

Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője:

Dr. h.c. mult. Dr. Kovács Ferenc

Egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Ultra nagy koncentrációjú zagyok csővezetékben történő szállításának vizsgálata, paszta technológia

Doktori értekezés tézisei

Ph.D. fokozat elnyeréséhez

Kutatóhely: Miskolci Egyetem

Műszaki Földtudományi Kar

Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Készítette: **Gombkötő Imre** okl. előkészítéstechnika mérnök

Tudományos vezetők: **Dr. Bóhm József**

a műszaki tudomány kandidátusa
egyetemi docens

Dr. Faitli József

egyetemi docens

Miskolc, 2008

Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője:

Dr. h.c. mult. Dr. Kovács Ferenc

Egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Ultra nagy koncentrációjú zagyok csővezetékben történő szállításának vizsgálata, paszta technológia

Doktori értekezés tézisei

Ph.D. fokozat elnyeréséhez

Kutatóhely: Miskolci Egyetem

Műszaki Földtudományi Kar

Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Készítette: **Gombkötő Imre** okl. előkészítéstechnika mérnök

Tudományos vezetők: **Dr. Bóhm József**

a műszaki tudomány kandidátusa
egyetemi docens

Dr. Faitli József

egyetemi docens

Miskolc, 2008

A kutatási téma célja és indoklása

A szilárd ásványi nyersanyagok feldolgozásakor keletkező, nagy mennyiségű nem hasznosítható nyersanyagok tárolása jelentős műszaki – gazdasági feladat. A nedves technológiával feldolgozott ásványi nyersanyagok maradék anyagainak ártalmatlanítása, mennyiségük csökkentése elsődleges társadalmi érdek.,habár ma Magyarországon azoknak az érces ásványoknak a bányászata, amelyek feldolgozása közben jelentős mennyiségű meddőzagy keletkezik, nem jelentős. A kérdéssel azonban mindenképpen foglalkozni kell, hiszen az alumíniumipar, a széntüzelésű erőművek mind zagy formájában tárolják nem hasznosuló maradékanyagaikat. A hígzagys technológia sűrűzagys, illetve paszta technológiával történő kiváltása jelentős összhangban van azzal a társadalmi törekvéssel, amely a környezet és természetes erőforrásaink védelmét célozzák.

A paszta – technológiával egy a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetén 2003 és 2006 között folyt EU kutatásfejlesztési program keretében ismerkedtem meg. A kutatási program címe „Sustainable Improvement of Safety of Tailings Facilities” – TAILSAFE volt. Kutatási feladatom pedig a sűrűzagys és paszta alapú meddőkezelés megvalósíthatósága és modellezése volt. Ezzel párhuzamosan számos Intézeti kutatásban vehettem részt, ahol főleg hazai és külföldi pernyék, illetve egyéb szilárd – víz szuszpenziók hidraulikus szállíthatósági és reológiai tulajdonságaival foglalkoztam. Az ásványelőkészítési meddőzagyok és - korábbi tapasztalatok alapján - az erőműi pernyék is newtoni, illetve időtől független nem - newtoni folyási tulajdonságokat mutattak. A hidraulikus szállítási paraméterek meghatározása, mint a szállított zagy fajlagos nyomásvesztesége, a mérnöki gyakorlatban folyási tulajdonságok alapján történik, amelyeket félüzemi kísérletek során mérnek ki. A nagy koncentrációjú zagyok illetve a paszta állapotú zagyok tekintetében azonban nem ennyire egyértelmű a helyzet. Céломul tűztem ki, hogy megvizsgálom a rendelkezésre álló modelleket és méretezési módszereket annak

megállapítása érdekében, hogy vajon a szakirodalomban fellelhető módszerek alkalmasak e nagykoncentrációjú zagyok nyomásveszteségének, mint fő hidraulikus szállítási paraméternek a számítására.

Az is ismert, hogy azonos koncentrációjú és hasonló folyási tulajdonságokat mutató zagyok esetében előfordulhat, hogy az egyik pasztaszerű viselkedést mutat, a másik nem. Itt az eltérés nagy valószínűséggel a zagyot alkotó szilárdanyag anyagi tulajdonságaiban keresendő. Ráadásul a szakma sem egységes a „paszta” állapot definiálásában, ami szintén feltárássra váró feladat.

