

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

**KONTINUITÁSI ELMÉLET ÉS IPARI ALKALMAZÁSAI
DURVA DISZPERZ RENDSZEREK
VISELKEDÉSÉNEK A JELLEMZÉSÉRE**

MTA doktori értekezés tézisei

Faitli József



Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Miskolc
2021

I. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Az emberi civilizáció számára a szükséges - nem biológiai eredetű - nyersanyagokat a bányászat szolgáltatja. A lineáris gazdaságban a műszaki földtudományok foglalkoznak, az un. elsődleges nyersanyagok megkutatásával, kitermelésével majd előkészítésével. Ez utóbbi, a nyersanyagelőkészítés feladata a kitermelt anyagok olyan mértékű feldolgozása, az alapanyagok előállítás, amelyből a későbbi gyártás során termékeket állítanak elő. A lineáris gazdaságban az elfogyasztott termékek kikerülnek az anyagok ember mozgatta körforgásából. Ezzel szemben a körforgásos gazdaságban arra törekszünk, hogy a gyártás és fogyasztás maradékanyagait (biológiai és ásványi eredetű másodnyersanyagok) lehetőleg anyagában vagy energiataralmában visszavezessük a körforgásba. Ehhez ugyanarra a műszaki tudományos ismeretanyagra, a nyersanyagelőkészítésre van szükség. A mechanikai eljárás technika a nyersanyagelőkészítés egyik fontos rész tudományterülete, amely a durva diszperz rendszer (jellemzően $0,1\ \mu\text{m}$ -nél nagyobb szemcsékből, cseppekből és buborékokból, mint diszperz részből és folyadék, gáz vagy szilárd halmazállapotú diszperziós közegből álló két- vagy háromfázisú rendszer) főleg mechanikai erők hatására megvalósuló anyag átalakításával foglalkozik.

Több mint harminc éves tudományos pályafutásom során mechanikai eljárás technikai alap- és alkalmazott kutatással foglalkoztam. Jelen értekezésben a következő fő gondolat mentén született eredményeimet mutatom be. Számos ipari alkalmazásban a durva diszperz rendszer jellemzői alapvetően meghatározzák az adott berendezés vagy technológia működését. Amennyiben legalább megértjük, vagy akár modellezni is tudjuk a diszpergáltsági állapot hatását az adott berendezésre (eljárásra), akkor jobb berendezést tudunk építeni, jobban tudjuk azt üzemeltetni vagy akár új berendezést és technológiát is tudunk fejleszteni. A vizsgált három ipari alkalmazás a hidromechanizáció, a települési szilárdhulladék (TSZH) lerakók hőgazdálkodása és a finom, ill. ultrafinom őrlés keverőmalomban. A logikai kapocs ezek között a látszólag igen messze eső ipari alkalmazások között az, hogy mindegyik esetben a diszperz rendszernek az adott berendezésben kialakuló eltérő kontinuum- vagy diszkrételemszerű viselkedése az, ami meghatározza a diszperz rendszer eredő jellemzőit és így a berendezés, vagy eljárás működését.

A tudományos kutatómunka a hidromechanizáció területén a szilárd-folyadék keverékek készítése (keverése), sűrítése és szállítása területekhez kapcsolódott. A szuszpenzióképzés tématerületen a folyamatos működésű áramlástechnikai keverőberendezés és a szakaszos működésű propeller

keverőberendezés méretezési módszertanának a kidolgozása, ill. validálása volt a kutatások célja. A cél olyan modellberendezések és módszertan fejlesztése volt, amellyel különféle anyagokra az alapgörbék megmérhetők és a hasonlósági törvények segítségével az ipari berendezés méretezhető. A zagysűrítés tématerületen a vizsgált ipari alkalmazás az élővizekből (pl. Balaton, Bodrog) kitermelt iszap helyszíni, - azaz még a kotróhajón történő - sűrítése volt. Az alapötlet, - mely szerint egy vibrált pálcarendszer segítheti az ülepedést - megszületése után kezdődött el a kutatómunka. A célja olyan új hidromechanizációs berendezés és technológia kifejlesztése volt, amellyel az élővízi iszap a kotróhajón tisztán mechanikus úton sűríthető, a derített víz és a leválasztott homok közvetlenül a vízbe visszavezethető és csak a sűrített iszapot kell a partra szállítani. Ehhez az ipari fejlesztéshez kapcsolódott az a tudományos alapvizsgálat, amelyhez hasonlót még nem végeztek, miszerint egy pálcarendszer különféle paraméterű vibrációja hogyan befolyásolja a szemcsehalmaz ülepedését. A zagyszállítás tématerületen a tudományos kutatómunka a Mátrai Erőmű salak-pernye zagyszállító csővezetékének és a felhagyott mátraszentimrei szulfidos ércbánya hidraulikus tömedékelő rendszerének a megépítését tette lehetővé. A tudományos munka célja elsőként egy modellalkotás (kontinuitási elmélet) volt, amely modell alapján célzott anyagvizsgálati módszertant és hozzá eszközöket (csőreométer) kellett fejleszteni, majd olyan számítási módszertant kidolgozni, amellyel az ipari zagyszállító csővezeték fő műszaki jellemzői meghatározhatók. A hidromechanizációs tématerület része volt két speciális probléma tudományos alapvizsgálata. A munka kezdetén elvégzett szakirodalom kutatás során megállapítottam, hogy olyan módszer, amellyel konkrét számításokat lehetett volna végezni ezekre a problémákra, akkor még nem létezett. Az egyik kérdéskör, hogy egy többféle méretű szemcsékből és vízből álló halmazban a szemcsék hogyan viselkednek egymáshoz és a vízhez képest. Hátráltatják egymás mozgását, ülepedését, vagy pl. kontinuumot alkotnak a vízzel? A másik kérdés a süllyedési végsebesség számítása nem-newtoni közegekben. Tarján (1997) „A mechanikai eljárás technika alapjai” című egyetemi jegyzetében összefoglalta a tudomány akkori állását. Az akkori tudás kimerült néhány reológiai modellre felírt speciális Reynolds számban, konkrét számítás azzal az ismeretanyaggal nem volt elvégezhető. Céлом volt erre a két feladatra, olyan modelleket kidolgozni, amelyek felhasználhatók hidromechanizációs technológiák tervezéséhez.

