogy a lejutattott fluidum a törésrendszer csapásirányának megfelelően horizontálisan áramlik. Ekkor viszonylag kis repesztési kockázat mellett jó hatásfok és teljesítmény érhető el. Másik perspektivikus típusú terület lehet az egymástól távol eső vetőcsoportok közötti kéregrészt, melynél közel izotróp repedéshálózat kialakulásával számolhatunk.

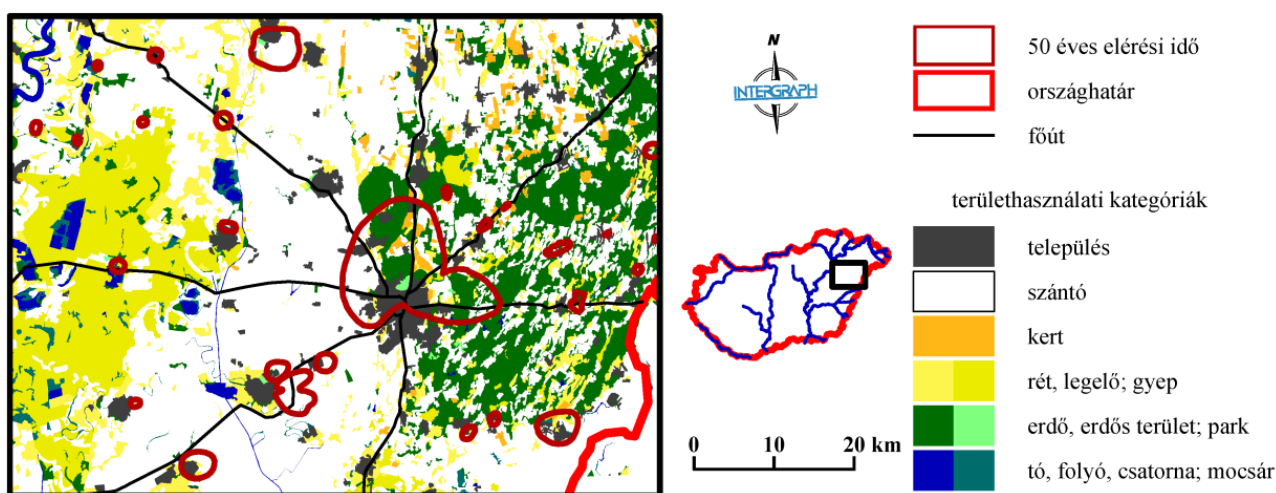
7. tézis

A földtani felépítés a hőszondás rendszerek kiépítését kevés kivételtől eltekintve nem gátolja, csupán a fajlagosan kitermelhető hőenergiát befolyásolja, így a kiépítés feltételei más korlátozó tényezőktől függenek. Ezek közül Hajdú-Bihar megyében legjelentősebb a vízbázisvédelmi területekre vonatkozó jogi szabályozás, mely e helyeken meggátolhatja a hőszondás rendszerek kiépítését.

A hőszivattyús rendszerek telepíthetősége és a telepítés költsége elsősorban az üledékek, kőzetek fűrhatóságától függ. A könnyebben fűrható üledékek az Alföldön általános elterjedtségűek, bennük a rendszerek kialakíthatók. Bár a nehezebben fűrható kompakt kőzetek (üde vulkáni és mélységi magmás kőzetek, bizonyos metamorfitek) jelentősen drágítják a fűrészt, de ezek hővezetőképessége az üledékekhez képest akár kétszeres is lehet, így rövidebb szondahossz és kedvezőbb üzemeltetési

paraméterek fogják a bennük kiépített rendszereket jellemezni. Komolyabb problémát a karsztosodott mészkövek fűrése jelenthet mind fűréstechnikailag, mind üzemeltetési szempontból, különösen száraz üregek esetén (pl. hegyvidéken), ekkor ugyanis az érintett szakaszokon gyakorlatilag nem lesz hővezetési hőutánpótlódás.

A kűfűrés és építkezések kapcsán felmerűlő engedélyeztetési eljárások közül (pl. régészeti-örökségvédelmi, természetvédelmi, létesítési és használatbavételi engedélyeztetés) – figyelembe véve a kialakítás sajátosságait és a potenciális elhelyezkedést – a legjelentősebb problémát a vízbázisvédelmi területeken való kiépítés jelentheti. Számos alföldi telepűlés esetében a vízbázisvédelmi terület hidrogeológiai B védőterülete teljesen vagy részben a telepűlésre terjed ki, ráadásul a sekélyebb termelt rétegek mélysége sok esetben nem haladja meg a 100 m-t. Ebben az esetben a fűrés vízbázisvédelmi területen létesűlne, esetlegesen harántolná a rezervoár fedőjét, így a kiépítés környezeti hatásvizsgálat köteles, mely jelentős idő- és pénzráfordítást jelent, megnűvelve ezzel a megtérűlési időt, valamint csökkentve a pályázati lehetőségeket. Az ilyen esetekre szükséges lenne egy egységes hatósági állásfoglalás, mely meghatározná, hogy milyen mélységben, milyen kiépítés mellett, milyen fluidum cirkuláltatásával kerülhetű el az egyedi elbírálás.



3. ábra A vízbázisvédelmi terűletek elhelyezkedése és terűlethasználat Debrecen környezetében

ÖSSZEGZÉS

A geotermikus energia termelésének optimalizálása vonatkozó eljárások úgy nűvelik a rendelkezésre álló potenciált (a földtani vagyont), hogy a rezervoárokat nem terhelik túl, azaz a rendszerek működésének fenntarthatósága javul. A sekély zónák esetében egyre inkább felértékelűdik a hűraktározás szerepe, mely segítségével a rendszerek regenerálódása segíthetű.

Az általam választotthoz hasonló modellterűletek ilyen típusű feldolgozása (az adat- és szakirodalmi forrásgyűtés, a különbűzű módon termelhetű mélységzónák elkűlönítése, a hidrogeotermikus potenciál kiaknázásának földtani és technikai behatárolása) elűkészítű fázisa a konkrét terűleti energetikai tervezésnek, továbbá lehetűséget nűyjt a hasonló körzetek adottságainak összehasonlítására.

A megfelelű tervezűi, kivitelezűi, üzemeltetűi és jogalkotűi hozzáállással a hazai geotermikus adottságokhoz még jobban illeszkedű geotermikus energia szektor fejleszthetű, mellyel a tervdokumentációkban megfogalmazott energetikai, környezetvédelmi és egyéb célok hatékonyabban elérhetűk.

