SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

# Geotermikus rezervoárokból történő fémkioldás laboratóriumi vizsgálata, különös tekintettel a volfrámra

**Investigating metal leaching potential under geothermal reservoir circumstances, with special focus on tungsten**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**KÉSZÍTETTE:**

**Osvald Máté**

**TÉMAVEZETŐ:**

**Dr. habil. Szanyi János**

egyetemi adjunktus

**Szeged**

**2020**

# BEVEZETÉS ÉS CÉLOK

A geotermikus energia egy olyan alternatív és – felelősségteljes használat mellett – hosszútávon megújuló energiaforrás, amely a Föld belső hőenergiáján alapul. Hasznosítása tőkeintenzív, befektetési kockázata a projekt kezdeteinél a legmagasabb, mert akkor áll rendelkezésre a legkevesebb adat. A geotermikus energia gazdasági mutatóinak javítására több lehetőség is ismert. Néhány ezek közül a hőenergia kaszkádrendszerben való használata, a hő- és elektromos áramtermelés kombinálása, vagy a termálvizek oldott elemtartalmának hasznosítási lehetőségei. Geotermikus fluidumból kinyert elemek közül a lítium termelése kapott kiemelt figyelmet. Az Európai Unió fenntartható fejlődéséhez szükség van stratégiai fémek Európán belüli termelésére, ezáltal az exportfüggőség csökkentésére. A technológiai és gazdasági fejlődéshez nélkülözhetetlen nyersanyagokat az elérhetőségük kockázata szerint rangsorolták (például kockázatosnak minősül az adott nyersanyag, ha kétséges a beszerezhetőségének biztonsága). Továbbá, számba vették a jelenleg raktáron lévő készleteket és kitermelhető nyersanyagok mennyiségét is. A gazdasági fontosság szerint összeállított lista legelején a volfrám szerepelt, de elérhetőségének kockázata is magasnak bizonyult.

Doktori kutatásom célja a fémek kioldhatóságának laboratóriumi vizsgálata volt, geotermikus rezervoárra jellemző hőmérséklet és nyomás mellett. A laboratóriumban kétféle mérési összeállítás kioldásra gyakorolt hatékonyságát vizsgáltam. A batch kísérletekben a fluidum-kőzet arány nagy volt, a kísérleteket akár 1000 óra hosszáig is futtattuk. Ennek komplementerei voltak a folyamatos átfolyású reaktorral elvégzett kísérletek, ahol a fluidum-kőzet arány kicsi volt, rövidebb reakcióidő mellett (maximum 3 óra). Hat különböző kőzetmintát és két volfrámtartalmú ásványt (izoláltan, valamint keverve) reagáltattam különböző hőmérsékleten (70 °C és 300 °C között), eltérő nyomáson (1 bar és 300 bar között) ioncserélt víz, ecetsav, egy ásványi savkeverék, valamint nátrium-hidroxid oldószerekkel.

A kőzetek és fluidumok szélesebb körének vizsgálatai alapján a volfrám oldhatóságára fókuszáltam a továbbiakban. A volfrám – a szén kivételével – a legmagasabb olvadáspontú, a legnagyobb atomtömegű és a legnagyobb sűrűségű fém, mely tulajdonságok a volfrám széleskörű hasznosítását teszik lehetővé. A volfrámnak számos ipari, katonai és civil alkalmazása ismert. Az összes globális konvencionális volfrámtermelés 82%-a Kínában zajlik, őt követi Vietnám (6%), Oroszország (2%) és Kanada (2%). Volfrámot európai országokban is bányásznak (pl. Egyesült Királyság, Ausztria, Portugália és Spanyolország). Ezen bányák összes termelése a globális termelésnek csupán mintegy 2,7%-át adja.

A volfrám mobilizálás potenciálját különböző, környezeti szempontból is elfogadható fluidumokkal (ioncserélt víz, ecetsav, ásványi sav, nátrium-hidroxid) vizsgáltam, EHPV reaktorban átfolyásos rendszerben. Annak érdekében, hogy az egyes ásványok oldhatóságot befolyásoló hatását izolálhassam, a kezdeti kísérletek tiszta, volfrámtartalmú ásványokkal (scheelit és ferberit) zajlottak. Ezek után scheelit és ferberit 1:1 arányú keverékével vizsgáltam különböző fluidumok volfrám kioldási hatékonyságát.