Az alkalmazott tudományos kutatómunka második területe a települési szilárdhulladék lerakók hőgazdálkodása. Az alapötlet, - mely szerint egy művelés alatt álló TSZH lerakóba, amikor az még nincs hulladékkal feltöltve, könnyű hőcserélő csővezetékot fektetni - Szamek Zsolt bányamérnöktől származik Magyarországon. Az ötlet megszületése után a téma szakmai vezetője voltam a Miskolci Egyetemen, az értekezésben leírt eredmények a saját eredményeim. A kutatások kezdetén a Coccia és szerzőtársai (2013) által írt cikk volt ismert, amely összefoglalta a tudományterület akkori állását. Ez a cikk csak elvi lehetőségeket közölt vízszintes és függőleges elrendezésű hőcserélő csővezeték elhelyezésére, azonban nem volt mögötte tényleges kísérleti kutatómunka, így nem adott semmilyen információt egy ilyen hőcserélő műszaki kialakításáról. A nemzetközi szakirodalomban akkor nem volt információ a tématerület legfontosabb tudományos kérdéseiről sem, azaz mekkora a kinyerhető hő nagyságrendje egy adott TSZH lerakóból és mekkora egy hőkút hatókörzete. Valójában ennek a tématerületnek még szakirodalma sem volt a kutatások kezdetén. Természetesen a hulladéklerakók hosszú távú viselkedésének, azon belül a termikus jellemzők változásának kiterjedt szakirodalma létezett, azonban a hőgazdálkodásnak, amely hő bevezetését és elvételét is jelentheti még nem volt, ezért tehát a kutatásaink egy új tudományterület megalapozását jelentik. A kitermelhető hő nagysága és a hatókörzet ismerete nélkül nem lehet ilyen technológiát tervezni, ezért azt tűztem ki célként, hogy vizsgálati eszközöket készítek, majd a kísérleti eredmények és elméleti modellalkotás segítségével válaszolok a két legfontosabb tudományos kérdésre.

A harmadik vizsgált tématerület a keverőmalmi őrlés. Ma már a keverőmalmost igen széles körben alkalmazzák az ásványelőkészítésben, a gyógyszeriparban és számos más területen, ennek megfelelően a téma szakirodalma is igen kiterjedt (Kwade és Schwedes, 2007). Előre bocsátom, hogy az őrlés az nem a szakterületem, azonban a nedves keverőmalmi őrlés során a szilárd-folyadék diszperz rendszer viselkedése alapvetően befolyásolja az eljárást. Ezért ennek az eljárásnak a leírására nem csak őrléstechnikai, pl. egyedi szemcsék és szemcsehalmazok törése, stb. ismeretekre, hanem szuszpenzió reológiai ismeretekre is szükség van. Ezen a területen azt tűztem ki célként, hogy elméleti szinten megvizsgálom, - hogy a hidromechanizációs rendszerekre kidolgozott kontinuitási elméletemet - hogyan lehet a keverőmalmi őrlésre alkalmazni. Azt remélem, hogy a későbbiekben az őrléssel foglalkozó

szakemberek - ennek a modellnek a felhasználásával - jobban fogják tudni az őrlés során lejátszódó folyamatokat optimalizálni, szimulálni.

II. AZ ELVÉGZETT KUTATÁSOK

A tudományos oktató- és kutatómunkát az egyetemi diploma megszerzését követően 1989-ben kezdtem meg a Miskolci Egyetemen, akkori nevén a Nehézipari Műszaki Egyetemen, a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet jogelődjében, az Eljárástechnikai Tanszéken. A tudományos kutatás módszertana a klasszikus iskolát követte, azaz elsőként modell és kísérleti berendezéseket készítettem, amelyekkel szisztematikus alapvizsgálatokat végeztem modell és valódi anyagokkal. Az értekezés „Anyag és módszer” fejezetében 11 ilyen eszközt mutatok be. Az eredmények kiértékelése után számos esetben félüzemi méretű technológia készült, amelyekkel újabb vizsgálatokat végeztem. Az alapvizsgálatokat követte az elméleti modellalkotás és módszertanfejlesztés, amelynek több esetben az eredménye lett a megvalósult ipari alkalmazás. A tudományos kutatást a hidromechanizáció tématerületen kezdtem meg. Elsőként bekapcsolódtam a tanszéken folyó csőreométer fejlesztési munkálatokba, amely során számos tanulmány berendezést, pl. hidraulika hengerrel, vagy csavarorsóval hajtott szakaszos működésű csőreométereket készítettünk. Ezek tapasztalatai alapján készítettem el az ún. három mérőcsöves folyamatos működésű csőreométert, amelyben merev karakterisztikájú csigaszivattyút alkalmaztam a hajtásra (Faitli, 1996 és 2011). Az elmúlt 25 évben rendszeresen végeztem ipari kutatómunkát ezzel a berendezéssel a világ számos országából (Japán, Törökország, USA, Románia, Olaszország, stb...) ideszállított finomszemcsés anyagokon (Faitli és Gombkötő, 2015a). Bekapcsolódtam továbbá a Tarján és Debreczeni Professzorok által végzett hidromechanizációs kutatásokba, majd számos félüzemi méretű hidraulikus kísérleti állomást terveztem és irányítottam ezek megépítését (Faitli, 2000 és 2011). Az értekezésben bemutatott kísérleti berendezések esetében a számítógépes mérésadatgyűjtő rendszereket és kiértékelő szoftvereket is magam készítettem. Számos félüzemi méretű hidraulikus szállítási vizsgálatot végeztem el, amelyek közül kiemelkedik a Mátrai Erőmű salak-pernye csőszállító rendszerének a megépítését megelőző több éves vizsgálatosor (Tarján és Faitli 1995, 1999; Faitli, 2000, 2012a, 2017). A kísérleti vizsgálatokat kiegészítette az elméleti modellalkotó munka és számítógépes programozás. A kifejlesztett RHEOLOGY programcsomag alkalmas kontinuum- és diszkrételemszerű szuszpenzió- és zagyáramlások