A kutatómunka nyilvánvaló célja olyan alapkutatások elvégzése, amelyek alapján módszertan dolgozható ki, ultra - nagy koncentrációjú zagyok hidraulikus szállításának méretezésére. A kapott modell alapján - reményeim szerint - pasztaállapotú anyagok csővezetékben történő szállításának méretezési, optimalizálási kérdései is megoldhatóvá válnak. További célom, hogy a meddőkezelési technológiák áttekintésével megvizsgáljam a technológia hazai alkalmazási lehetőségeit. Munkámmal szeretnék lezárni egy kutatási időszakot, megnyitva ezzel egy újat, hiszen a megválaszolt kérdések továbbiakat szültek, melyek meghatározzák a kutatás további fő irányvonalait.

A kutatás módszertana

A kutatási munka többfázisú volt. Az első fázisban felkutattam azokat a szakirodalmi forrásokat, amelyek kapcsolódtak a célkitűzésben lefektetett témakörökhöz. Így nagy mennyiségű irodalmi adatot dolgoztam fel a meddőzagy kezelés, zagyok hidraulikus szállítása és a sűrűzagyos technológiák, mint a paszta technológia témakörében. Az irodalmi kutatást kiterjesztettem a ma már nyilvánosan elérhető internetes forrásokra is, ahol igyekeztem a hiteles, főként szakmai alapokon szerveződő portálok adatait beépíteni a munkámba.

A kutatómunka második fázisa a kísérleti fázis volt. A kísérleti munkát a mintaanyagok gondos kiválasztásával kezdtem. A mintaanyagok kiválasztásánál figyelembe vettem azt, hogy a folyamatok leírásához és megismeréséhez modell és reális anyagok mérési eredményeinek összehasonlítására van szükség, valamint a dolgozat témájának megfelelően elsősorban, de nem kizárólagosan hazai forrásokból származó anyagokkal dolgozzak. A méréssorozat folyamán vizsgálataimba bevontam számos pernye (India, Mátraalja, Pécs, Dorog), homok, üveghomok liszt, gyöngyösoroszi flotációs meddő, bentonit (Mátraszele, Mád), portland cement és gipszmintát, valamint ezek keverékeit. A vizsgálatba bevont anyagok szemcseméreteloszlása, szemcsesűrűsége, folyási határának meghatározása mellett meghatároztam a minták különböző koncentrációjú szilárd – víz keverékeinek a folyási tulajdonságait a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének laboratóriumában található csőviszkóziméterben. A folyási tulajdonságok alapján a szakirodalomban fellelhető módszerek segítségével a csővezetékben történő hidraulikus zagyszállítás nyomásvesztesége becsülhető volt. A becslés pontosságának ellenőrzésére egy hidraulikus kört építettem, amely alkalmas volt a hidraulikus szállítás nyomásveszteségének közvetlen meghatározására, a modellek ellenőrzésére.