## KÍSÉRLETI MÓDSZEREK

A laboratóriumi vizsgálatok batch és átfolyásos kísérleti összeállításban történtek. A batch reakciók során fluidum és őrölt szilárd mintát 40:1 arányban tettünk a reaktorokba, amelyeket 250 °C hőmérsékletű kemencébe helyeztünk. Nitrogén segítségével 200 bar nyomáson is végeztünk kísérleteket, jellemzően 600-1000 óra időtartamig. A fluidum-kőzet reakciók átfolyásos rendszerben történő vizsgálatához egy egyedileg összeállított külső fűtésű nyomástartó reaktort használtam, amelyben a kőzetminta és az oldószer akár 300 bar nyomáson és 300 °C hőmérsékleten is reagálhatott. Az átfolyásos rendszerű vizsgálatokban a fluidum és a szilárd minta aránya kisebb volt a batch kísérletek során alkalmazottaknál. A kísérletek időtartalma a batch kísérletekhez képest lényegesen rövidebb, 30-100 perc volt. Ezek a kísérleti körülmények megfeleltethetők egy 3 kilométer mélységben elhelyezkedő átlagos geotermikus rezervoár hőmérséklet és nyomás viszonyainak.

A laboratóriumban előidézett reakciók eredményeként az elemek széles skáláját sikerült biztató koncentrációkban mobilizálni. Az észlelt, kioldott elemeket gyakori és kritikus csoportokba osztottam. A kiválasztott gyakori elemek kis gazdasági jelentőségűek, de tömeges előfordulásúak voltak mind a kiindulási szilárd mintában, mind a kísérletek eredményeként gyűjtött fluidummintákban. A kritikus csoport kiválasztott elemei jelentős gazdasági értékkel rendelkeznek és stratégiai szempontból kritikusak a piaci kínálat bizonytalansága miatt.

Kőzetek és fluidumok szélesebb intervallumának vizsgálata után (a nemzetközi stratégiai nyersanyagokra vonatkozó javaslatok alapján) a volfrám – mint Európa számára kiemelt stratégiai fontosságú nyersanyag – került vizsgálataim fókuszába. A ferberit (vas-volframát) és scheelit (kalcium-volframát) őrleményeket további fluidum-kőzet kölcsönhatásoknak vetettem alá annak érdekében, hogy feltérképezzem a volfrám kioldással történő mobilizációjának lehetőségét. Munkám célja: választ kapni arra, hogy alkalmas lehet-e egy jövőbeni javított hatékonyságú geotermikus rendszer (EGS) volfrám kinyerésére. Ezeket a vizsgálatokat is

átfolyásos rendszerben, geotermikus rezervoárra jellemző fizikai paraméterek mellett végeztem. A vizsgálatokat 200 °C, 250 °C és 300 °C hőmérsékleten 250-280 bar nyomáson 0,5 ml/perc és 1 ml/perc áramlási sebességen ioncserélt víz, ecetsav, ásványi sav és nátrium-hidroxid oldószerekkel végeztem el.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

**T1. Kimutattam, hogy az Európai Unió számára kritikus fontosságú elemek mobilizálhatók kőzetekből, geotermikus rezervoárra jellemző környezeti paraméterek (hőmérséklet és nyomás) esetén laboratóriumban, in situ batch és átfolyásos rendszerben is.**

A laboratóriumi kísérletek során egységnyi szemcseméretűre őrölt kőzetekből sikeresen mobilizáltam gyakori előfordulású (Al, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, S, Si és Zn) és az Európai Unió számára kritikus elemeket is (Ag, Co, Ga, Mo, Sb, Sr, V és W). Batch és átfolyásos rendszerben 200 °C és 300 °C hőmérséklet között 250-300 bar nyomáson reagáltattam a szilárd mintákkal ioncserélt vizet, ecetsavat és ásványi savat, majd az így létrejött fluidummintákat vizsgáltam.