nyomásveszteségének a számítására, amely már az időközben megszületett kontinuitási elmélet (Faitli, 2017) alkalmazása. A hidromechanizációs területen elért eredmények egy másik megvalósult alkalmazása a felhagyott mátraszentimrei szulfidos ércbánya hidraulikus tömedékelő rendszerének a tervezése (Faitli és szerzőtársai, 2010, 2012b, 2016a; Faitli és Weisz, 2012c, 2020). A hidraulikus szállítás tervezéséhez szükséges módszertan két fontos tudományos kihívása volt a szemcsemozgás nem-newtoni közegben és a polidiszperz szilárd anyag viselkedésének a jellemzése a berendezésben. Ezért 1998-2001 között, a süllyedési végsebesség vizsgálatára alkalmas kísérleti berendezést építettem és végeztem kísérleteket egy OTKA pályázat és a Bolyai Ösztöndíj támogatásával. Be kell valljam, hogy az akkor mért kísérleti eredmények tudományos általánosítását (Faitli 2015, 2017) csak bő 15 évvel később tudtam elvégezni, miután olvastam Wilson és szerzőtársai (2002, 2003, 2010) több cikkét, amely új impulzusokat adott. A kontinuitási elméletem keverőmalmi alkalmazása érdekében kiegészítő csőreométert készítettem egy Netzsch MiniCer berendezéshez (Faitli és szerzőtársai, 2017b). Ezen kívül üzemkimérést vezettem a felnémeti mészkő-előkészítőműben (Faitli és Czel, 2014b) és részt vettem a még működő berentei biomassza erőmű tüzelőanyag-előkészítőművének a kimérésében (Csöke és szerzőtársai, 2012), amely aprító-osztályozó technológiákra mátrix modell alapú szimulációs modelleket fejlesztettem. A szuszpenzióképzés vizsgálatára egy propellerkeverő- és egy áramlástechnikai keverő kísérleti berendezést építettem, amelyekkel alapvizsgálatokat végeztem modell anyagokkal. Az előbbi esetében új méretezési módszertant fejlesztettünk, míg az utóbbi esetében egy ismert módszer validálását és kiegészítését végeztem el (Tarján és Faitli, 2001; Faitli és Tarján, 2003). A vibrációval befolyásolt ülepedés vizsgálatára automatizált ülepitőhenger kísérleti állomást készítettem, amellyel szisztematikus alapvizsgálatokat végeztem modell és valódi iszap anyagokkal. A kiértékeléshez számítógépes szoftvert írtam (Faitli, 2020). Az eredmények alapján az új un. pálcás-lamellás zagysűrítő eljárás technikai méretezését végeztem el, amely alapján a Miskolci Egyetem - Hydrosteel Kft. - I.Control Kft. összetételű konzorcium ipari méretű prototípust készített és amellyel félüzemi méretű zagysűrítési vizsgálatokat végeztem a nyékládházai homok-előkészítőmű elfolyó mosóvizén (Faitli és szerzőtársai, 2008). A hulladékgazdálkodás tématerületen elsőként mintavételezési kérdésekkel foglalkoztam. 2004-2005-ben részt vettem annak a „teamnek” a munkájában, amely kidolgozta az MSZ 21420 / 28 és 29 szabványokat. E szabványok első verzióját én írtam. Ezt követően számos

országos hulladékanalízist irányítottam és a mintavételezési protokollt is továbbfejlesztettem a doktorandusz hallgatómmal (Faitli és Romenda, 2019b). Speciális hulladékanalízist végeztem az általunk továbbfejlesztett protokoll alapján a debreceni települési szilárdhulladék lerakón a „hulladékbányászat” megalapozása érdekében (Faitli és szerzőtársai, 2019a). A hulladéklerakókból való hőkinyerés vizsgálatának az érdekében elsőként egy terepi és egy laboratóriumi hővezetésmérő berendezést készítettem. A terepi berendezéssel számos mérést végeztem el a gyáli települési szilárdhulladék lerakón kb. 2 m³ térfogatú mintákon. A mért eredmények hitelesítése érdekében kidolgoztam egy becslési módszert, amelyben a hulladékanalízis által mért összetételi adatokat használtam fel (Faitli és szerzőtársai, 2015c). Ezt követően hőmérséklet és depóniaágaz monitoring rendszert terveztem, készítettem és irányítottam a beépítést, amelyet a Depóniahő projekt konzorciuma (.A.S.A. Magyarország Kft., Budapesti Gazdaságtudományi és Műszaki Egyetem, MTA TAKI Talajtani kutatóintézet és Miskolci Egyetem) a gyáli települési szilárdhulladék lerakóban valósított meg (Faitli és Magyar, 2014a; Faitli és szerzőtársai, 2015b). A Depóniahő konzorcium függőleges és vízszintes elrendezésű hőcserélő csővezetékeket épített a lerakóba, amellyel számos félüzemi kísérletet végeztünk el (Faitli és szerzőtársai, 2016b, 2016c). Ezeknek az eredményeknek a tudományos általánosítását végeztem el, amely az új tudományterület a „hulladéklerakók hőgazdálkodása” megalapozását jelenti (Faitli és szerzőtársai, 2017a). A hulladékgazdálkodás területén részt vettem a Zalaegerszegen folyó technológiafejlesztő munkában a vegyesen begyűjtött települési szilárdhulladékok (VTSZH) mechanikai feldolgozására. Ennek a munkának az eredményeként épült meg Magyarország eddig egyetlen hazai gyártású VTSZH feldolgozóműve, amelyben egy új, szabadalmaztatott szeparátor, a KLME (kombinált légáramú mágneses és elektromos) szeparátor is kifejlesztésre került (Faitli és szerzőtársai, 2018).

III. TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

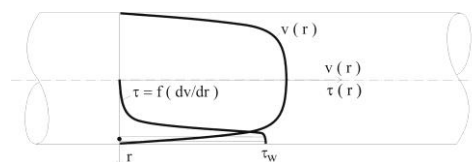
1. Kontinuitási elmélet durva diszperz rendszerek kontinuum- vagy diszkrételemszerű viselkedésének a jellemzésére.

Durva diszperz rendszerek kontinuum- vagy diszkrételemszerű viselkedése attól függ, hogy a diszperz rendszer, illetve az eljárás (berendezés, jelenség) karakterisztikus mérete milyen egymáshoz képest. A diszperz rendszer vizsgált részét leegyszerűsítve jellemezhetjük a 80 %-os szemcsemérettel. Az eljárás (berendezés, jelenség) karakterisztikus mérete a lamináris alapréteg vastagsága

egy szemcse, őrlőtest, csőfal vagy berendezés fala mentén. Amennyiben a diszperz rész adott szemcséi beleférnek a lamináris alaprétegbe, akkor a diszperz rendszer e része kontinuumként viselkedik a vizsgált eljárásban, ha nem akkor pedig diszkrételemszerűen. Ezért a $0,1 \dots 50-160 \mu\text{m}$ tartományon célszerű a mozgásban lévő szilárd-folyadék keverékeket szuszpenzióknak nevezni, mert a mérnöki gyakorlatban ezek jellemzően kontinumszerűen viselkednek. Az ettől nagyobb szemcséket tartalmazó keverékeket pedig zagynak, mert azok jellemzően diszkrételemszerűen viselkednek. A többfázisú diszkrét rendszerek viselkedése meghatározza a berendezés-eljárás működését és amennyiben az itt bemutatott hipotézis alapján azt jellemezni tudjuk, akkor az meghatározza a tervezésükre szolgáló módszertant is, és ez az elmélet ipari alkalmazási jelentősége.

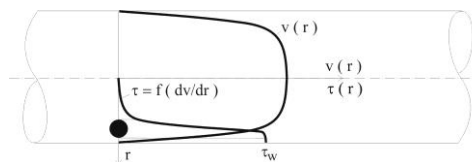
1.1. A kontinuitási elmélet csőre (henger geometria) vonatkozó bizonyítását a megépített hidraulikus mérőkörön és a csőreométerrel elvégzett mérések és a kidolgozott, a nyomásvesztés-görbe ($\phi = f(v)$) alakjának matematikai elemzésén alapuló módszer jelentik.