Mérőrendszer leírása

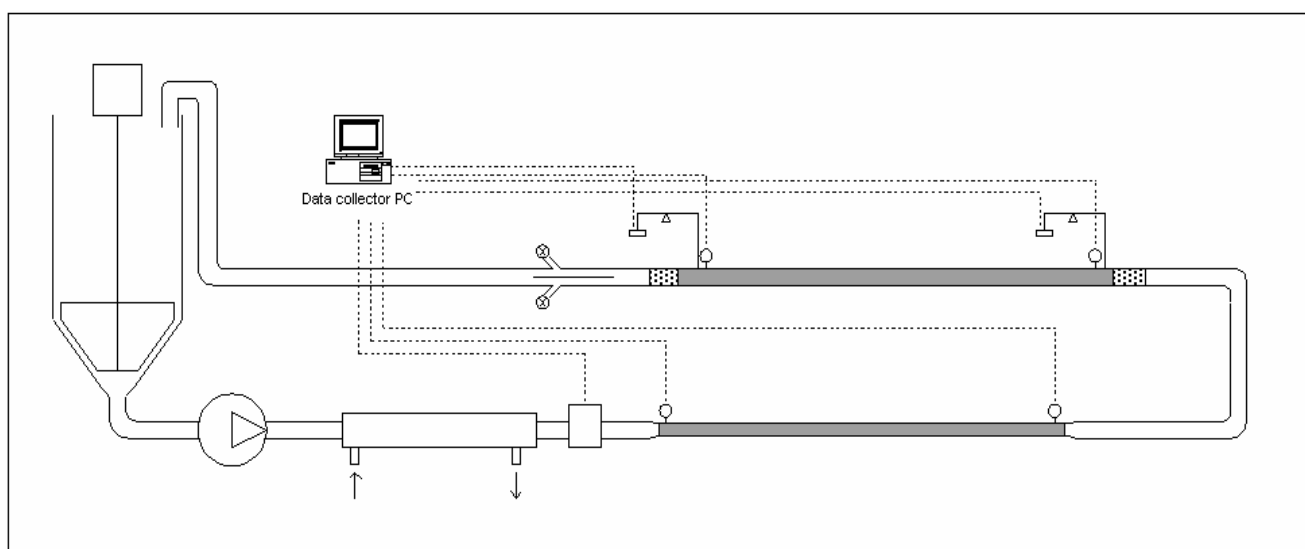
A hidraulikus zagyszállítási vizsgálatok célja az volt, hogy extrém nagy koncentrációjú zagyok csővezetékben történő szállítása esetén a nyomásveszteség milyen módszerrel közelíthető a legjobban. Ennek a fontossága abban rejlik, hogy az ipari gyakorlatban a szállítandó anyag adott körülmények közötti nyomásveszteségét, mint tervezési alapadatot minden esetben félüzemi mérésekkel határozzák meg. Egy egyszerűsített modell használatával a tervezés során jelentős költség takarítható meg.

A hidraulikus zagyszállító kör megépítésével lehetőségem volt továbbá, mind a TAILSAFE projekt, mind egyéb Intézeti kutatási megbízások kapcsán különböző

szivattyú típusok viselkedését megvizsgálni extrém nagy koncentrációjú zagyok szállítása esetén.

Az általam tervezett hidraulikus kör kialakításának sematikus ábrája látható az 1. ábrán. A kialakítás során a cső viszkóziméter kialakításának tapasztalatait felhasználva, úgy terveztem, hogy különböző típusú szivattyúk, egyszerűen cserélhetőek legyenek. Kialakítása miatt, bizonyos feltételek mellett csőviszkóziméterként is használható kifejezetten nagy koncentrációjú tartományokban, ahol a rendszer nagyobb nyomáson üzemel. Nagy hátránya azonban a csőviszkóziméterrel szemben, hogy nagy mennyiségű anyag szükséges a mérésekhez, ezért nehezen beszerezhető minták mérése jelentős költség és idő többletet igényel.

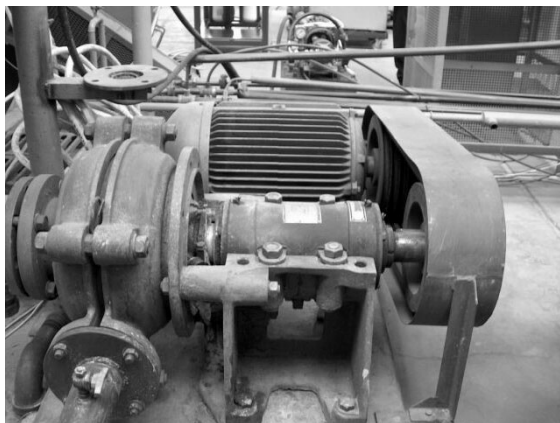
Ahogy az 1. ábrán látszik, a mérőkör része egy 400 liter hasznos űrtartalmú, alsó felén kúpos keverőtartály. Az alsó kúpos rész dőlésszöge nagy, hogy elősegítse a nagy koncentráció tartományokban a zagy, szivattyú garatba csúszását. Az igényelt koncentráció eléréséhez itt is a szilárd anyag mennyiségét célszerű növelni a mérés során. A bekeverés megkönnyítésére, a csőviszkóziméteren elhelyezetthez hasonló, hidraulikus motorral meghajtott keverőlapát került beépítésre, melynek lapátjaira semmilyen kikönnyítés nem került