A mérések során észlelt összes kritikus elem koncentrációja 50 ppb az ioncserélt vízzel, 830 ppb az ecetsavval és 8500 ppb az ásványi savval zajlott reakció esetén. A savasság mértéke és a mobilizált elemek koncentrációja között erős kapcsolat áll fenn.

**T2. Bizonyítottam, hogy környezetvédelmi szempontból elfogadható koncentrációjú és minőségű oldószerek is képesek gazdaságilag vonzó mennyiségű anyagot kioldani.**

Egy geotermikus kút karbantartási és fejújítási munkálatokhoz engedélyezett és gyakorlatban alkalmazott savaknál lényegesebb kisebb koncentrációban (0,1 M ecetsav, amely a háztartási ecetnél nem erősebb és 0,13 M ásványi sav) alkalmaztam oldószereket a vizsgálataim során. Azt tapasztaltam, hogy az átfolyásos rendszerű kioldási vizsgálatok során hozzávetőlegesen fél óra kontakt idő alatt 500 ppb koncentrációjú Li mobilizálódott. A lítiumon kívül jelentős mennyiségben oldottam ki szilíciumot (213000 ppm mennyiségben ásványi savval 200 °C hőmérsékleten 200 bar nyomáson), ólmot (805 ppm koncentrációban) és alumíniumot is (209 ppm koncentrációban), azonban ezek gazdasági jelentősége megkérdőjelezhető.

Az Európai Unió által meghatározott kritikus fontosságú elemek közül a kobaltot (979 ppb koncentrációban), antimont (7100 ppb koncentrációban) és volfrámot sikerült oldatba juttatni ásványi savval 200 °C hőmérsékleten. Ha egy geotermikus rendszerből, átlagosnak tekinthető 3500 $m^3$/nap (40 l/s) hozam mellett ilyen koncentrációban sikerül fémet felhozni, akkor az előállított fém mennyisége kg/nap nagyságrendű. Ezen potenciál kiaknázásának kulcskérdése a fluidumból fémkinyerési technológia hatékonysága.

**T3. Alacsony koncentrációjú erősebb savnál (salétromsav és sósav elegye) előnyösebb egy alacsony koncentrációjú kevésbé erős sav használata a kőzetekből való fém mobilizálás során.**

A 0,13 M koncentrációjú ásványi sav segítségével kioldott 213000 ppm mennyiségű oldott anyag jelentős része, 211000 ppm, szilícium. Ez a rendszerben jelenlévő szilikátok nagymértékű mobilizálásából adódik. Egy geotermikus rendszerben a hasonló kioldási reakciók a szilárd anyagok térfogatcsökkenéséhez és ehhez kapcsolt porozitásnövekedéshez vezetnek. Ezáltal a fémtartalmú formáció egyre nagyobb felületei válnak hozzáférhetővé, és a rendszer permeabilitása is nő. Ez a rendszeren keresztüláramló fluidumok szempontjából kedvező. Ugyanakkor, a nagy mennyiségű oldott anyag miatt a kitermelt fluidum kirakódásokat, eltömődéseket eredményezhet a kútszerelvényekben, ami hozamcsökkenést és ezáltal a fluidum hűlését is okozhatja. Ezen megfigyelések a hasonló, jó oldószerek viselkedésének kettősségét emelik ki, amely viselkedés ugyan feljavítja a rezervoár hidraulikai tulajdonságait a permeabilitás növekedésén keresztül, azonban kirakódásokhoz és eltömődésekhez is vezet a felszíni infrastruktúrában.