Kontinumszerű viselkedés:



- Elhanyagolható hidrodinamikai felhajtóerő
- A keverék egyfázisú „sajátközeg”-ként viselkedik
- A turbulens áramlási veszteség a sebesség 7/4-ik hatványával arányos
- Reológia
- Véges térfogatos szimuláció (CFD)

Diszkrételemszerű viselkedés:



- Jelentős hidrodinamikai felhajtóerő
- A folyadék áramlik és a hidrodinamikai erők hatnak a szemcsékre, nem értelmezhető a keverék reológia
- A szemcsék és a csőfal között mechanikai súrlódás lép fel, ami nem függ a sebességtől
- Diszkrét elemes szimuláció (DEM)

1.2. A kontinuitási elmélet bizonyítását egy másik nevezetes geometriára (gömb) a megépített süllyedési végsebesség-mérő berendezésben elvégzett mérések jelentik. Megmértem a jellemzően $1-160 \mu\text{m}$ -es szemcséket tartalmazó szuszpenziókban süllyedő 28-40 mm-es acélgolyók süllyedési végsebességét.

Ugyanarra a rendszerre a süllyedési végsebességeket számítással is meghatároztam. Amikor a szuszpenziót, mint kontinuumot a saját sűrűségével és reológiájával számítottam, mintha egy szemcse süllyedne tiszta folyadékban, a mért és számított értékek igen jól egyeztek.

1.3. Megállapítottam, hogy az egyedi golyókkal és szuszpenziókkal elvégzett szemcsemozgási és a csőreométerben és hidraulikus kísérleti berendezésben elvégzett turbulens áramlási kísérletek eredményei jól felhasználhatóak keverőmalmokra, mert a malmokban lévő közegből, őrlött szemcsékből és őrlőtestekből álló diszperz rendszert ezek a vizsgálatok modellezik. Az elvégzett szemcsemozgási kísérlet valójában egy őrlőtest mozgásának a modellje. A turbulens csőáramlás pedig valójában a keverőmalomban lévő körforgó turbulens áramlás kiterítése, így a diszperz rendszer viselkedésének a tanulmányozására alkalmas modellje. Az elvégzett modellvizsgálatok alapján, elméletileg állítom, hogy a keverőmalmokban különféle eltérő kontinuum és diszkrételemszerű diszperz rendszer viselkedés egyaránt előfordulhat. Annak ellenére, hogy a szakirodalom szerint általánosan elfogadott, nem lehet automatikusan azt feltételezni, hogy az őrlött szemcsék és a folyadék mindig sajátközeget (equivalent fluid, zagy) alkot. Ez a tézis alpont csak hipotézis, további kutatómunka szükséges a témában!

2. *Nem-newtoni közegben süllyedő gömb süllyedési végsebességének univerzális számítási modellje.*

Felismertem, hogy a süllyedési végsebességgel mozgó szemcse, - amikor az erők eredője nulla - kitüntetett egyensúlyi állapotban van, és ilyenkor tetszőleges szemcse és közeg esetében egyensúlyi közepes- sebességgradiensnek és nyírófeszültségnek kell kialakulnia. Ebből következik, hogy nem-newtoni közegben süllyedő szemcse esetében, ez az egyensúlyi helyzet kijelöli azt a nyírási állapotot, amelyben a látszólagos viszkozitás kitüntetett szerepű. Ebben a kitüntetett állapotban, a látszólagos viszkozitás pedig valójában newtoni egyenértékű abszolút viszkozitás, amely segítségével a nem-newtoni eset visszavezethető newtoni feladattá.

$$\left(\frac{du}{dz}\right)_e = \frac{V_o}{X} \quad \tau_e = \frac{V_o \cdot \mu}{X} = \frac{\bar{\tau}}{3} \quad \tau_e = \frac{\bar{\tau}}{3} = \frac{G - F_A}{3 \cdot A} = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot X}{18}$$

Az egyensúlyi közepes felületi nyírófeszültség, adott süllyedési végsebesség számítási feladat esetén egyből kiszámítható, - mert minden alapadat rendelkezésre áll ilyenkor - amelyhez a newtoni egyenértékű abszolút

viszkozitás meghatározható és a süllyedési végsebesség számítható. Ez egy igen egyszerű és univerzális módszer, mivel tetszőleges folyási viselkedésű közeg esetén alkalmazható.

2.1. Az univerzális számítási módszer igazolására kísérleti berendezést készítettem, amelyben egy és kétfázisú, nem átlátszó newtoni és nem-newtoni közegekben mértem a süllyedő golyók süllyedési végsebességét. Az 56 különféle paraméterű és többszörösen megismételt süllyedési végsebesség mérés, mért és számított értékei jól egyeztek.

3. Hidraulikus csőszállítás mérési- és tervezési módszertanának kidolgozása.

A kontinuitási elméletre alapozva kidolgoztam az értekezésben bemutatott hidraulikus csőszállítás mérési- és tervezési módszertant. Megépítettem a három mérőcsöves csőreométert és többféle hidraulikus csőszállítás mérőállomást számos különféle szivattyúval. Új mérőeszközt fejlesztettem a szállítási- és a helyi koncentráció mérésére. A hidraulikus mérőállomásokon indukciós áramlásmérőt alkalmaztam a folyadék fázis sebességének a mérésére, amivel párhuzamosan mértem a szállítási és a helyi koncentrációt. Megállapítottam, hogy mindhárom mennyiség egyidejű mérésére szükség van, egyébként a mérés nem kiértékelhető. Szűken osztályozott szemcsefrakciókkal külön-külön végeztem méréseket és megállapítottam, hogy a hazai ipari alkalmazások esetében a pernyékre 160 μm és homokokra 50 μm az a határ szemcseméret, amely alatt ezekben a csővezetékben ezek a keverékek kontinumszerűen viselkednek. Erre alapozva kidolgoztam az anyagvizsgálati módszertant, amely szerint a szilárd anyagból a határszemcse méreténél finomabb frakciót kell készíteni osztályozással, pl. szitálással. A finom frakció esetében külön reológiai vizsgálatokat kell végezni, amikor különféle diszkrét koncentrációjú szuszpenziókat készítünk és azok folyási viselkedését megmérjük csőreométerben. A durva szemcsék diszkrételemszerű viselkedésének a jellemzésére a teljes szilárd anyaggal félüzemi kísérleteket kell végezni hidraulikus szállítási mérőkörrel, amikor szintén a koncentrációt növeljük szisztematikusan a mérések során. Ezen anyagvizsgálatok eredményei alapján az ipari hidraulikus szállítóberendezés eljárás-technikai tervezése elvégezhető. A kontinumszerű hordozó szuszpenzió nyomásvesztésének a számítására Hanks (1978) módszerének numerikus iteráción és integráláson alapuló megoldását dolgoztam ki. Megállapítottam, hogy a Hanks (1978) által a reálpasztikus folyadékokra közölt nyomásesés számítási módszer mind newtoni, Bingham pasztikus, hatványfüggvénnyel jellemezhető és reálpasztikus közegek esetén is alkalmazható. A durva szemcsefrakció járulékos diszkrételemszerű

veszteségének a számítására a módosított Durand és Condolios (1952) egyenletet alkalmaztam, amelyhez az n és K anyagtól függő paramétereket a hidraulikus mérőállomáson mért nyomásveszteség-görbe ($\phi = f(v)$) alapján határoztam meg. A kidolgozott számítási algoritmusokat a RHELOGY szoftverben beprogramoztam, amit az oktatásban és ipari tervezési feladatok megoldására egyaránt használok.

