

Ca-Na-BENTONIT SZUSZPENZIÓ FOLYAMATOS

ÜLEPÍTÉSE

Doktori értekezés

Katona Sarolta
okleveles vegyész

József Attila Tudományegyetem
Alkalmazott Kémiai Tanszéke

S z e g e d

1976



B1308

T a r t a l o m

Bevezetés	1
1. Elméleti rész	3
1.1. Az ülepitendő anyag: a Ca-Na-bentonit	3
1.2. Az ülepitő berendezés	8
1.3. Az ülepitő működésére vonatkozó elméletek	13
1.4. A számítás elve	24
1.5. A számítás menete	27
2. Kísérleti rész	34
2.1. A Ca-Na-bentonit szuszpenzió elkészítése	34
2.2. A granulometriai görbe felvétele	35
2.3. A tartózkodási idő eloszlás sűrű- ségfüggvényének meghatározása	37
2.4. Az ülepitő berendezés áramlástan- i vizsgálata	38
2.5. Ca-Na-bentonit szuszpenzió ülepitése	47
2.6. A mérés és a számítógépi közelítés eredményeinek összehasonlítása	55
Összefoglalás	63
Irodalom	65

Bevezetés

A bentonit az ipar számos területén felhasználható agyagásvány. Többek között gépszírok töltőanyagaként is feldolgozható, ha nem tartalmaz kvarcot. A kvarcmentesítés abból a gyakorlati tapasztalatból indulhat ki, hogy a 2-3 μ m alatti részecskeméret tartományban a Ca-Na-bentonit szuszpenzióban már csak elenyésző mennyiségben találhatók kvarcsemcsék.

A bentonit kvarcmentesítésének megoldását tartva szem előtt elkészítettünk egy, az adott célra alkalmas folyamatos üzemű ülepitő berendezést, melyben a hidraulikus osztályozás alapelvét felhasználva, a betáplálás sebességének változtatásával úgy lehet befolyásolni az átlagos tartózkodási időt, hogy csak egy előre megválasztott méretnél kisebb részecskék maradjanak az ülepitőt elhagyó szuszpenzióban.

Kísérleti eredményeimet elméleti számításokkal is alátámasztottam. A konkrét feladat megoldása közben ugyanis kitűnt, hogy a berendezésben végbemenő ülepedési folyamat matematikai módszerekkel leírható. A számítás a tartózkodási idő eloszlásának és az ülepitendő szuszpenzió részecskeméret eloszlásának ismeretében az ülepitő működésére vonatkozó néhány feltétel teljesülése esetén lehetővé teszi az ülepitőt

elhagyó szuszpenzió szemcseméret eloszlásának számítás útján történő meghatározását.

Az elv, illetve az elkészített számítógépi program jól hasznosítható hasonló ülepítési feladatok modellezésére, új berendezések tervezésére, illetve meglévő készülékek működési paramétereinek optimalizálására.

1. Elméleti rész

1.1. Az ülepítendő anyag: a Ca-Na-bentonit

A bentonit az egyik leggyakrabban előforduló, az ipar számos területén felhasználható agyagásvány. Széles körben alkalmazzák mind eredeti /természetes állapotú/, mind pedig módosított /szerves vegyületekkel kezelt/ formában.

Kőolajbányászatban például a bentonit a vizes közegű fúróiszapok fontos alkotórésze, ugyanis jól duzzad és jó vízzáró réteget hoz létre. Napjainkban elsősorban mélyfúrásoknál használnak organofil bentonit származékokat; ezek, az olajos közegű fúróiszapokba bekeverve, jelentősen javítják azok minőségét és stabilitását [1].

A hidrofil bentonit felhasználható az élelmiszeriparban /pl. bor derítésére/, a vegyiparban /katalizátor hordozóként/, a textil- és gyógyszeriparban /töltőanyagként/. Organofilizált formában fontos lakkipari töltőanyag. Festékekhez, lakkokhoz adagolva tixotróp sajátságánál fogva megakadályozza a festék kiülepedését, valamint megcsorgását függőleges felületeken [2].