A vizsgálataink során, magas hőmérsékleten (250 °C-300 °C), az ásványi sav volt a legjobb oldószer, amely magas koncentrációban oldott ki fémeket, ugyanakkor nagy mennyiségű alumíniumot és szilíciumot is mobilizált, amelyek kiválások, eltömődések magasabb kockázatával járnak a gyakorlatban. Az ecetsav közepes mennyiségű fémet oldott ki a szilárd mintákból, de lényegesen kevesebb alumíniumot és szilíciumot mobilizált, mint az ásványi sav. Emiatt az ecetsav alkalmas oldószernek tűnik, amely jó kompromisszum a kioldott fémek és a lerakódás kockázata között. A kioldott kritikus elemeket tekintve az ecetsav hatékonyabbnak bizonyult, mint az ioncserélt víz, de kevésbé hatékony, mint az ásványi sav (mind a kioldott anyagok koncentrációját és a kioldott anyagok spektrumát tekintve).

Az eredmények alapján egy olyan enyhe oldószer, mint az ecetsav, amely széles körben elfogadott és a mindennapi használatban is alkalmazott, jelentős kioldási potenciállal rendelkezik. Ebben az esetben, az ioncserélt vízhez képest az ecetsav közel 20-szoros növekedést eredményezett a kioldott kritikus elemek koncentrációjában. Természetesen, az ecetsav nem feltétlenül alkalmazható minden körülmény mellett, például a szerves savak magasabb hőmérsékleten lebomlanak (amely egy geotermikus rendszer esetében hosszútávon még előny is lehet).

**T4. Geotermikus rezervoárra jellemző nyomás és hőmérsékleti viszonyok mellett mesterséges kőzetekből kiindulva megvalósítottam a fluidummal történő volfrámmobilizálást laboratóriumi körülmények között. A laboratóriumi vizsgálatokkal igazoltam, hogy a cirkuláltatott fluidummal oldatba vihető iparilag hasznosítható mennyiségű volfrám.**

Az Európai Unió stratégiai szempontból kritikus fontosságú eleme a volfrám, amely nagy részét Kínából importálják. Az importfüggőség jövőbeni csökkentése (és a geotermikus rendszer hatékonyságának növelése) céljából megvizsgáltam, hogy lehetséges-e a volfrám kőzetekből, különböző fluidumokkal történő laboratóriumi mobilizálása. Az in situ méréseim során mesterségesen összeállított volfrám tartalmú kőzetet használtam, melyet $CaWO_4$ (a scheelit kémiai analógja) és $FeWO_4$ (a ferberit kémiai analógja), valamint ezek keveréke alkotott. Oldószerként ioncserélt vizet, 0,1 M koncentrációjú ecetsavat, 0,13 M koncentrációjú ásványi savat és 0,1 M koncentrációjú nátrium-hidroxid oldatot használtam.

A volfrám kioldásának hatékonyságát átfolyásos rendszerű, fűthető reaktorban, 200 °C, 250 °C és 300 °C hőmérsékleten, 0,5 ml/perc és 1 ml/perc áramlási sebességek mellett vizsgáltam. Ioncserélt vízzel reagáltatva a különböző volfrámtartalmú ásványokat azt találtam, hogy tisztán ferberitből 1,7 mg/l koncentrációban, tisztán scheelitből 182,9 mg/l koncentrációban, scheelit és ferberit 1:1 arányú keverékéből 32,5 mg/l koncentrációban lehetséges volfrámot mobilizálni.

A leghatásosabb laboratóriumi méréseim alapján nátrium-hidroxid oldattal 300 °C hőmérsékleten 0,5 ml/perc áramlási sebességen mobilizálható volfrám akár 3074 mg/l koncentrációban. Ha egy rezervoárból 1000 l/perc hozammal termelünk ki ilyen fluidumot, akkor 1 nap alatt hozzávetőlegesen 4,4 tonna volfrám kerül a felszínre az oldattal. Ha az elektroprecipitációs technológiának, amely a fluidumból szilárd formában nyeri ki az anyagot,

35%-os hatásfoka van, 1,5 tonna volfrám termelhető naponta. Ez természetesen elvi potenciál, melyet számos más tényező is befolyásol (többek között a felszín alatt hozzáférhető volfrám mennyisége) és más technológiák fejlődése is szükséges hozzá.