MODELLING HEAT TRANSPORT PROCESSES OF THE UPPER CRUST AND ITS POSSIBLE APPLICATION IN EAST-HUNGARY

PhD Thesis

INTRODUCTION

Geothermal energy utilization has been dynamically developing in the last decades. The primary reason for this is that areas having neither excellent nor good geothermal potential, in a traditional sense, can also be involved into heat power exploitation. It can be achieved in two ways: (1) heat pumps using the heat stored in shallow systems, (2) EGS power plants, so far with the possibility of future installation. Thereby, another reason for the importance of geothermal energy beside that it is persistently available, is that it can be exploited from different depths of the upper crust nearly everywhere. Most of the currently applied technologies cause the long-term cooling of the surrounding geological space. The spreading of the mentioned technologies may conduce to the boom of geothermal energy primarily for direct use. The lifetime of such systems lasts several decades but to learn more about ethical, legislative, economic and geological problems resulted by the cooling of the rocks is urgent and necessary.

Both Hungarian and international energy research more often focus on geothermal energy exploitation optimization which is mainly based on geological, thermodynamical and building engineering considerations. All research presented in the thesis are related to projects in which the candidate participated as a researcher and in some cases also as the leader or coordinator of the geothermal part. Based on the projects the research aims were assigned as:

- developing a numerical heat transport software package;
- studying natural heat conduction in the crust;
- analytical and numerical analysis of temperature fields developing around operating borehole heat exchangers;
- determination of the maximum extractable energy in the case of shallow borehole heat exchangers;
- calculation of the environmental effects using different installation of borehole heat exchangers and operation scheme;
- fitting the achievements of the above aims into a smaller area and then generalizing the result to East-Hungary.

MATERIAL AND METHODS

The temperature distribution caused by the natural thermal conductivity and closed-circuit heat exploitation was studied by the application of solutions of differential equation of Fourier's Law (I.) by different boundary conditions. For this reason shallow depth temperature values measured in four different areas were studied.

To define the effects of complex geometries and heat exploitation with borehole heat exchangers finite different numerical model was developed in Free Pascal which was validated by simple temperature distributions. Afterwards, using this numeric model with changed model parameters the effects of the installation and the operation on the expecting temperature changes of the heat carrier fluid, in addition the amount of CO₂ related to the electricity required by the heat exchanger were defined.

The possibility of geothermal energy utilization from the basement and shallow depths (from the top to -100 m) in the surroundings of Létavértes was studied based on seismic sections, well documentation and literature. The EGS, GEOHIL, deep and shallow borehole heat exchangers, soils collectors and wells were studied in detail.

RESULTS

Thesis 1

The simple finite difference numerical heat conduction model software package developed during the research can describe heat conduction processes around a borehole heat exchanger with adequate accuracy, which was validated by analytical calculations and field temperature measurements.

Most of the commercial heat conduction softwares simplify some part of heat conduction, advection and/or convection processes, therefore they are not or partially suitable for describing the complex geological medium (e.g. bedding), handling certain time dependent phenomena (e.g. yearly changes in the initial temperature or groundwater level). If the primary loop is described well, usually the building engineering part of the model is too general.

Numerical modelling softwares developed in my PhD research programme in Free Pascal environment use different grids to determine temperature changes in one dimensional, two dimensional, three dimensional spaces in the case of cylindrical symmetry, reflectional symmetry or lack of symmetry. All calculations are based on the same subroutine, however, farther parts are different despite the geometry of the studied space. Validation of the softwares was performed by the solutions of the Fourier Law with different initial and boundary conditions, and with real temperature time series of monitoring systems connecting borehole heat exchangers. Temperature distribution produced by these softwares fit accurately to the theoretical (analytical) models, the difference between the analytical and numerical modelled temperature of the borehole heat exchanger cell is lower than 10 %, but the difference is lower than 2 % at a distance from the borehole of 0.25 m. More significant differences detected in the course of studying real processes are related to the uncertainty of measurement values, but the numerical temperature distribution can describe the measured values qualitatively reliably.

Thesis 2

Based on the temperature datasets measured in boreholes and in wells around Debrecen, the underground temperature profile has 4 parts with significantly different geothermal gradient (Fig. 1). The geothermal gradient of the zone of thermal reservoirs is 61 °C/km, while this value in the depth between 20 and 100 m is around 30 °C/km, however, in the upper 10 m above a transient zone negative geothermal gradient was detected.

In the research area there were several databases which were suitable for determining the geothermal gradient. Based on the data of thermal wells, this value is 61 °C/km between 500 and 2500 m. „Megújuló Energia Alkalmazási Központ” (Application Centre of Renewable Energy) has monitoring data from the upper 100 m, „Megújuló Energiapark” (Renewable Energy Park) has monitoring data from the upper 20 m, while soil temperature was measured in the upper 2 m in the Agrometeorological Observatory, University of Debrecen. The shallow temperature values showed a zone with geothermal gradient of 30 °C/km between 20 and 100 m (Fig. 4.). The decreasing value may be formed by palaeoclimatic and recent climatic changes, on the other hand, the lower part of this zone may be affected by groundwater movement which is intensified by drinking water production from the depth of 100–150 m. Mixing and movement of these waters can cause lower geothermal gradient. Above this a depth-dependent temperature zone also stood out with a constant temperature of about 11.5–12 °C, while in the upper 10 m the geothermal gradient is negative in two urban cases, while this phenomenon is not characteristic in the rural region, which is caused by recent extra heat of the surface (e.g. global warming and urban heat island). This recognition, which is yet to be described in detail in Hungary, may have a significant role in the designing of the shallow systems (not deeper than 20 m), the utilization of which requires not so complex licensing processes as the deeper ones.

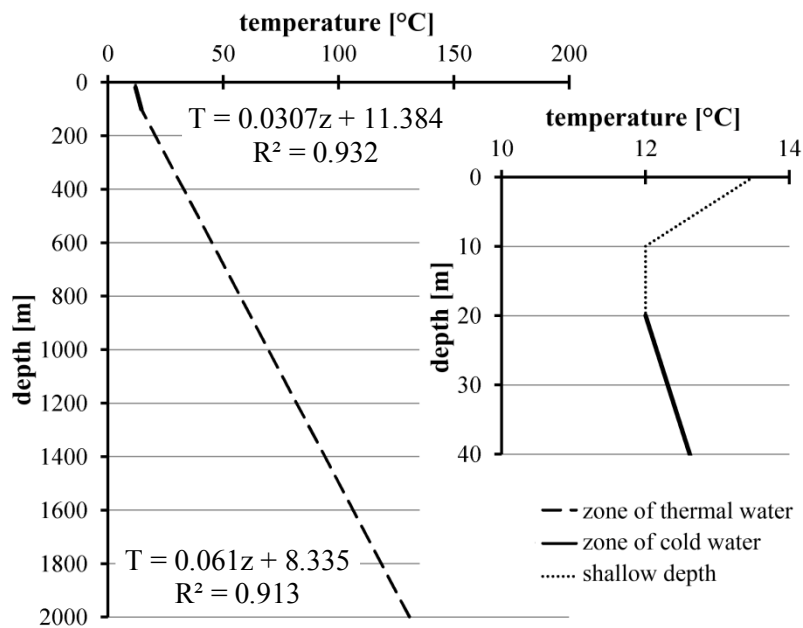


Figure 4. Temperature profile of the upper crust around Debrecen consists of four zones

Thesis 3

Evaluation of a multi-stage thermal response test (TRT) is possible with curve fitting to the data of the monitoring system installed with the boreholes. The curve is determined as the superposition of the temperature changes caused by the different power steps of energy extraction/injection.