A bentonit voltaképpen keverékrendszer. Geológiai szempontból nézve üledékes kőzet, mely lávák,

tufák hidrotermális, illetve felszíni mállásával képződik [3]. Fő komponense a montmorillonit /40-70 %/, kíséző ásványként egyéb agyagásványokat /kaolinitet, illitet/, átalakulási kőzetmaradékokat /kvarcot, földpátot, stb./ és üledékes eredetű egyéb ásványokat /gipszet, dolomitot, meszet, piritet/ tartalmaz.

A montmorillonit a filloszilikátok osztályába tartozó, kristályos, hármás rétegrácsú, duzzadó agyagásvány [4]. Szerkezetére nézve több elmélet ismeretes. Az első szerkezetmeghatározás Hofmanntól és munkatársaitól származik [5]. Ezt a szerkezetet Hofmann, Endell és Wilm neve után HEW-szerkezetnek nevezik.

A HEW-szerkezet szerint: két tetraéderez polikovassav $/\text{SiO}_4/_x$ háló között egy oktaéderez szimmetriájú $/\text{Al-ból és OH csoportokból álló/$ hidrargillit háló van. Ebben az ún. szendvics szerkezetben a pozitív és negatív töltések száma úgy alakul, hogy egy elemi cellára vonatkoztatva a rács kiegyenlített. Így a kristálykémiai formula: $\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{Al}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ -nak adódik.

A HEW-szerkezet hibája, hogy ez az összegképlet csak közelítőleg adja meg a montmorillonit valódi összetételét. Kémiai elemzések szerint ettől mindig van eltérés, főleg Ca^{2+} és Mg^{2+} ionok jelenléte miatt.

Ezt Marshall [6] azzal magyarázta, hogy a tetraédes rétegben nem sztöchiometrikus $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$, illetve az oktaédes rétegben $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Me}^{2+}$ helyettesítés lép fel. Emiatt a rács negatív töltésfelesleggel rendelkezik. A felületen elektromos kettősréteg alakul ki, melynek belső fegyverzetét maga a rács, külső fegyverzetét pedig kationok alkotják. Ezek a kompenzáló kationok könnyen cserélhetők más ionokra. Ebből ered a montmorillonit ioncserélő képessége.

A HEW-szerkezet alapján nem lehetne megmagyarázni a montmorillonit igen nagy ioncsere kapacitását /80-150 mekv/100 g/, feltűnően nagy intrakristályos vízfelvevő-, azaz duzzadóképeségét, valamint termikus viselkedését. Edelman és Favejee ezért más szerkezetet javasolt [7], mely szerint a Si-O rétegben minden második /ill. egy későbbi módosítás szerint minden negyedik/ SiO_4 tetraéder a síkra merőlegesen 180° -kal elfordul és így a szabad csúcsokon OH-csoportok foglalnak helyet. Ellenérvek azonban ezzel a szerkezettel szemben is felmerültek.

Legújabban egydimenziós Fourier-analízis alapján [8] bizonyítottnak tekinthető a Hofmann-féle elrendezés, amely szerint a hármas rétegrács egységek

/lamellák/ a c tengely irányában párhuzamosan halmozódnak, az a és b tengely irányában azonban rendezetlenül helyezkednek el. A hármas rétegrácsok közötti kapcsolat gyenge, oda víz vagy organikus anyag épülhet be.