1. ábra: A hidraulikus mérőkör sematikus ábrája

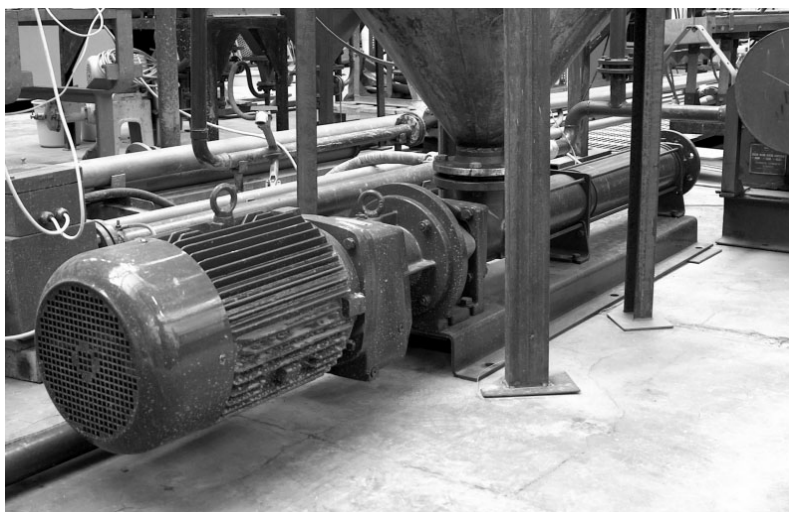
. Kis koncentrációk esetén ezért a fordulatszámát leszáboályoztuk, hogy elkeröljük a nem kívánatos örvénylést és tölcséreffektust, ami a levegő szivattyúba jutását eredményezte volna. Nagyobb koncentrációk mellett azonban a perforálatlan keverőlapát elősegítette a zagy garatba juttatását.

A tartály alsó kifolyó garatjára a mérések során 3 különböző típusú szivattyú került beépítésre. Az egyik szivattyú egy Warman típusú forgólapátos zagyszivattyú volt. A használt típusnak a forgórésze és a ház belső fala gumibevonatot kapott.



2. ábra: Warman típusú forgólapátos zagyszivattyú

Méréseimhez felhasználtam egy Brit gyártmányú, MONO típusú csavar szivattyút, melynek merev karakterisztikája és nagyobb szállítómagassága volt. A Mono csavarszivattyú képes $15 \text{ m}^3/\text{óra}$ térfogatáram biztosítására és szállítómagassága elérte a 15 bar-t.



3. ábra: Mono típusú csavarszivattyú

A harmadik szivattyú egy Német gyártmányú ABEL típusú dugattyús membrán szivattyú volt, melyet szintén lehetőségem volt használni. Ez a szivattyú egy speciálisan kialakított zagyszivattyú volt, mely $11 \text{ m}^3 / \text{óra}$ térfogatáram és 15 bar szállítómagasság létrehozására volt képes merev karakterisztika mellett. A zagyszállítás során a koptató hatású zagy nem érintkezik közvetlenül a dugattyúval, vagy annak szigetelésével. A dugattyú egy speciális olaj víz emulzióban mozog, amely nyomásváltozását egy membrán közvetíti a szállítandó folyadékra. A membrán nyomóterét a szállítóvezetékől egy kb. 100 mm átmérőjű, gumibevonatú, golyós súlyszelep választotta el.



4. ábra: ABEL típusú dugattyús membránszivattyú

A szivattyú nyomó oldalán a csővezetékbe egy duplaköpenyes csővezeték szakasz volt beépítve, hogy az áramló zagyot hűtse. A hűtőszakasz után egy indukciós áramlásmérő került beépítésre, mely a mért értéket egy mérésadatgyűjtő kártya segítségével egy személyi számítógépbe (PC) juttatta.