3.1. Az itt bemutatott hidraulikus csőszállítás mérési- és tervezési módszertant felhasználtam a Mátrai Erőmű pernye-salak sűrűzagos csőszállítási rendszerének és a mátraszentimrei volt szulfidos ércbánya hidraulikus tömedékelő rendszerének az eljárás technikai tervezésére, ezek megvalósult ipari alkalmazások.

4. Települési szilárdhulladék, - mint háromfázisú durva diszperz rendszer - eredő fizikai- és termikus jellemzőinek mérési- és számítási módszertanának kidolgozása.

Kommunális szilárdhulladékok és egyéb többfázisú anyagok fizikai és hőtani anyagjellemzőinek a mérésére terepi és laboratóriumi méretű hővezetésmérő berendezéseket készítettem, amelyhez kidolgoztam a mérés kiértékelési protokollját. Ehhez szükség volt a kommunális szilárdhulladékok mechanikai eljárás technikai anyagjellemzésének a kidolgozására, ezért felírtam a háromfázisú diszperz rendszer eredő fizikai és termikus jellemzőinek az összefüggéseit. Méréseket végeztem a gyáli hulladéklerakón különféle korú deponált vegyesen gyűjtött települési szilárdhulladék mintákon. A mérési eredményeket úgy validáltam, hogy elsőként a fázisok fizikai és termikus jellemzőit határoztam meg becsléssel. Ehhez a szilárd fázis összetételét szabványos hulladék analízis segítségével megmértem, majd minden anyagkategória jellemzőit szakirodalom alapján becsültem. A víz és levegő fázisok anyagjellemzőit szintén szakirodalom alapján vettem fel. Ezt követően kiszámítottam az elméleti szélsőértékeket jelentő soros- és párhuzamos elrendezéshez tartozó eredő termikus jellemzőket. Megállapítottam, hogy a mért értékek összhangban vannak az elméleti szélső értékekkel. Ezt követően a mért értékeket felhasználtam a „hőgazdálkodás” üzemműködésének a meghatározására.

4.1. Kétfázisú közegek eredő hővezetési tényezőjének a meghatározására univerzális összefüggést írtam fel, amikor egy egyenletben kombináltam össze az elméleti soros- és párhuzamos elrendezések összefüggéseit. Bevezettem a D diszperzitás állandót. $D = 1$ esetén a soros, és $D = 0$ esetén a párhuzamos elrendezéshez tartozó eredő hővezetési tényező képletet kapjuk vissza.

$$\lambda = \lambda_s \cdot \left\{ \frac{K}{[K \cdot \varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s)] \cdot [\varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s) \cdot K]} \right\}^D \cdot [\varepsilon_s + (1 - \varepsilon_s) \cdot K] \quad \text{ahol} \quad K = \frac{\lambda_g}{\lambda_s}$$

Az összefüggés validálására Magyar Tamás és Szabó Roland végzett kutatómunkát (Magyar, Szabó, Faitli; 2017) pernye alapú geopolimer és EPS (expandált polisztirol) szilárd-szilárd diszperz rendszerekkel.

5. Települési szilárdhulladék lerakók hőgazdálkodásának megalapozása.

A DepóniaHő Projekt konzorciuma vízszintes- és függőleges elrendezésű hőkutakat épített a gyáli kommunális hulladéklerakóba, amellyel számos félüzemi méretű hőkinyerési- és hasznosítási kísérletet végzett el. A konzorcium eredményeinek tudományos általánosítását végeztem el. Megállapítottam, hogy az izotróp anyagokban megvalósuló konduktív hővezetés jól ismert differenciálegyenletét még nem alkalmazták kommunális hulladéklerakókra, ezért az ismert elméleti megoldások alapján, numerikus iterációval oldottam meg ezeket, az átlagolt mérési eredményeket peremfeltételekként alkalmazva. Megállapítottam, hogy a gyáli lerakóban az 1-8 éves hulladék hőtermelő potenciálja, ebben az időszakban folyamatosan legalább $0,18 \text{ W/m}^3$ volt és meghatároztam a függőleges és a vízszintes hőkutak hatókörzetét. Ez az a két műszaki jellemző, amely segítségével egy hőcserélő technológia eljárás technikai tervezése elvégezhető. Megállapítottam, hogy a lerakók esetében hőgazdálkodásról beszélhetünk, mert számos módon üzemeltethetjük a lerakót, amelyet hő bevezetéssel vagy elvonással valósíthatunk meg, attól függően, hogy mi a célunk. Cél lehet a lebomlás intenzifikálása vagy késleltetése-csökkentése, hő tárolása, hő kinyerése és hasznosítása, depóniagáz termelés optimalizálása, stb.

5.1. A függőleges elrendezésű hőkútra alkalmaztam a henger geometriára vonatkozó Fourier differenciálegyenlet ismert megoldását. Az un. „csőhéj” modellben ezt kiegészítettem a p biokémiai lebomlás fajlagos teljesítménye paraméterrel, így egy diszkrét Δr vastagságú hengerben felírható a hőfejlődés és a diszkrét hőmérsékletkülönbség. A numerikus iteráció során a mag és a „native” sugarak közti távolságot 10 részre osztottam és a mérnöki tervezés szempontjából legfontosabb két paramétert, p - t és r_n - t változtattam szisztematikusan. Az iterációt mindaddig folytattam, míg a „native” sugáron lévő hulladék számított hőmérséklete (T_{nc}) és a hőkúttal kinyert számított hőáram (q_c) az iterációs pontosságon belül megközelítették ezek mért átlagos értékeit.

5.2. A vízszintes elrendezésű hőkútra a Fourier differenciálegyenlet ismert egydimenziós, - felület nélküli - alakját és megoldásait alkalmaztam. Az iterációt ez esetben a mag függőleges z koordinátája és a „native” koordináta között folytattam. A $p - t$ felvettem a függőleges mérésből meghatározott $0,18 \text{ W/m}^3$ értékre és csak $z_n - t$ változtattam. ANSYS FLUENT CFD szimulációt végeztem a méréssel megegyező adatokkal és modellezett geometriával. Megállapítottam, hogy adiaterm oldal- és felső falak esetében a szimuláció teljesen megegyezett a numerikus megoldással.