A montmorillonit nagy ioncsere képessége a gyakorlati felhasználhatóságot is befolyásolja. A magyarországi "bányaállapotú" bentonit cserepozícióban főleg Ca-ionokat tartalmaz. A Ca-bentonit viszonylag rosszul duzzad és kevésbé peptizálható. Ha a Ca-bentonitot Na_2CO_3 -tal kezelik /un. szódázás/, a Ca-ionok nagyrésze Na^+ -ra cserélődik, és az így nyert bentonit sokkal jobb kiindulási anyag pl. az organofil bentonit gyártásához. A nagymértékű duzzadás miatt ugyanis több aktiv hely válik hozzáférhetővé az organikus anyag beépüléséhez. /Korábban a szódázott bentonitot teljesen cserélt Na-bentonitnak tekintették, újabb vizsgálatok szerint azonban a Na_2CO_3 -os kezelés hatására a Ca^{2+} -ionoknak csak kb. 60 %-a cserélődik le, emiatt a Ca-Na-bentonit elnevezés jogos [9]./

A Ca-Na-bentonit desztillált vízben képlékeny, kenhető masszává válik, amely további vízmennyiség hatására fokozatosan hígítható. A rétegrácsok

eltávolodnak egymástól a közükbe bepülő víz hatására. A megnövekedett rácstávolság 10 nm-t is elérhet. A peptizáció önként végbemenő, de meglehetősen időigényes folyamat. Teljes mértékben dezaggregált rendszer agyagásványoknál nincs; lamellatömbök mindig találhatók. A tömbök vastagsága a cserepozícióban lévő ionok minőségével és a szuszpenzió elektrolit koncentrációjával befolyásolható.

Az anizometrikus, lemez alakú részecskék jelenlétét az is bizonyítja, hogy egy bizonyos szuszpenzió koncentráció fölött /jól peptizált bentonitnál kb. 3-4 s%/ megfigyelhető a tixotrópia jelensége: a rendszer állás közben megdermed, gélszerűvé válik. A gélváz azonban már kis mechanikai behatás /rázás, keverés/ hatására szétesik, ismét folyóssá válik a rendszer [10]. A tixotróp gélesedés reverzibilisen játszódik le: magára hagyva a szuszpenziót, ismét kialakul a laza gélstruktúra.

Egy jól peptizált bentonit szuszpenzió részecskéinek nagy része az 5 μ m alatti mérettartományba esik. A szennyezőként jelenlévő kvarc azonban szintén igen finom eloszlású lehet. A kvarc és a montmorillonit fajsúlya alig tér el egymástól /mindkettő 2,5-2,6 g/cm³/; fajsúlyuk, illetve ülepedési sebességük alapján tehát nem lehet elkülöníteni a

két anyagot. A kvarc jelenléte még kis részecskeméret esetén sem kívánatos, ha a Ca-Na-bentonitból gépszir töltőanyagot készítenek. Röntgen-vizsgálatok szerint 2-3 μ m-es részecskesugár alatt kvarc már csak elenyésző mennyiségben található, a kvarcmentesítés lehetséges módja tehát: fő tömegében 2 μ m alatti részecskéket tartalmazó szuszpenzió kinyerése. Ezt a célt szolgálja az Alkalmazott Kémiai Tanszéken készített ülepitő berendezés.

1.2. Az ülepitő berendezés

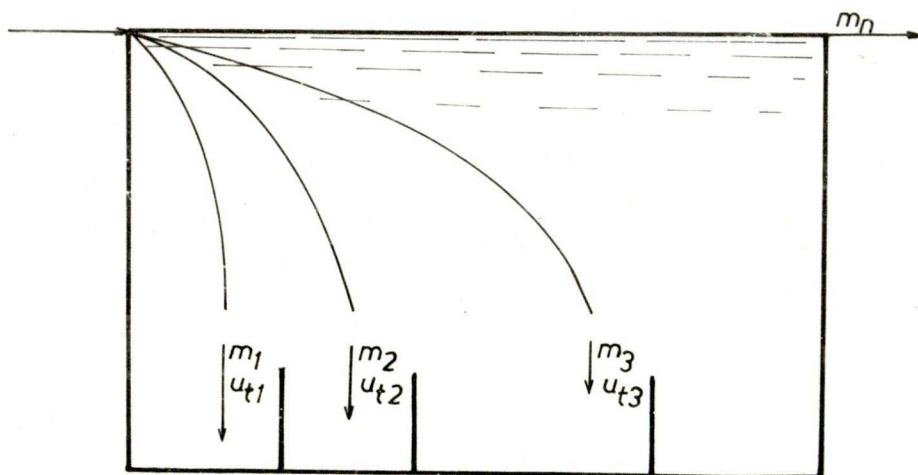
Az ülepitésnek, mint műveletnek lényege és egyben célja is: szuszpendált szilárd részecskék eltávolítása álló vagy mozgó folyadékáramból.