TRTs are usually performed during the installation of geothermal systems for determining the extractable energy. In our research it was possible to perform a TRT on a running system (in „Megújuló Energia Alkalmazási Központ”, Debrecen) using a borehole which had been closed for 1 month before. Since during a TRT the heat pump cannot operate and it is necessary to refit the system, this method is not performed usually. Our test became multi-stage because of hydraulic problems of the systems, thus the evaluation of the data in the common way was not possible. The monitoring data related to the boreholes could be fitted to the functions derived from infinite line source model, where the unknown parameters (installation, measurement errors) and thermal conductivity can be determined. This method has not appeared in the leading geothermal and HVAC journals, therefore it could be regarded as an innovation. In the case of TRT on systems with monitoring network applying the methods as supplementary measurement is recommended.

Thesis 4

/a By theoretical (analytical) and numerical methods (with the developed software) the maximum energy extractable from a given primary loop during continuous and different cyclic operation is determinable.

/b Appropriate installation around the surface of the heat exchanger increases the extractable power or the same heat power can be extracted in more prosperous operating conditions.

/c In borehole fields lasting heat extraction, high specific power values or small distances between the boreholes can cause overcooling in the inner part of the field, which may lead to dysfunction. This overcooling could be decreased or dissolved by heat harvesting in summer if the timing and amount is appropriate.

The maximum extractable power of a borehole heat exchanger or a collector with a given installation is defined by the maximum allowed temperature decrease. This depends on the initial temperature of the underground as well as the minimum allowed temperature of the evaporator of the heat pump. If the heat conductivity and heat capacity around the surface of the heat exchanger

could be increased significantly, the temperature decrease of the heat carrier fluid caused by the same power extraction becomes lower (Fig. 5). The temperature of the heat carrier fluid has primary effect on the actual COP value of the heat pump, thus higher return temperature of the fluid causes lower amount of external energy, in this way the operation becomes cheaper and more environment friendly.

In the case of independent borehole heat exchanger or a few borehole heat exchangers installed far from each other the heat recovery occurs from the farther zones, therefore the decrease of the geothermal potential is moderate. Recovery of the inner part of the borehole fields during the operation is limited due to the shading effect of the outer boreholes, consequently the temperature difference between the inner and outer parts of the field increases year-by-year. If the primary loop has not got a monitoring system overcooling takes place when the efficiency of the heat extraction decreases significantly and the borehole heat exchangers cannot serve the design power to the system. This could be formed within a few years.

Improvement can be achieved with using higher borehole distance, or different grid type from those used recently. Overproduction could be avoided when parts of the borehole field could be operated independently, thus the part which could be recovered efficiently is used usually. Beside this the extra heat during summer can be harvested by free or forced cooling, or directly, and can be stored underground. If it is possible the underground system has to have more energy by the next heating season than it had in the previous season.

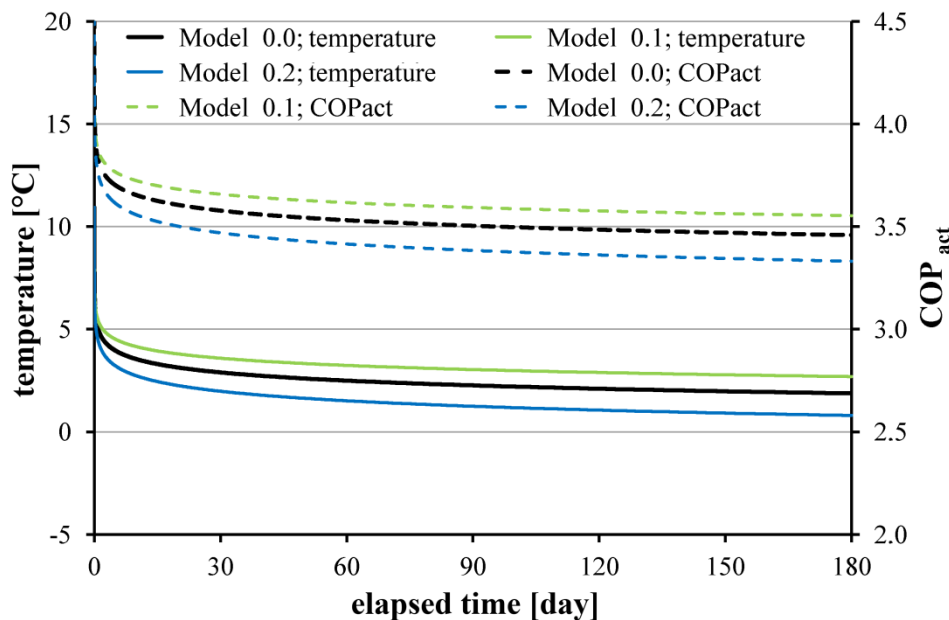


Figure 5. Modelled temperature of the evaporator and the actual COP of a given heat pump in the case of constant heat extraction

Model 0.0: thermal conductivity of the soil was 1.8 W/(m·K); Model 0.1: thermal conductivity of the soil was 2.1 W/(m·K); Model 0.2: thermal conductivity of the soil was 1.5 W/(m·K)

Thesis 5

Both deep borehole heat exchanger and GEOHIL type systems penetrating the basement can be installed most promisingly at the location of uplifted basement blocks with positive temperature anomaly. Optimal efficiency of such systems can be achieved only by appropriate well construction e.g. insulation of tubing, insulation of certain part of casing.

In the case of closed and quasi-closed systems both the high thermal conductivity of the rocks and the mechanical stability of the systems are fundamental conditions. Thermal conductivity value of compact rocks, especially with high quartz content, is significantly higher than the value of clayey sediments or sediments with high porosity. In addition, positive temperature anomaly driven by the potential thermogravitational circulation in the fractured basement ridges is also favourable for heat extraction. Consequently as high portion of the borehole should be drilled in the basement

as possible. Regarding the morphology of the vertically strongly diverse basement of Hungary this can be achieved at the location of basement ridges, where compact rocks could be reached at the depth between 1500 and 2000 m.