Az indukciós áramlásmérőt közvetlenül két mérő csőszakasz követte sorba kötve. Az első csőszakasz 40 mm belső átmérőjű, 6 m hosszú csőszakasz, melyben a nyomásveszteség mérése szintén Hottinger – Baldwin nyomáskülönbség mérő egységekkel volt megoldva. A mért jel, itt is egy PC-be került. A második mérőszakasz szintén 6 méter hosszú, azonban a csőszakasz belső átmérője 50 mm volt. A csőszakasz két végén a nyomást közvetlenül mértem, így egyidejűleg kaptam információt a rendszer ezen pontján uralkodó nyomásviszonyokról, valamint a nyomásmérők által mért értékek különbségeként a nyomásveszteség értékéről is.

A zagyszállító kör második mérőszakaszának tömegét is folyamatosan mértem. Ha az üres cső tömegét és térfogatát, a szállított szilárd anyag és víz sűrűségét ismerjük, a helyi térfogati koncentráció számolható. Mind a mérlegelt adatok, mind a direkt nyomásmérő által produkált jelek a számítógépre jutottak.

A mérőszakaszok után a sorban egy speciális mintavevő fej került beépítésre. A mintavevő úgy lett kialakítva, hogy a csővezeték alsó és felső feléből, egymástól függetlenül lehetett mintát venni, ezért gyorsan megállapítható volt, hogy a szállított keverék ülepszik-e vagy sem. Ezután a keverék visszaáramlott a keverőtartályba.

A mérésadatgyűjtő számítógépen futó programot Faitli József egyetemi docens írta.

A kutatási eredmények

Kutatási eredményeimet röviden a következő tézisekben foglalom össze.

1. tézis

Azoknak a szuszpenzióknak a folyási tulajdonságait, amelyek kis szilárdanyag koncentrációk esetén newtoni, nagyobb koncentrációk esetén Bingham – plastikus viselkedést mutatnak, a következő összefüggésekkel lehet jellemezni a szilárdanyag koncentráció függvényében:

A merevségi tényező:

$$\eta[Pa\cdot s] = \mu_o \left(1 + K_1 c_v + K_2 c_v^{K_3} \right)$$

Nyugalmi határfeszültség:

$$\tau_0[Pa] = K_4 e^{K_5 c_v}$$

Az egyenlet alkalmazhatóságának a felső határa a szuszpenziót alkotó szilárd anyag folyási határának megfelelő koncentrációig terjed, amelynél nagyobb koncentráció esetén a szilárd anyaghalmoz nem írható le a folyadékok mechanikájával.

2. tézis

A mérések alapján megállapítható, hogy paszta azokból a nagy, ill. ultra nagy koncentrációjú zagyokból válhat, amelyek nyugalmi határfeszültséggel rendelkeznek. A pasztaszerű viselkedés a roskadási kúpteszt elvégzésével észlelhető egyértelműen. Ez alapján pasztának tekinthető a zagy, ha a roskadási kúpteszt elvégzésekor produkált roskadt kúp magassága meghaladja az eredeti kúpmagasság 50%-t.

3. tézis

A roskadási vizsgálatok eredményei függenek a vizsgált keveréket alkotó szilárd anyag sűrűségétől, mivel a csonka kúp eltávolítása után a nyíróerőt a roskadó anyaghalmoz súlya biztosítja. Ebből következik, hogy eltérő anyagi minőségű keverékek vizsgálatakor kapott kúp magasság értékek nem hasonlíthatóak össze közvetlenül, módosított tesztre van szükség. A módosított tesztnek biztosítani kell a roskadást okozó erők és a vizsgálat geometriai azonosságát. A módosított teszt esetén, a roskadási tesztet olyan, az eredetihez geometriailag hasonló kúpon kell elvégezni, amelyben a vizsgálandó zagy tömege 50% térfogati koncentráció mellett a kúpot teljesen feltöltve 11,1 kg. Ekkor pasztának tekinthető az a szuszpenzió, amely a módosított teszt során a mérőkúp magasságának 50%-nál magasabb roskadt kúpot produkál.