5.3. Gondolatkísérletet végeztem egy elméleti modell lerakóval. Megállapítottam, hogy hosszútávú állandó hőfejlődést feltételezve a lerakó falának diatermnek (hőáteresztő) kell lennie, egyébként nem alakulhatna ki az ún. „elevated” hőmérséklet. Mahmood és szerzőtársai (2016) cikke igazolja ezt az állítást, mert kimutatták, hogy a földfelszín hőmérséklete átlagosan néhány fokkal megemelkedett egy lerakótól 800-900 m távolságban a lerakást követően. Megállapítottam, hogy elméletileg lehetséges az, hogy a modell lerakó hőmérsékletét állandó mezofil hőmérsékleten tartsuk és a frissen keletkező hőnek csak azt a részét vonjuk el, amely mellett az a hőmérséklet fennmarad. Ez azt jelenti, hogy a mezofil lebomlás és a depóniagáz termelése hőelvonással optimalizálható. Megállapítottam, hogy Yeşiller és szerzőtársai (2015a és b) elemzésével, amellyel a kinyerhető hő nagyságrendjét a hőmérsékletkülönbség és fajhő szorzataként becsülték, az a probléma, hogy az csak egy egyszeri visszahűtés esetére érvényes. Amennyiben maradt le nem bomlott szerves anyag a biokémiai lebomlás folytatódik.

6. Vibrált pálcarendszerrel elősegített ülepedés vizsgálati- és annak kiértékelési módszertanának kidolgozása, ipari berendezés fejlesztése: a pálcás-lamellás zagysűrítő eljárás technikai tervezése.

A vibráció ülepedésre való hatásának a kísérleti vizsgálatára automatizált nagyméretű ülepitőhengert készítettem. A mérések kiértékelésére elsőként kiértékelő szoftvert írtam, amelyben az ismert „spline” függvényillesztésen és simításon alapuló módszert LabWindows C++ nyelven beprogramoztam. Megállapítottam, hogy ez a kiértékelési módszertan jól alkalmazható a vibrációval befolyásolt ülepedési görbe jellemzésére is, mert a teljes görbe jellemezhető vele. A szakirodalomban nem találtam vibrációval befolyásolt ülepedési vizsgálatokról információt. Szisztematikus ülepedési vizsgálatokat végeztem modell anyagokkal és élővízi iszap mintákkal. Megállapítottam, hogy az ülepedés ülepedési tartományain a vibráció nem befolyásolta jelentősen az ülepedést, azonban az ülepedés tömörödési tartományain igen. Mindezek alapján

elvégeztem az új zagysűrítő berendezés, a pálcás-lamellás zagysűrítő eljárás technikai tervezését, amely ezekre a tudományos eredményekre épült. A terveim alapján a 3A/068/2004 „Élővizek iszap-mentesítése hidromechanizációval, komplex iszapkezelés” projekt konzorciuma üzemi méretű prototípust épített, amelyet a nyékládházai homokelőkészítőmű elfolyó mosóvizére telepítettünk. Ezzel a technológiával, két alapvető kapcsolás, - hidrociklon sűrítő, ill. osztályozó üzemben - esetében végeztem félüzemi vizsgálatokat. A kidolgozott új zagysűrítő és osztályozó technológia gazdaságosságának a megítélésére elvégeztem egy összehasonlító számítást, amellyel a hagyományos iszapmentesítő technológiát, - a hidraulikusan kitermelt iszapot a kotróhajóról csővezetéken szállítják a parton lévő zagytározóba - hasonlítottam össze az új technológiával, amikor a kotróhajó által vontatott pontonokra van építve a bemutatott zagysűrítő és osztályozó technológia. Az új technológia általános előnyei nyilvánvalóak: a homok és a víz nagy része közvetlenül a kotróműről visszakerül az élővízbe, a helyszíni gyors zagysűrítés miatt csak a sűrített iszapot kell a partra kiszállítani. A homok eltávolítása általában kedvezőtlen, a frissen besűrített iszap pedig megteremti a lehetőséget számos iszaphasznosítási alkalmazás számára. A számításokat az általam írt RHEOLOGY szoftverrel végeztem el. Az új technológia 7 kW-os teljesítményigénye, azonos paraméterek mellett kb. 300 m csőszállításra elegendő, ami azt jelzi, hogy az új technológia energetikai szempontból is előnyös.

7. Propeller- és áramlástechnikai keverőberendezésekkel megvalósított szuszpenzióképzés méretezési módszertanának kidolgozása és validálása.

A szuszpenzióképzés szakirodalmi áttekintése alapján megállapítottam, hogy annak ellenére, hogy igen kiterjedt a szakirodalma és az egyfázisú közegek keverése is jól megkutatott, azonban szilárd-folyadék keverőberendezésekre nem létezik olyan módszer, amellyel tervezőasztalon el lehetne végezni az ipari berendezés eljárás technikai tervezését. Ezért laboratóriumi kísérleti berendezéseket készítettem. A propeller keverőberendezésre kidolgoztam egy olyan - a labor berendezéssel elvégzett anyagvizsgálatra alapozott - méretezési módszertant, amivel az ipari berendezés méretezhető. Az áramlástechnikai keverőberendezés ismert méretezési módszertanát kísérletekkel validáltam, ill. kiegészítettem a szemcsemozgási vizsgálataim eredményeivel. Ezeket az egyetemi oktatásban rendszeresen alkalmazom.

7.1. A szakaszos üzemű szuszpenzióképzés laboratóriumi vizsgálatára propellerkeverő kísérleti berendezést és speciális mintavevő eszközt építettem.

Homok, magnetit és pernye anyagokkal szisztematikus kísérleteket végeztem. A kidolgozott iteratív méretezési módszer alkalmazásakor elsőként, a kiválasztott keverőlapát típushoz a $Re_{kx2} - T$ és $Re_{k2} - Ne_2$ diagramokat kell megmérni. A módszert az un. 90 %-os szuszpenziós kritériumra terveztem. A méretezéshez szükséges az un. 90 %-os szuszpenzió együttülepedési süllyedési végsebességének a meghatározása. Erre a feladatra vagy a 2. tézisben kidolgozott elméleti módszert, vagy a 6. tézisben kidolgozott üleptő mérőberendezést használhatjuk. Ez alapján az un. süllyedési teljesítmény kiszámítható, majd T leolvasható a mért diagramról és a keverési teljesítmény kiszámítható. A 90 %-os kritériumhoz tartozó szuszpenziós fordulatszám a kidolgozott iterációs algoritmus alapján határozható meg. A mért $T = f(Re_{kx2})$ diagram ismerete és megbízhatósága a feltétele a kapott fő műszaki jellemzők elfogadhatóságának. A módszer nagy előnye az, hogy az alkalmazásához már nem kell a hasonlósági törvényeket - a labor és az üzemi méret tekintetében - felírni.