Compared to the Swiss example, according to the geological conditions in the case of Hungary GEOHIL systems can be constructed only with some changes in the well design and construction (e.g. with casing in loose sediments and rocks of shallow depths) but the temperature distribution is favourable. Temperature increase evolving in the case of no insulation, 15–20 °C of inlet temperature and 6000 m of total depth is 5–20 °C depending on well construction, mass flow and geological conditions, therefore the return temperature and power is low compared to the investments. If the inlet temperature after a multi-purpose utilization is around 60–80 °C, the casing is insulated to the depth of this temperature and the heat conductivity of the tubing is rather low, then the return temperature and power can be appropriate for electricity generation in a suitable location such as Debrecen.

Thesis 6

Efficiency of the deep open systems reaching the basement strongly depends on the configured fracture and/or porous system. The potential sites of EGS in Hungary are the deep basins of the basement with recrystallised rocks (e.g. granite, granodiorite), thus drilling in the filling sediments is easier and cheaper, however, heat extraction could occur in the quartz-rich rocks. In the basement the brecciazones of the reverse faults and transverse faults of the imbrication and nappe structures are the most important dominant structural elements formed in several phases. During hydraulic fracturing of these systems both suitable and unsuitable fractures can be formed.

The presence of the rocks in the basement that could be fractured easily and consist open or closed lithoclasts, faults or brecciated zones of former tectonic activities is important for the installation of EGS. The high pressure of fracturing fluid can re-open and widen these elements, hence the initial presence of stress field and fractures help to reduce costs and also to increase efficiency. Basically, in the basement of Hungary reverse faults with SW-NE striking and SE dipping are formed. In their surroundings the development of strongly anisotropic fracture system is expected, from which the fractures with horizontal or subhorizontal strike are favourable, while subvertical open fractures, due to possible vertical water migration, are unfavourable for EGS. Deeper regions of such fault systems can be used for horizontal migration of injected water, where besides low risk of fracturing, appropriate efficiency and power can be achieved. Basement blocks bounded by fault groups far from each other were determined as other promising locations for EGS, in which nearly isotrope fracture systems were expected.

Thesis 7

Geological conditions present no limiting factors in the installation of the shallow borehole heat exchangers apart from some exceptions, they influence only the extractable energy, thus installation generally has more significant limitation factors. Among this the most important in Hajdú-Bihar County could be the regulation on water source protection zones, which can inhibit the installation of heat pump systems in these areas.

Possibility and cost of installation of borehole heat exchangers is primarily based on the drillability of sediments and rocks. Loose sediments are drillable easily and they are widespread in the Great Hungarian Plain. Although the worst drillable compact rocks (fresh igneous rocks, certain metamorphites) make drilling more expensive, but their thermal conductivity could be twice as that of the sediments, thus smaller length and prosperous operation parameters characterize the systems drilled into these rocks. Karstic limestone set a problem both in installation and operation especially in the case of dry cavern, due to the lack of effective thermal conduction.

Besides the permission needed for drilling and building (e.g. archaeological, cultural heritage protection, nature protection, construction and occupancy permit), considering the potential location and problems, the regulation about water source protection seems to be the most important limiting

factor. In the case of several settlements of the region the water source protection area is fully or partially extends into the settlement (Fig. 6), in addition the depth of the shallowest productive zones is shallower than 100 m. If the drilling will be performed in the protection area and may penetrate the overburden of the aquifer, the installation requires Environmental Impact Assessment, consuming time and budget, increasing the length of the payback period and reducing the possibility to attend in a tender. Authorial commitment may be needed for these cases, which can describe that what type of installations (depth, used standards, type of heat carrier fluid) can avoid detailed assessment.

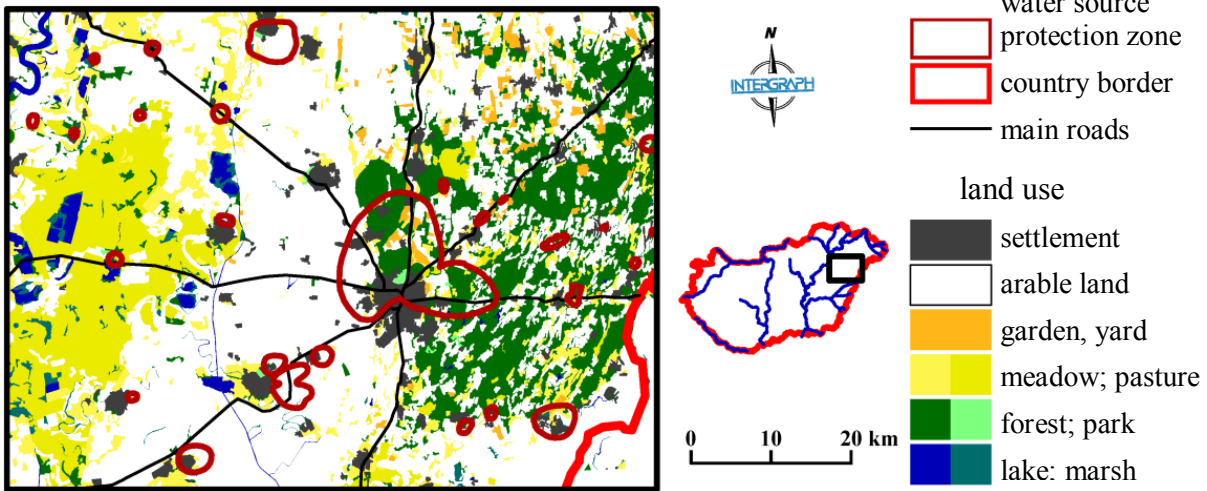


Figure 6. Land use and the location of the water source protection zones around Debrecen

CONCLUSIONS

New methods aiming the optimization of geothermal energy extraction increase the available (technical) potential without overloading the reservoirs; consequently the sustainability of the extraction improves. The role of heat storage in shallow depths, which conducive to the regeneration, is highly appreciated.

Such study of model areas like the present focus area (the data and literary source collection, the division of the different depth zones, the set up of the geological and technical conditions of extraction possibilities of hydrogeothermal potential) is part of the preparatory phase of the energy planning of a given area, in addition, great help to compare the conditions of similar areas.

By adequate engineering design, construction, operation and legislative attitude a power generation sector fitting better to the Hungarian geothermal endowment could be improved. Thereby all the energetic, environmental and other goals drawn up in planning documents can be achieved more effectively.