**T5. Kimutattam, hogy azonos koncentrációjú nátrium-hidroxiddal 200-300 °C hőmérséklettartományon, rövid tartózkodási idejű átfolyásos rendszerben jelentősen nagyobb hatékonysággal lehetséges volfrámot kioldani kőzetekből, mint savas oldószerekkel. Ilyen körülmények között hőmérséklet emelkedésével a volfrámkioldás hatékonysága is növekszik.**

Különböző oldatok kioldásra gyakorolt hatását scheelit és ferberit 1:1 arányú keverékén vizsgáltam annak érdekében, hogy ne csak egykomponensű szilárd fázist vizsgáljak a laboratóriumban, ahogy a természetben is egy volfrámérc gyakran tartalmaz többféle volfrámtartalmú ásványt.

A 200 °C hőmérsékleten folytatott kioldási vizsgálatok során az ecetsav 0,5 ml/perc áramlási sebességgel átlagosan 0,7 mg/l volfrámot oldott ki 180 perc alatt, valamint 0,13 mg/l koncentrációjú volfrámot mobilizált 1 ml/perc áramlási sebesség mellett 90 perc alatt. Az ásványi sav ugyanezen körülmények között 7,46 mg/l koncentrációban oldott ki volfrámot 180 perc alatt 0,5 ml/perc áramlási sebesség esetén, míg 1 ml/perc áramlási sebesség mellett 90 perc alatt pedig 0,23 mg/l-t. A 0,1 M koncentrációjú nátrium-hidroxid oldat 200 °C hőmérsékleten 0,5 ml/perc áramlási sebesség mellett 180 perc alatt átlagosan 642,67 mg/l koncentrációban oldott ki volfrámot, 1 ml/perc áramlási sebesség esetén 90 perc alatt 479 mg/l-t.

250 °C hőmérsékleten ecetsavval 0,5 ml/perc áramlási sebesség esetén 0,68 mg/l koncentrációban mobilizálódott volfrám, az 1 ml/perc áramlási sebességen folytatott kísérletek 0,4 mg/l koncentrációnyi volfrámot eredményeztek. Az ásványi sav 0,5 ml/perc áramlási sebesség esetén 0,37 mg/l koncentrációban mobilizált volfrámot, 1 ml/perc áramlási sebességen 3 mg/l koncentrációban. A nátrium-hidroxiddal folytatott kioldási vizsgálatok 0,5 ml/perc áramlási sebességen 822,33 mg/l koncentrációban mobilizáltak volfrámot, 1 ml/perc áramlási sebességen 757,33 mg/l koncentrációban.

A legmagasabb vizsgált hőmérsékleten, 300 °C-on, az ecetsav 0,76 mg/l koncentrációban oldott ki volfrámot 0,5 ml/perc áramlási sebességen, 1 ml/perc áramlási sebességen 0,32 mg/l koncentrációban. Az ásványi sav 0,5 ml/perc áramlási sebességen 0,17 mg/l koncentrációban, 1 ml/perc áramlási sebességen 0,16 mg/l koncentrációban mobilizált volfrámot. A nátrium-

hidroxiddal folytatott kísérletek voltak a leghatékonyabbak, melyek 0,5 ml/perc áramlási sebességen átlagosan 2488 mg/l koncentrációban mobilizáltak volfrámot, 1 ml/perc áramlási sebességen átlagosan 2090 mg/l volfrámot mobilizáltak.

A volfrám kioldására a vizsgált savas kémhatású oldószerekkel szemben a nátrium-hidroxidot kell választani, amely akár három nagyságrenddel nagyobb hatékonysággal oldott ki volfrámot.

**T6. A $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ által potenciálisan biztosított elektrontranszfer nem volt pozitív hatással a kőzetekből való fémek kioldásának mennyiségére és hatékonyságára.**

Geokémiai modellezés segítségével lehetőségem volt olyan paramétereket is monitorozni, amelyeket a laboratóriumi kísérletek során nem mértünk. Az egyensúlyi geokémiai modell azt tárta fel, hogy a ferberit vízzel, ecetsavval és ásványi savval reagáltatva a kialakult oxigéndús közegben hematitot eredményez. Ezen oldószerekkel minden vizsgált hőmérsékleten és áramlási sebesség mellett hematit képződik a reakció során.