7.2. A folyamatos szuszpenziókészítés vizsgálatára áramlástechnikai keverőberendezést építettem, amellyel szisztematikus méréseket végeztem el három különféleképp osztályozott kvarchomok mintával. Validáltam az eljárás technikai méretezés ismert módszertanát, amelynek a célja meghatározni a szemcsés szilárdanyag és folyadék tömegáramát, vagyis a berendezés kapacitását és hozzá a termékként előállított szuszpenzió koncentrációját, úgy, hogy a keverőtartályban ne lépjen fel eltömődés vagy kihígulás. A méretezésnek itt is hangsúlyos eleme a C_V koncentrációjú szemcsehalmaz együttülepedő süllyedési végsebességének a számítása vagy mérése, amelyre vagy a 2. tézisben kidolgozott elméleti módszert, vagy a 6. tézisben kidolgozott üleptő mérőberendezést használhatjuk. Adott u szuszpenziós sebességhez kiszámítva a helyi koncentráció függvényében a felületre vonatkoztatott szilárd anyag térfogatárama (fluxusa) meghatározható. Amennyiben a szivattyú beállított fordulatszáma által meghatározott u szuszpenziós sebesség extrém kicsi, akkor a szemcsék előresietése dominál. Amennyiben extrém nagy, akkor pedig a szemcsék előresietése elhanyagolható, a helyi és a szállítási koncentráció megegyezik. A validált módszer alapján egy adott u sebességhez tartozó két legfontosabb műszaki paraméter, a $(\dot{Q}_s/A)^*$ maximális fajlagos kapacitás és a C_{TV2}^* szállítási koncentráció a kifolyásban, azaz a keverőberendezés termékének a koncentrációja meghatározható.

IV. A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT VÁLOGATOTT FÜGGETLEN SZAKIRODALOM

- [1.] Coccia C J R, Gupta R, Morris J, McCartney J S.: Municipal solid waste landfills as geothermal heat sources. *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS* 19, pp. 463-474. (2013)
- [2.] Durand R, Condolios E: Deuxième Journée de l'hydraulique. Soc. Hyd. de France, Grenoble. (1952)
- [3.] Hanks R W: Low Reynolds number turbulent pipeline flow of pseudohomogeneous slurries. *Hydrotransport 5*, Hannover BHRA Fluid Engineering. (1978)
- [4.] Kwade A., Schwedes J.: Wet Grinding in Stirred Media Mills. In *Handbook of Powder Technology*; Elsevier Science B.V.: Amsterdam, The Netherlands, pp. 251–382. (2007)
- [5.] Mahmood K, Adila Batool S & Nawaz Chaudhry M: Studying bio-thermal effects at and around MSW dumps using Satellite Remote Sensing and GIS. *WASTE MANAGEMENT*, 55, pp. 118-128. (2016)
- [6.] Tarján I: A mechanikai eljárás technika alapjai. Miskolci Egyetemi Kiadó. (1997)
- [7.] Wilson K C, Clift R, Sellgren A: Operating points for pipelines carrying concentrated heterogeneous slurries. *POWDER TECHNOLOGY* 123: pp. 19 – 24. (2002)
- [8.] Wilson K C, Horsley R R, Kealy T, Reizes J A, Horsley M: Direct prediction of fall velocities in non-Newtonian materials. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING* 71: pp. 17-30. (2003)
- [9.] Wilson K C, Sanders R S, Gillies R G, Shook C A: Verification of the near – wall model for slurry flow. *POWDER TECHNOLOGY* 197: pp. 247 – 253. (2010)
- [10.] Yeşiller N, Hanson J L, Yee E H: Waste heat generation: A comprehensive review. *WASTE MANAGEMENT* Vol. 42: pp. 166-179. (2015a)
- [11.] Yeşiller N, Hanson J L, Kopp K B, Yee E H: Assessing Approaches for Extraction of Heat from MSW Landfills. *Proceedings Sardinia 2015, Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 – 9 October* (2015b)

V. A TÉZISPONTOKHOZ KÖTŐDŐ SAJÁT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

- [1.] Csőke B., Faitli J., Mucsi G., Antal G., Bartók F.: Comminution of forest biomass by modified beater wheel mill in a power plant. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING*: 112. pp. 13-18. (2012)
- [2.] Faitli J: Calculation process for the determination of head loss of steady-state solid-liquid mixtures flow in horizontal pipelines. PhD Értekezés. Nehézipari Műszaki Egyetem. Miskolc. (1996)

- [3.] Faitli J: Pressure loss calculation model for well-graded solid-liquid pipe flows on the basis of systematic pilot plant investigations. In: Shammazov Airat M, Besenyei L (szerk.) INTELLECTUAL SERVICES FOR OIL AND GAS INDUSTRY PROCEEDINGS: ANALYSIS, SOLUTION AND PERSPECTIVES. 330 p. Miskolc: University of Miskolc - Ufa State Petroleum Technological University, pp. 212-221. (2000)
- [4.] Faitli J, Tarján I: Scale-up methods of dense slurry production by propeller and flow technique mixers. In: Proceedings of the XXII International Mineral Processing Congress. Konferencia helye, ideje: Cape Town, Dél-Afrika, 2003.09.29 -2003.10.03. pp. 452-453. (2003)
- [5.] Faitli J, Csőke B, Endresz I, Biczó Cs: Rod-lamella thickener for mud removal from living waters. In: Wang Dian Zuo (szerk.) Proceedings of XXIV. International Mineral Processing Congress. Konferencia helye, ideje: Peking , Kína , 2008.09.24 - 2008.09.28. Beijing: Science Press, pp. 3861-3870. (2008)
- [6.] Faitli J, Mucsi G, Gombkötő I: Using of high concentration slurries for underground mine backfilling in Gyöngyösoroszi, Hungary. In: Peter Fečko, Vladimír Čablík (szerk.) Proceedings of 14th Conference on Environment and Mineral Processing. Konferencia helye, ideje: Ostrava, Csehország, 2010.06.03 -2010.06.05. Ostrava: Technical University. pp. 51-57. (2010)
- [7.] Faitli J: Szemcsés anyagok - csővezetékben - folyadékárammal való szállításának méretezése.: 1 rész: Kísérleti berendezések és modell. ÉPÍTŐANYAG 63. évfolyam: (1. szám.) pp. 10-15. (2011)
- [8.] Faitli J: Szemcsés anyagok - csővezetékben - folyadékárammal való szállításának méretezése.: 2. rész: A nyomásvesztés számítása. ÉPÍTŐANYAG 64. évfolyam: (1 - 2. szám) pp. 2-7. (2012a)
- [9.] Faitli J, Böhm J, Mucsi G, Gombkötő I.: A gyöngyösoroszi szulfidos ércbánya végleges bezárása hidraulikus tömedékeléssel; a mechanikai eljárastechnika szerepe a technológia kifejlesztésében. BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK-BÁNYÁSZAT 145:(5) pp. 13-20. (2012b)
- [10.] Faitli J, Weisz R: Hydraulic Backfill Technology for the Closure of the Abandoned Sulfide Mine in Mátraszentimre. GEOSCIENCES AND ENGINEERING: A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC Vol. 1. (No. 2.) pp. 39-44. (2012c)
- [11.] Faitli J, Magyar T: Optimizing the Operation of Municipal Solid Waste Landfills. In: Gombkötő I. (eds.): 18th International Conference of Waste Recycling. Miskolc, Hungary, 2014.10.09-2014.10.10. (2014a)
- [12.] Faitli J, Czél P: Matrix Model Simulation of a Vertical Roller Mill with High-Efficiency Slat Classifier. CHEMICAL ENGINEERING & TECHNOLOGY 37: Paper 5. 9 p. (2014b)
- [13.] Faitli J: Szemcsemozgás mérése és számítása nem-newtoni egy- és többfázisú közegekben. BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK-BÁNYÁSZAT 2015/3. pp. 2-9. (2015)