Nyilvántartási szám: DEENK/192/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Buday Tamás
Neptun kód: BUDN1U
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10036969

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

1. **Buday, T.**, Lázár, I., Csákberényi-Nagy, G., Bódi, E., Tóth, T.: Effect of the Solar Radiation on Underground Temperature Values and Heat Supply Around a Ground Coupled Heat Pump Based on Meteorological Data, Debrecen.
In: Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region. Ed.: Willington Ortiz, Márta Somogyvári, Viktor Varjú, István Fodor, Stefan Lechtenböhmer, Institute for Regional Studies Centre for Economic and Regional Studies Hungarian Academy of Sciences, Pécs, 239-250, 2015. ISBN: 9789639899919

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (5)

2. **Buday, T.**, Szabó, G., Fazekas, I., Paládi, M., Szabó, S., Szabó, G., Kerényi, A.: Annual pattern of the coefficient of performance considering several heat pump types and its environmental consequences.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 5 (2), 173-179, 2014. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/IRASE.5.2014.2.10>
3. **Buday, T.**: Reduction of environmental impacts of heat pump usage with special regard on systems with borehole heat exchangers.
Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 8 (2), 66-77, 2014. ISSN: 1789-4921.
4. **Buday, T.**, Kozák, M., McIntosh, R.W., Püspöki, Z.: Possibilities of geothermal energy utilization around Létavértes.
Acta Geogr. Geol. Meteorol. Debr. 6-7, 63-70, 2012. ISSN: 1788-4497.



5. **Buday, T.:** Possible reduction of environmental impacts of geothermal energy extraction in a theoretical spa.

Acta geogr. Debr., Landsc. environ. ser. 6 (2), 68-75, 2012. ISSN: 1789-4921.

6. **Buday, T., Kozák, M.:** Necessity, experiences and abilities of deep heat mining.

Acta geogr. geol. meteorol. Debr. 2, 199-207, 2007. ISSN: 1788-4497.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (1)

7. **Buday, T., Szűcs, P., Kozák, M., Püspöki, Z., McIntosh, R.W., Bódi, E., Bálint, B., Bulátkó Kornél,:** Sustainability aspects of thermal water production in the region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary.

Environ Earth Sci. Epub ahead of print (2015) ISSN: 1866-6280.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3983-1>

IF: 1.765 (2014)

További Közlemények

Magyar nyelvű könyv(ek) (2)

8. Kozák M., McIntosh R.W., **Buday T.:** Hidrogeotermikus rendszerek és földtani vetületeik 3.

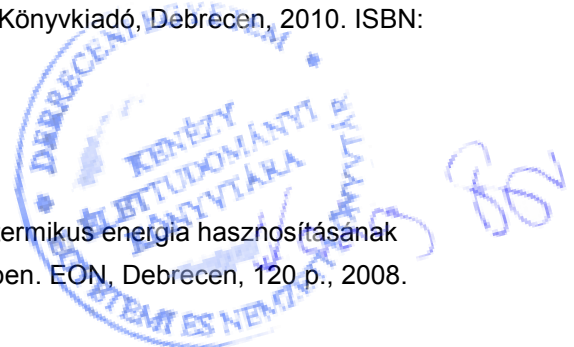
köt.: Geotermikus rendszerek fenntarthatóságának integrált modellezése. Debreceni Egyetem, Debrecen, 140 p., 2011. ISBN: 9789634734482

9. Demeter G., Püspöki Z., Lazányi J., **Buday T.:** Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás

Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében. Dominium Könyvkiadó, Debrecen, 2010. ISBN: 9789638798046

Kutatási jelentés(ek) (2)

10. Halász G., Kozák M., Kalmár F., **Buday T., Papp I.:** Geotermikus energia hasznosításának lehetőségei és veszélyei a távhő ellátási rendszerekben. EON, Debrecen, 120 p., 2008.

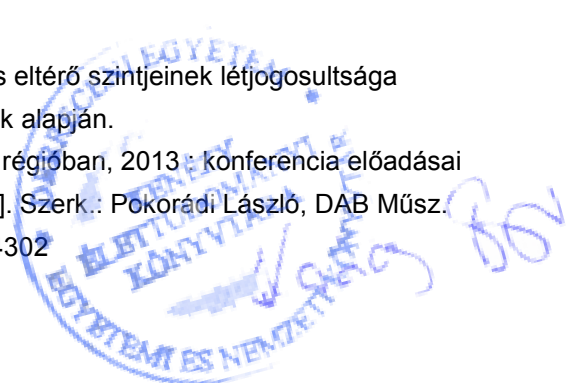




11. Halász G., Kozák M., Kalmár F., **Buday T.**, Papp I.: A hő és távhőellátási célú geotermikus energia hasznosítás nemzetközi és hazai gyakorlatának ismertetése: Geotermikus energia debreceni távhő rendszerben történő hasznosítási lehetőségének vizsgálata. Debreceni Hőszolgáltató Rt., Debrecen, 190 p., 2008.

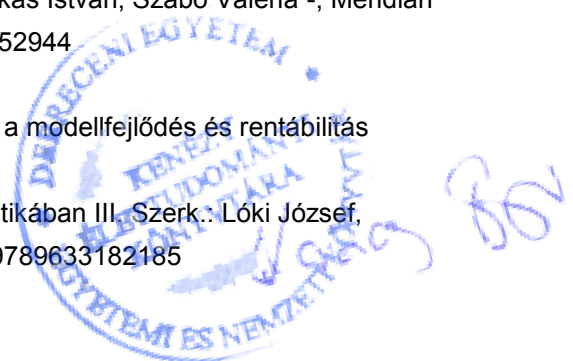
Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (30)

12. **Buday T.**, Püspöki Z.: Létavértes földtani adottságai és felszín alatti vízkincsei.
In: Létavértes története 1970-2010. Szerk.: Erdei Gábor, Életvonal Alapítvány : Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 27-41, 2014. ISBN: 9789633184424
13. **Buday T.**, Fazekas I., Szabó G., Paládi M., Szabó S., Szabó G., Kerényi A.: A talajhőt primeroldali forrásként használó hőszivattyús rendszerek környezeti hatásainak csökkentési lehetőségei.
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Szakbizottsága, Debrecen, 57-63, 2014. ISBN: 9789637064319
14. **Buday T.**, Lázár I., Tóth T., Bódi E., Csákberényi-Nagy G.: Kis méretű üvegházak és fóliasátrak energiaigényének biztosítása megújuló energiaforrásokból - a sekély geotermika lehetőségei.
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2014 konferencia előadásai : Szolnok, 2014. május 13. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 73-80, 2014. ISBN: 9789635087525
15. Bódi E., **Buday T.**, Csákberényi-Nagy G.: Geotermikus hőhasznosítási módszerek telepítési és működtetési feltételeinek összehasonlítása alacsony hőmérsékletű hőhasznosítás esetén.
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás III. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Szakbizottsága, Debrecen, 64-70, 2014. ISBN: 9789637064319
16. Bódi E., **Buday T.**: Földtani és hidrodinamikai modellezés eltérő szintjeinek létjogosultsága észak-kelet magyarországi régióba eső mintaterületek alapján.
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban, 2013 : konferencia előadásai Debrecen, 2013. június 4. [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Pokorádi László, DAB Műsz. Szakbiz., Debrecen, 50-57, 2013. ISBN: 9789637064302