4. tézis

Az általam elvégzett roskadási kúptesztek eredményi alapján megállapítható, hogy a paszta állapot kialakulásában nem kizárólagosan a szemcseszerkezet játszik szerepet. Pusztán a 20 μm -nél kisebb szilárd szemcsék arányának növelésével a paszta állapot nem érhető el. A paszta állapot eléréséhez agyagásványok, főként montmorillonit jelenléte szükséges. A jelenség a montmorillonit nagyobb fajlagos felületével, eltérő kristályszerkezetével és felületi tulajdonságaival magyarázható.

5. tézis

Az általam elvégzett mérések igazolják, hogy a 2. és 3. tézis alapján pasztának minősített ultra – nagy koncentrációjú szilárd - víz keverékek vízszintes csőben történő áramlásakor fellépő nyomásveszteség számítható a finom szuszpenzió modellel. Ez azt jelenti, hogy a paszta egyfázisú folyadéknak tekinthető, amely a sűrűségével és a folyási viselkedésével jellemezhető.

A kutatásaim eredményei jól használhatóak, ipari zagyszállítási feladatok méretezési és optimalizációs kérdéseinek megoldásakor. További hasznosítási lehetőséget látok a sűrűzagyos meddőkezelési technológiák hazai bevezetésének megalapozásában. A sűrűzagyos meddőkezelési módszerek és a paszta technológia jelenleg nincs alkalmazásban Magyarországon. Alkalmazási lehetőségként három fő területet látok, melyeket az alábbiakban foglalom össze.

- Bauxit feldolgozás maradékanyagának az ún. vörösiszapnak az elhelyezése, kezelése.
- Széntüzelésű erőművek égéstermégeinek a kezelése. Jelentős tárolókapacitás növekedést eredményezhet, akár 20%-al kevesebb víz kerül a zagytározó térre,

mely csökkenti a környezeti kockázatot. A környezeti kockázatok tovább csökkenthetőek adalékanyagok, mit például bentonit vagy gipsz adagolásával.

- Felhagyott mélyművelésű bányatérsegek végleges lezárásához kapcsolódó tömedékelési feladatok esetén. Mélyművelésű bányatérsegek tömedékelése esetén, nagy koncentrációjú, paszta állapotú keverékek alkalmazása indokolt lehet.

A témában közreadott publikációk

J Faitli; J Böhm; I Gombkötő; Á Debreczeni; Paste type pipe transport for the safety of tailings facilities. XXIII International Mineral Processing Congress 2006 September. Proceedings Volume 3. pp:2287

Dr. József Böhm; dr. József Faitli; dr. Ákos Debreczeni; Imre Gombkötő Safety and health, tailings management questions, ISCSM 2006 09 24-27, Aachen Konferencia kiadvány: 331-339 oldal

Imre Gombkötő; Dr. József Faitli; Whether Paste Is A State Of The Material?; Universitaria SIMPRO 2006 Petrosani, Romania, 2006. 10. 13-14. Konferencia Szekciókiadvány: 43-49 oldal

Imre Gombkötő, Environmental Friendly Tailing Management, MicroCAD 2007 Konferencia szekció kiadvány, 33-39 oldal

J Böhm, Á Debreczeni, J Faitli, I Gombkötő and T Meggyes, High-concentration hydraulic transport of tailings, Land Contamination and Reclamation Vol.15 Num. 2 (2007) oldal: 195 – 217

J. Faitli, I. Gombkötő: Flow Properties of Fine Suspension at High Concentrations microCAD 2005 International Scientific Conference, 2005. 03. 10.-11. SBN:963-661-647-7

Gombkötő Imre, Környezetbarát meddőzagykezelés, Bányászati és Kohászati Lapok 140. évfolyam 3. szám 20-25. oldal, 2007

Elfogadott és megjelenés alatt álló publikáció

I. Gombkötő and J. Faitli, Application of Paste Technology for Tailings Handling The XXIV International Mineral Processing Congress, 2008 Beijing