Nátrium-hidroxid esetén azonban a ferberit lényegesen nagyobb reakcióképességet mutat, mint a savas és ioncserélt vizes esetekben. Ennek hatására a felbomló ferberitből jelentős mennyiségű $Fe^{2+}$ ion kerül a pórusoldatba. Az influens oldat oxigén telítettsége $Fe^{2+}$ ionok egy részét feloxidálja $Fe^{3+}$ ionokká, azonban a ferberit beoldódása annyira intenzív, hogy az influens oldat oldott oxigén tartalma nem elegendő az oxidatív viszonyok fenntartására. A kialakuló reduktív viszonyok között az oldott vas magnetitként kiválik az oldatból felemésztve az oldat teljes oldott oxigén készletét. A magnetit képződése a betáplálási oldalon indul meg és addig tart, amíg a ferberit teljesen el nem fogy.

Az, hogy a vas milyen mennyiségben fordul elő az oldatban, az állandó összetételű influens oldat határozza meg. Ha nincs elég vas a rendszerben, az oxigén jelenléte miatt minden fém feloxidálódik. Így a $Fe^{2+}$ lead egy elektront és $Fe^{3+}$ lesz belőle. A $Fe^{3+}$-nak azonban rosszabb az oldhatósága, így kiválik az oldatból. Az így kivált $Fe^{3+}$-t az influens oldattal érkező oxigén vas-oxiddá alakítaná. Azt, hogy milyen vas-oxiddá, a $Fe^{2+}$ oldatba kerülésének intenzitása határozza meg, amely attól függ, hogy a ferberit milyen gyorsan oldódik be.

Tehát ioncserélt víz, ecetsav és ásványi sav oldószerek esetén oxigén marad a rendszerben, amely a $Fe^{2+}$ ionnal hematitot képez. A nátrium-hidroxid olyan mértékben oldja a ferberitet, hogy sok $Fe^{2+}$ van az oldatban. Ehhez képest az influens oldattal érkező oxigén kevés, így a rendszerben elhasználódik a teljes oxigénmennyiség. Amelyik vas az oxigén hiányában

nem tudott reagálni, az $Fe^{2+}$-ként marad az oldatban, amely a magnetit ($Fe_3O_4$) megjelenését okozza. A magnetit tartalmazza mindkét oxidációs állapotú vasat (hozzávetőlegesen 2 $Fe^{3+}$-ra jut 1 $Fe^{2+}$).

A leírt folyamatok a ferberit oldódása szempontjából kritikus fontosságúak, azonban a mobilizált volfrám mennyiségére nincsenek hatással. A scheelit és ferberit 1:1 arányú keverékének kioldási reakciói nem eredményeztek a tisztán scheelittel elért koncentrációk felénél jobb eredményt sem, ami bizonyítja, hogy a ferberiten keresztül fennálló $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ elektrontranszfer potenciálja nem javította a volfrám kioldásának hatékonyságát.

## TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK


Czinkota, I., Osvald, M., Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., & Bálint, A. (2015). Analysis of Chemical and Biological Processes in Geothermal Systems – a Case Study. In Proceedings World Geothermal Congress 2015.

Hartai, É., Bodó, B., CHPM2030 team (2017). Combining energy production and mineral extraction - The CHPM2030 project. European Geologist Journal, 43(Geothermal - The Energy of the Future), 6-9. http://doi.org/10.5281/zenodo.580883

Madarász, T., Hartai, É., Kolencsikné, T. A., Szűcs, P., Földessy, J., Németh, N., Szanyi, J., Osvald, M., Medgyes, T., Kóbor, B., … Magnus, R. (2019). CHPM2030 - Novel concept of combined heat, power and metal extraction from geothermal brines. In European Geothermal Congress 2019.