17. Hilgert L., **Buday T.**, Vincze-Gál S.: Változatos rétegsorú hegyláb felszíni területeken mélyült fúrások maganyagainak talajmechanikai célú vizsgálati lehetőségei és módszertani nehézségei a miskolci Avas példáján.
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban, 2013 : konferencia előadásai Debrecen, 2013. június 4. [elektronikus dokumentum]. Szerk.: Pokorádi László, DAB Műsz. Szakbiz., Debrecen, 58-66, 2013. ISBN: 9789637064302
18. **Buday T.**, Bulátkó Kornél: Szekvenciasztratigráfiai vizsgálatok szerepe a hidrogeológiai modellezésben egy hazai termálvíz-kitermelő centrumpár példáján.
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2012. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 241-247, 2012. ISBN: 9789637064302
19. Szűcs P., **Buday T.**: Hőtranszport modellek alkalmazása a hidrogeológiában.
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2012. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 225-230, 2012. ISBN: 9789637064302
20. McIntosh R.W., **Buday T.**, Hilgert L.: Az aljzatpetrográfia geotermikai értelmezése Hajdú-Bihar és Bihar megyék területén.
In: A környezettudatos települések felé. Szerk.: Fazekas István, Szabó Valéria, Meridián Alapítvány, Debrecen, 62-68, 2012. ISBN: 9789630852944
21. **Buday T.**, Hilgert L., Fülöp N., Vincze-Gál S., Faragó E.: Fiatal üledékek belső energiájának geotermikus energiatermelésbe történő bevonásának lehetőségei Hajdú-Bihar megyében.
In: A környezettudatos települések felé. Szerk.: Fazekas István, Szabó Valéria, Meridián Alapítvány, Debrecen, 56-61, 2012. ISBN: 9789630852944
22. **Buday T.**: A felszín alatti hőt hasznosító hőszivattyús rendszerek primeroldali kiépítésének korlátozó tényezői alföldi kisvárosokban, Létavértes példáján.
In: A környezettudatos települések felé. Szerk.: Fazekas István, Szabó Valéria -, Meridián Alapítvány, Debrecen, 45-51, 2012. ISBN: 9789630852944
23. Bódi E., **Buday T.**: Az adatsűrűség hatásának vizsgálata a modellfejlődés és rentabilitás szempontjából két 3D kőzetvázmodell példáján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetem, Debrecen, 67-74, 2012. ISBN: 9789633182185





24. Hilgert L., **Buday T.**: Kőzetek és laza üledékek hővezetési tényezőjének vonalforrás módszerrel történő meghatározásának módszertani kérdései.
In: Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2012. Szerk.: Pokorádi László, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Debrecen, 285-294, 2012. ISBN: 9789637064302
25. **Buday T.**, Püspöki Z., Szűcs P.: Tiszántúli hévízadók kőzetváz, fluidum- és hőtranszport modellje Hajdúszoboszló és Debrecen térségében.
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : [II. Környezet és Energia Konferencia] : [Debrecen, 2011. november 25-26.]. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 114-119, 2011. ISBN: 9789637064272
26. **Buday T.**, Török I.: Hőszondára telepített monitoringrendszer vizsgálatának tapasztalatai (MEAK, Debrecen).
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : [II. Környezet és Energia Konferencia] : [Debrecen, 2011. november 25-26.]. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 109-113, 2011. ISBN: 9789637064272
27. Kozák M., McIntosh R.W., **Buday T.**: A Tiszántúl aljzatszerkezete és ennek termoenergetikai jelentősége.
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : [II. Környezet és Energia Konferencia] : [Debrecen, 2011. november 25-26.]. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 120-126, 2011. ISBN: 9789637064272
28. Kozák M., McIntosh R.W., **Buday T.**: A mélyszerkezetek szerepe a tiszántúli regionális geotermikus potenciál és annak kiaknázási lehetőségei szempontjából.
In: Interdiszciplinaritás a természet- és társadalomtudományokban : Tiszteletkötet Szabó József geográfus professzor 70. születésnapjára. Szerk.: Lóki József, Egyetemi Kiadó, Debrecen, 181-188, 2010. ISBN: 9789633180624
29. Püspöki Z., Demeter G., **Buday T.**, Forgács Z.: Vízfolyásrendszerek azonosítása és laterális korrelációja vertikális mederszelvényeken mélyfúrású geofizika segítségével.
In: Interdiszciplinaritás a természet- és társadalomtudományokban : Tiszteletkötet Szabó József geográfus professzor 70. születésnapjára. Szerk.: Lóki József, Egyetemi Kiadó, Debrecen, 259-266, 2010.



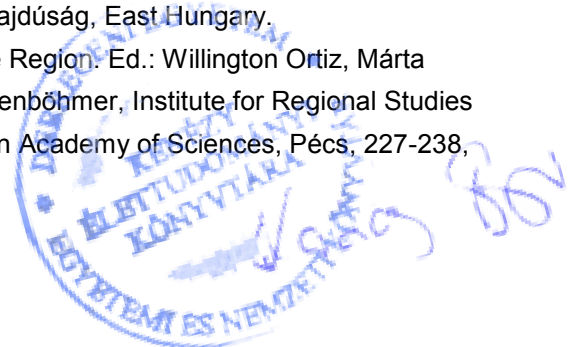
30. Demeter G., Püspöki Z., **Buday T.**: Szekvencia-sztratigráfiai alapú 3D földtani modellezés az Északi-Nyírség jelentősebb vízbázisain: Vízföldtani atlaszok.
In: Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében.
Szerk.: Demeter Gábor, Püspöki Zoltán, Lazányi János, Buday Tamás, Dominium Könyvkiadó, Debrecen, 102-201, 2010.
31. **Buday T.**, Nyíri A., Demeter G.: Az adatbázisiépítés és a szekvencia-sztratigráfiai kutatások hidrogeológiai eredményei.
In: Szekvencia-sztratigráfiai alapú földtani kutatás Nyíregyháza-Szatmárnémeti térségében.
Szerk.: Demeter Gábor, Püspöki Zoltán, Lazányi János, Buday Tamás, Dominium Könyvkiadó, Debrecen, 202-224, 2010.
32. Kozák M., **Buday T.**, Ujhelyi J., McIntosh R.W., Bálint B.: A bükkelőtéri mélykarszt hévizeinek valószínű áramlási rendszere és terhelhetősége.
In: Változó Föld-változó társadalom-változó ismeretszerzés Tudományos Konferencia.
Szerk.: Pajtókné Tari Ilona, Tóth Antal, EKF Földrajz Tanszék, Eger, 96-103, 2009. ISBN: 9789639894297
33. Kozák M., McIntosh R.W., Bálint B., **Buday T.**: Hőbányászati alternatívák az észak-alföldi termokarszt bázison.
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : [II. Környezet és Energia Konferencia] : [Debrecen, 2011. november 25-26.]. Szerk.: Orosz Zoltán, Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 105-110, 2011. ISBN: 9789637064272
34. **Buday T.**, Kozák M., Kovács S.: Földhő hasznosítási alternatívák Debrecen energiaellátásában.
In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : [II. Környezet és Energia Konferencia] : [Debrecen, 2011. november 25-26.]. Szerk.: Orosz Zoltán, Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága, Debrecen, 99-104, 2011.
35. **Buday T.**, Kozák M.: Gondolatok a geotermikus energia megújuló voltáról.
In: Tanulmánykötet Dr. Gööz Lajos professzor 80. születésnapjára. Szerk.: Hanusz Árpád, Nyíregyházi Főiskola Turizmus és Földrajztudományi Intézet, Nyíregyháza, 41-50, 2008. ISBN: 9789639909045
36. **Buday T.**, Osváth R.: Geotermikus rendszerek szén-dioxid és metán emissziója.
In: Tanulmányok a geológia tárgyköréből : Dr. Kozák Miklós pályatársainak és tanítványainak tollából, az ünnepelt 60. születésnapjának alkalmából. Szerk.: Püspöki Zoltán, Debreceni Egyetem, Debrecen, 139-152, 2008. ISBN: 9789634731788