- [14.] Faitli J, Gombkötő I: Some technical aspects of the rheological properties of high concentration fine suspensions to avoid environmental disasters. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND LANDSCAPE MANAGEMENT* 23:(2) pp. 129-137. (2015a)
- [15.] Faitli J, Erdélyi A, Kontra J, Magyar T, Várfalvi J, Murányi A: Pilot Scale Heat Extraction and Utilization System Built into the “Gyál” Municipal Solid Waste Landfill. *Proceedings Sardinia 2015, Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 5 – 9 October* (2015b)
- [16.] Faitli J, Magyar T, Erdélyi A, Murányi A: Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills. *WASTE MANAGEMENT* 36: pp. 213-221. (2015c)
- [17.] Faitli J, Böhm J, Mucsi G, Gombkötő I, Weisz R: Development of Fly-ash Based Hydraulic Backfilling Technology for the Final Closure of Underground Mines. *SOLID STATE PHENOMENA* 244: pp. 130-139. (2016a)
- [18.] Faitli J, Magyar T, Erdélyi A, Jambrich R, Murányi A, Kontra J, Várfalvi J: Kapcsolási elrendezés vízszintes elrendezésű hőcserélőkkel rendelkező hulladéklerakók bomlási hőjének kinyerésére és hasznosítására. NSZO: B09B 1/00; Ügyszám: U 15 00168, Közzététel éve: (2016b)
- [19.] Faitli J, Magyar T, Erdélyi A, Jambrich R, Murányi A, Kontra J, Várfalvi J: Kapcsolási elrendezés függőleges elrendezésű kúttal rendelkező hulladéklerakók bomlási hőjének kinyerésére és hasznosítására. NSZO: B09B 1/00; Ügyszám: U 15 00169, Közzététel éve: (2016c)
- [20.] Faitli J: Continuity theory and settling model for spheres falling in non-Newtonian one- and two-phase media. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MINERAL PROCESSING*: 169 pp. 16-26. (2017)
- [21.] Faitli J, Magyar T, Romenda R, Erdélyi A, Boldizsár Cs: Chapter 9. Laying the Foundation for Engineering Heat Management of Waste Landfills. In: Norma Chandler (szerk.) *Landfills: Environmental Impacts, Assessment and Management*. Hauppauge (NY): Nova Science Publishers, pp. 215-244. (2017a)
- [22.] Faitli J, Bohács K, Mucsi G: Online rheological monitoring of stirred media milling. *POWDER TECHNOLOGY*: 308. pp. 20-29. (2017b)
- [23.] Faitli J, Gombkötő I, Mucsi G, Nagy S, Antal G: Mechanikai eljárás technikai praktikum. Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 312 p. (2017c)
- [24.] Faitli J, Csőke B, Nagy Z, Németh S: Developing the combined magnetic, electric and air flow (KLME) separator for RMSW processing. *WASTE MANAGEMENT & RESEARCH*: 36 p. 9. pp. 779-787 (2018)
- [25.] Faitli J, Nagy S, Romenda R, Gombkötő I, Bokányi Lj: Assessment of a residual municipal solid waste landfill for prospective ‘landfill mining’. *WASTE MANAGEMENT & RESEARCH* 29 Oct. 2019. p. 11. (2019a)

- [26.] Faitli J, Romenda R: Detailed Sampling Protocol for the Analysis of Residual Municipal Solid Wastes. In: Moustakas K, Loizidou M, (eds.) Proceedings of the 7th International Conference on Sustainable Solid Waste Management. Herakleion, Greece, Hellenic Mediterranean University, p. 10. Paper: Session XXIII/10. (2019b)
- [27.] Faitli J, Weisz R: A mátraszentimrei pernyezagy tömedékelő csővezeték nyomásvesztésének és statikus nyomáseloszlásának számítása. Bányászati és Kohászati Lapok-Bányászat, Kőolaj és Földgáz 153: pp. 3-9 (2020)
- [28.] Faitli J.: Automated batch settling column with vibrated rods and evaluation protocol for living waters mud thickening. REVIEW OF FACULTY OF ENGINEERING ANALECTA TECHNICA SZEGEDINENSIA 14:2 pp. 50-60. (2020)
- [29.] Magyar T, Faitli J, Szabó R: Geopolimer-EPS kompozit szigetelő anyagok eredő hővezetési tényezőjének elméleti és kísérleti vizsgálata. ÉPÍTŐANYAG: JOURNAL OF SILICATE BASED AND COMPOSITE MATERIALS 69: pp. 74-82. (2017)
- [30.] Tarján I, Faitli J: Solid-liquid mixing in a vessel by vertical flow. In: Lakatos I (szerk.) RECENT ADVANCES IN ENHANCED OIL AND GAS RECOVERY 300 p. Budapest: Akadémiai Kiadó - Elsevier Science Publishers, pp. 245-254. (2001)
- [31.] Tarján I, Faitli J: Distinction of fine suspension flow from coarse mixture flow by measuring the pressure loss in a horizontal pipe. In: Lakatos I (szerk.) CHALLENGES OF AN INTERDISCIPLINARY SCIENCES, PROGRESS IN MINING AND OILFIELD CHEMISTRY. 358 p. Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 285-292. (1999)
- [32.] Tarján I. Faitli J: Bestimmung der Transport Konzentration beim hydraulischen Transport durch Druckmessungen an vertikalen Rohrabschritten. PUBLICATIONS UNIVERSITY OF MISKOLC, SERIES A. MINING. VOL. 50. PROCESS ENGINEERING Fasc. 2. pp. 53-67. (1995)
- [33.] Trinh Quyen V, Nagy S, Faitli J, Csőke B: Determination of radial pressure distribution on the wall of the press channel of a novel biomass single die pelletiser. EUROPEAN JOURNAL OF WOOD AND WOOD PRODUCTS: Open Access, published 17 August 2020 pp. 1-12. (2020)