Németh, N., Földessy, J., Hartai, É., Mádai, F., Kristály, F., Móricz, F., Debreczeni, Á., Kiss, A., Osvald, M., Szanyi, J. (2016): EGS-relevant review of orebody structures: CHPM2030 Deliverable D1.3, 59 p. DOI: 10.5281/zenodo.581018

Osvald, M., Bálint, A., Bozsó, G., Czinkota, I., Kóbor, B., Kovács, B., … Vass, I. (2013). A geotermikus energia alkalmazási lehetőségei a visszasajtolás szempontjából. In Korszerű technológiák a termálvíz visszasajtolásban (pp. 15–92).

Osvald, M., Szanyi, J., & Bálint, A. (2013). Baktériumok szerepe a visszasajtoláskor. In Magyar Hidrológiai Társaság, XX. Ifjúsági Napok.

Osvald, M. (2014): A hódmezővásárhelyi geotermikus visszasajtoló rendszer szűrőit eltömítő biológiai komponensek vizsgálata metagenomikai módszerrel. BSc szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, Szeged.

Osvald, M. (2014). A Hódmezővásárhelyi geotermikus visszasajtoló rendszer szűrőit eltömítő biológiai komponensek vizsgálata metagenomikai módszerrel. In Magyar Hidrológiai Társaság XXXII. ORSZÁGOS VÁNDORGYŰLÉS (pp. 1–27).

Osvald, M., Bálint, A., & Kiss, S. (2014). Investigation of biological activity in the Hódmezővásárhely geothermal reinjection system. In 5th European Geothermal PhD Day (pp. 10–10).

Osvald, M. (2015): Manipulation of lipid content in algae biomass at the Blue Lagoon R&D center. MSc thesis, Reykjavik University, Reykjavik.

Osvald, M., & Szanyi, J. (2016). Kombinált hő- áram és fémtermelés ultramély érctestekből – rétegcsúsztatás jövőbeni alkalmazása. In Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2016 (pp. 129–132).

Osvald, M., Maróti, G., Pap, B., Szanyi, J. (2017): Biofilm Forming Bacteria during Thermal Water Reinjection. Geofluids, 2017, DOI:10.1155/2017/9231056, p. 7

Osvald, M., Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., Csanádi A. (2017): Geothermal energy developments in the district heating of Szeged. European Geologist Journal, 43(Geothermal - The Energy of the Future), pp. 30–33. DOI: 10.5281/zenodo.580904

Osvald, M., Szanyi, J., Medgyes, T., & Kóbor, B. (2017). Combined Heat, Power and Metal extraction from ultra-deep ore bodies – an application for hydroshearing in the future. In 8th European Geothermal PhD Day (pp. 6–6).

Osvald, M., Kiss, R., Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., & Csanádi, A. (2017). Geothermal energy developments in the district heating of Szeged. In 1st EuroWorkshop: Geothermal – the Energy of the Future (p. 1).

Osvald, M., Kilpatrick, D. A., Rochelle, A. C., Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B. (2018): Laboratory leaching tests to investigate mobilisation and recovery of metals from geothermal reservoirs, Geofluids, 2018, Article ID 6509420, 24 p. DOI: 10.1155/2018/6509420

Osvald, M., Maróti, G., Pap, B., Szanyi, J. (2018): Biofilmképző baktériumok szerepe a termálvíz visszasajtolásban. Hidrológiai Közlöny, Volume 98, Issue 3: pp. 69-74

Osvald, M., Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., & Kovács, B. (2018c). Metal leaching in geothermal systems. In 17th Alps-Adria Scientific Workshop (pp. 88–89).

Osvald M., Kilpatrick D. A., Rochelle A. C., Szanyi J., Medgyes T., Kóbor B. (2019). Batch and flow-through leaching of different metallic rocks under geothermal reservoir circumstances. In European Geosciences Union General Assembly 2019.

Osvald M., Kilpatrick D. A., Rochelle A. C., Szanyi J., Medgyes T., Kóbor B. (2019). Batch and flow-through leaching of different metallic rocks under geothermal reservoir circumstances. GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS, 21.