37. **Buday T.**: A Yellowstone geotermális rendszer kialakulása és működése.
In: Geographia generalis et specialis : Tanulmányok Kádár László születésének 100. évfordulójára rendezett tudományos konferenciára. Szerk.: Szabó József, Demeter Gábor, Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 197-202, 2008. ISBN: 9789634731108
38. **Buday T.**, Kozák M.: A felszínalatti vizek geotermikus hasznosításának korlátai és újabb perspektívák.
In: Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia (4.)(2008)(Debrecen)IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, II. kötet. Szerk.: Orosz Zoltán, Szabó Valéria, Molnár Géza, Fazekas István, REXPO Kft., Debrecen, 33-39, 2008. ISBN: 9789630646260
39. **Buday T.**, Kozák M.: A környezetbarát földhőbányászat.
In: A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében : konferenciakötet. Szerk.: Fodor István, Suvák Andrea, MTA Regionális Kutatások Központja, Pécs, 191-198, 2008. ISBN: 9789639899056
40. Papp M., Buday A., **Buday T.**, McIntosh R.W.: Haláp (Dél-Nyírség) környéki élőhelyek növényzetének változásai (1782-2005).
In: Kutatás, oktatás, értékteremtés: A 80 éves Précsényi István köszöntése. Szerk.: Molnár Edit, MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet, Vácrátót, 133-149, 2006. ISBN: 9638391332
41. **Buday T.**, Osváth R.: Hidrogeokémiai tapasztalatok egy vulkanikus terület forrásainak katasztrozése alapján.
In: Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Közread.: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Kolozsvár, 42-47, 2006. ISBN: 9789737840097

Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

42. Bódi, E., **Buday, T.**, Kovács, R.L., McIntosh, R.W., Kozák, M.: Thermal Water Utilization and its Possible Development in the Early 21st Century in Hajdúság, East Hungary.
In: Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region. Ed.: Willington Ortiz, Márta Somogyvári, Viktor Varjú, István Fodor, Stefan Lechtenböhrer, Institute for Regional Studies Centre for Economic and Regional Studies Hungarian Academy of Sciences, Pécs, 227-238, 2015. ISBN: 9789639899919



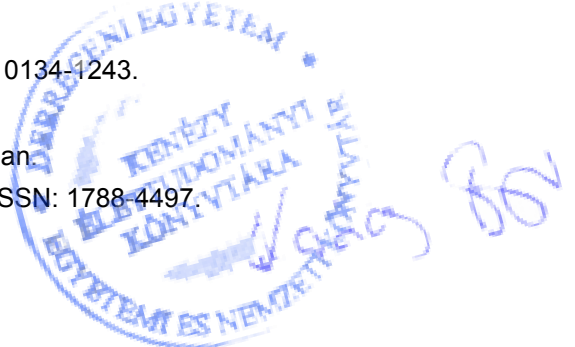


Idegen nyelvű, külföldi könyvrészlet(ek) (1)

43. **Buday, T.**, McIntosh, R.W., Hilgert, L., Vincze-Gál, S., Fülöp, N., Faragó, E., Juhász, K.:
Geological possibilities and problems in the exploitation of geothermal energy in Hajdú-Bihar
and Bihor county.
In: Contributii la utilizarea eficienta a energiilor regenerabile in judetele Bihor si Hajdú-Bihar =
Hozzájárulások a megújuló energiaforrások hatékony felhasználására Bihor és Hajdú-Bihar
megyékben. Szerk.: Monica Costea, Mircea Gordan, Editura Universitatii din Oradea,
Oradea, 69-78, 2012. ISBN: 9786061009602

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (7)

44. Szűcs P., **Buday T.**: Hidrogeotermikus rendszer vizsgálata Hajdúszoboszló térségében.
ME közl., 1. Bány. 81, 261-270, 2011. ISSN: 1417-5398.
45. **Buday T.**, Török I.: Működő hőszivattyús rendszerek hatása a felszínközeli üledékek
hőmérsékletére egy debreceni példa alapján.
Magyar épületgépészet. 59 (1-2), 21-24, 2011. ISSN: 1215-9913.
46. Krasznai E., Osváth R., **Buday T.**, Papp I., Török P.: Adatok a Hildenbrandia rivularis (Liebmann)
J. Agardh, vörösmoszat hazai előfordulásához.
Kitaibelia. 14 (1), 32-34, 2009. ISSN: 1219-9672.
47. **Buday T.**, Krassay Z.: A Yellowstone geotermális rendszer működése és jelentősége.
Acta geogr. geol. meteorol. Debr. 2, 187-198, 2007. ISSN: 1788-4497.
48. Osváth R., **Buday T.**: Geológiai alapú értékvédelem lehetőségei a Tokaji-hegységben.
Folia hist.-nat. Mus. Matra. 30, 369-373, 2006. ISSN: 0134-1243.
49. **Buday T.**, Osváth R.: Forráskataszterezési tapasztalatok Vágáshuta és Sátoraljaújhely
környékéről.
Folia hist.-nat. Mus. Matra. 30, 375-381, 2006. ISSN: 0134-1243.
50. **Buday T.**, Osváth R.: Földtani értékvédelem Finnországban.
Acta geogr. geol. meteorol. Debr. 1, 123-127, 2006. ISSN: 1788-4497.





Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (2)

51. Fazekas, I., Szabó, S., Paládi, M., Szabó, G., **Buday, T.**, Túri, Z., Kerényi, A.: Biogas utilization and its environmental benefits in Hungary.
Int. Rev. Appl. Sci. Eng. 4 (2), 129-135, 2013. ISSN: 2062-0810.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/IRASE.4.2013.2.6>

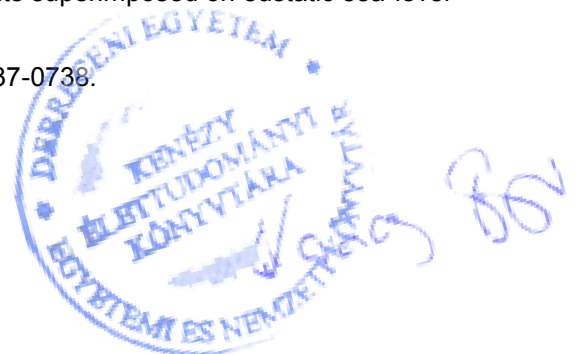
52. Pap, L., **Buday, T.**, Papp, I., Gomez, I.: Brief notes on previous and recent results of thermoanalytical research of bone.
Acta geogr. geol. meteorol. Debr. 3, 15-22, 2008. ISSN: 1788-4497.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

53. Püspöki, Z., Demeter, G., Tóth-Makk, Á., Kozák, M., Dávid, Á., Virág, M., Kovács-Pálffy, P., Kónya, P., Gyuricza, G., Kiss, J., McIntosh, R.W., Forgács, Z., **Buday, T.**, Kovács, Z., Gombos, T., Kummer, I.: Tectonically controlled Quaternary intracontinental fluvial sequence development in the Nyírség, Pannonian Basin, Hungary.
Sediment. Geol. 283, 34-56, 2013. ISSN: 0037-0738.
IF:2.134

54. Püspöki, Z., Forgács, Z., Kovács, Z., Kovács, E., Soós-Kablár, J., Jäger, L., Pusztafalvi, J., Kovács, Z., Demeter, G., McIntosh, R.W., **Buday, T.**, Kozák, M., Verbőci, J.: Stratigraphy and deformation history of the Jurassic coal bearing series in the Eastern Mecsek (Hungary).
Int. J. Coal Geol. 102, 35-51, 2012. ISSN: 0166-5162.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2012.07.009>
IF:2.976

55. Püspöki, Z., Tóth-Makk, Á., Kozák, M., Dávid, Á., McIntosh, R.W., **Buday, T.**, Demeter, G., Kiss, J., Püspöki-Terebesi, M., Barta, K., Csordás, C., Kiss, J.: Truncated higher order sequences as responses to compressive intraplate tectonic events superimposed on eustatic sea-level rise.
Sediment. Geol. 219 (1-4), 208-236, 2009. ISSN: 0037-0738.
IF:1.957





Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

56. **Buday T.**, Püspöki Z., Kovács Z., Bódi E., Fekete C.: Geotermikus modellezés térinformatikai követelményei és létavértesi project alapján.
In: Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás II. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetem Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Debrecen, 397-404, 2011. ISBN: 9789633181164
57. **Buday T.**, Kozák M., McIntosh R.W., Bálint B.: Környezetkímélő hőbányászat és hévízgazdálkodás.
In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia : Nyíregyháza, 2010. április 22-24. Szerk.: Szabó Béla, Tóth Csilla, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, 367-372, 2010. ISBN: 9789639909571
58. Osváth R., **Buday T.**: Neogén vulkáni térszín természetvédelmi célú forrásminősítő vizsgálata a Tokaji-hegység északkeleti részén.
In: VII. Bányászati-Kohászati-Földtani Konferencia. Szerk.: Wanek Ferenc, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Cluj-Napoca, 122, 2005. ISBN: 973784002X

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (8)

59. Szabó, S., Enyedi, P., Szabó, G., Fazekas, I., **Buday, T.**, Kerényi, A., Paládi, M., Mecser, N., Szabó, G.: Lidar based assessment of roofs: Perspectives for solar energy.
In: Proceedings of Denzero International Conference: Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources. Ed.: Kalmár Ferenc, Debreceni Egyetem, Debrecen, 114-122, 2014. ISBN: 9789634737360
60. **Buday, T.**, Bódi, E.: Effects of approaches generating different solid models on hydrodynamic models based on the case study of Hajdúszoboszló, East-Hungary.
In: Proceedings of the IAH Central European Groundwater Conference 2013. Ed.: Fórizs I, Szegedi Egyetemi Kiadó, Szeged, 100-103, 2013. ISBN: 9789633062173
61. Paládi, M., Fazekas, I., Szabó, G., Szabó, S., **Buday, T.**, Szabó, G., Kerényi, A.: Environmental impacts of solid biomass for energy purposes.
In: Proceedings of DENZERO International Conference : Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources: 10-11 october 2013, Debrecen. publ. University of Debrecen, Debreceni Egyetem, Debrecen, 35-42, 2013. ISBN: 9789634736240



62. **Buday, T.**, Török, I.: Possibilities and problems in the modelling of operating borehole heat exchanger (BHE) systems based on field studies.
In: Proceedings of 18th Building Services, Mechanical and Building Industry days, International Conference. Ed.: Ferenc Kalmár, Ákos Lakatos, Zsolt Tiba, Judit T. Kis, Norbert Boros, Attila Talamon, Debreceni Egyetem, Debrecen, 1-8, 2012.
63. **Buday, T.**: Effects of operating heat pump systems on the underground temperature based on a case study in Debrecen.
In: 16th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : 14-15 October 2010 Debrecen, Hungary. Szerk.: ...Kalmár Ferenc, ...Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 107-114, 2010. ISBN: 9789634734222
64. **Buday, T.**: Temperature changes of the upper crust based on operation of borehole heat exchangers (Debrecen).
In: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" : International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009. Szerk.: Kalmár Ferenc, Kocsis Imre, Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 113-118, 2009. ISBN: 9789634733133
65. Kozák, M., **Buday, T.**, McIntosh, R.W., Bálint, B.: Geological background of the geothermal-hydrogeological modelling of the eastern Transisza region.
In: 15th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" : International Conference : Debrecen, ... 15-16 October 2009. Szerk.: Kalmár Ferenc, Kocsis Imre, Csomós György, Csáki Imre, Debreceni Egyetem, Debrecen, 23-30, 2009. ISBN: 9789634733133
66. **Buday T.**, Kozák M., McIntosh R.W.: International experience of geothermal energy production regarding sustainability.
In: 14th "Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference : Debrecen, ... 30-31 October 2008. Szerk.: Kalmár Ferenc, Csiha András, Debreceni Egyetem, Debrecen, 23-30, 2008. ISBN: 9789634731245

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 8,832

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 1,765

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.09.16.