Osvald M., Kilpatrick D. A., Rochelle A. C., Szanyi J., Medgyes T., Kóbor B. (2019). Batch and flow-through leaching of different metallic rocks under geothermal reservoir circumstances. In European Geothermal Congress 2019.

Osvald M., Kilpatrick D. A., Rochelle A. C., Szanyi J., Medgyes T., Kóbor B. (2019). Laboratory leaching of different metallic rocks under geothermal reservoir circumstances. In 10th European Geothermal PhD Day (p. 67).

Osvald, M., Kilpatrick, D. A., Rochelle, A. C., Szanyi, J., Raucsik, B., Medgyes, T., Kóbor, B. (2021): Laboratory investigations of the physical parameters influencing the in situ

leaching of tungsten. Geothermics, Volume 89, Issue 1, DOI: 10.1016/j.geothermics.2020.101992

Rochelle, C., Kilpatrick, A., Osvald, M., Szanyi, J., Medgyes, T., & Kóbor, B. (2019). Laboratory leaching tests to investigate mobilisation of metals within engineered geothermal reservoirs. E3S WEB OF CONFERENCES, 98. http://doi.org/10.1051/e3sconf/20199808018

Sas, J., Osvald, M., Ramalho, E., Matos, J. X. (2018). Combined study of mineral deposits and deep geothermal for energy production or urban heating – comparison between the Portuguese (Neves Corvo) and the Hungarian (Recsk) case studies, Central European Geology, Volume 61, Issue 2, https://doi.org/10.1556/24.61.2018.07

Szanyi, J., Bálint, A., Osvald, M., Kovács, B., Czinkota, I., Nagygál, J. (2015): Sustainability of Szentes geothermal field operations, Groundwater Risk Assessment. Proceedings of the 2nd IAH Central European Groundwater Conference (2015), 2016, Bucharest.

Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., Czinkota, I., Stipic, Z., Vass, I., Osvald, M., Pál-Molnár, E., Egyed, E. (2015). An overview of geothermal energy utilization in Szanyi J., Medgyes T., Kóbor B., Pál-Molnár E. (2015): Technologies of injection into sandstone reservoirs – Best practices, case studies, Geolitera, ISBN 978-963-306-370-5

Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., Czinkota, I., Bálint, A., Osvald, M., … Papp, M. (2015). Methodological issues of thermal water reinjection. In Technologies of injection into sandstone reservoirs (pp. 39–71).

Szanyi, J., Kóbor, B., Medgyes, T., Egyed, E., Bálint, A., Kurunczi, M., & Osvald, M. (2015). Suggested methodology for thermal water reinjection. In Technologies of injection into sandstone reservoirs (pp. 139–150).

Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., Osvald, M. (2016): CHPM2030 Deliverable D1.4: Conceptual framework for orebody-EGS. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.581032

Szanyi, J., Osvald, M., Medgyes, T., Kóbor, B., M. Tóth, T., Madarász, T., Kolencsikné Tóth, A., Debreczeni, Á., Kovács, B., Vásárhelyi, B., Rozgonyi-Boissinot, N. (2017): Recommendations for Integrated Reservoir Management: CHPM2030 Deliverable D2.1, 119 p. DOI: 10.5281/zenodo.1204833

Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., Osvald, M., Pinjung, Z., & Kovács, B. (2017). Determination of minimum distance between production and injection wells in highly used porous geothermal reservoirs. In 44th Congress of International Association of Hydrogeologists - Book of abstracts.

Szanyi, J., Medgyes, T., Kóbor, B., Osvald, M., Tiess, G., Wertich, V., & Tiewsoh, L. (2017). Integrated sustainability assessment framework. http://doi.org/10.5281/zenodo.1204856

Szanyi, J., Osvald, M., Kóbor, B., Medgyes, T., & M, T. T. (2017). Geothermal district heating. In 1st EuroWorkshop: Geothermal – the Energy of the Future.

Szanyi, J., Osvald, M., Medgyes, T., Kóbor, B., M, T. T., Madarász, T., … Rozgonyi-Boissinot, N. (2017). Recommendations for Integrated Reservoir Management. http://doi.org/10.5281/zenodo.1204833