A vegyipar számos területén alkalmaznak ülepitőket: pl. üveggyártásban kvarcszuszenzió frakcionálásához, ércdúsításnál, szennyvizek derítésénél, stb.

A legismertebb szakaszos és folyamatos ülepitő berendezések: ülepitő tartály, Allen-féle ülepitőkúp, tálcás ülepitők, Dorr-féle ülepitő, hidrociklon, stb. [11,12].

A szuszpendált szilárd részecskék frakcionált ülepitésének, azaz méret szerinti osztályozásának legegyszerűbb esete a gravitációs erőter hatására

létrejövő hidraulikus osztályozás, melynek alapelve a vázlatos ábrán látható:



1. ábra: a hidraulikus osztályozás alapelve

Tegyük fel, hogy a betáplált folyadék $m_1 > m_2 > \dots > m_n$ tömegű és $r_1 > r_2 > \dots > r_n$ sugarú részecskéket tartalmaz, amelyek u_{t1} , u_{t2} , ..., u_{tn} végsebességgel érik el a tartály alját. A részecskék kezdetben csak horizontális sebességkomponenssel rendelkeznek, de a gravitáció hatására pályájuk egyre jobban eltér a vízszintestől, ami azt jelenti, hogy mozgásuk kétdimenzióssá válik.

Elvileg felírhatók a részecskék mozgásegyenletei [13] és a differenciálegyenlet-rendszer megoldásával számítható a részecskék pályája, illetve a kád hossza irányában megtett elmozdulás nagysága, de az ideálistól eltérő kolloidikai és hidrodinamikai körülmények miatt rendszerint nem járható az egzakt matematikai megoldás útja.

Közelítő számítások és gyakorlati megfontolások alapján úgy terveztük meg kísérleti berendezésünket, hogy az folyamatosan működjék, legyen könnyen elkészíthető, laboratóriumi körülmények között is lehessen benne óránként legalább 100 g nyers bentonitot kvarcmentesíteni és szerkezeti megoldását tekintve legyen alkalmas egy "ideálisnak" tekintett ülepitő modellezésére. Az "ideális" ülepitőt [14] nyomán úgy képzeltük el, hogy a szuszpenzió az ülepitő tetején, vékony rétegben, vízszintesen áramlik; ebből a rétegből ülepednek ki a diszpergált részecskék az ülepitőt megtöltő nyugvó közegbe, illetve nagyságuktól függően a terelőlapokkal elválasztott szektorokba. Az ülepitő aljáról szakaszosan távolítható el az üledék. A folyadék /mely vagy "tiszt", vagy még mindig tartalmaz szilárd szemcséket/ az ülepitő végén túlfolyással távozik.

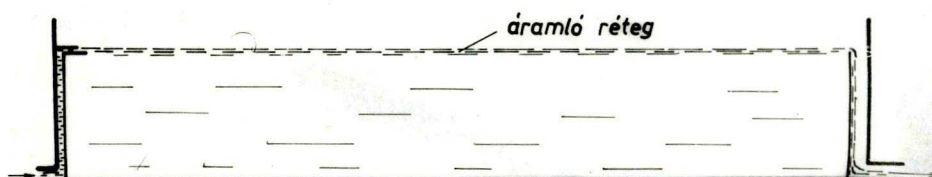
Előzetes számítások alapján úgy tűnt, hogy a bentonit frakcionálását az alábbi méretű ülepitő csatorna képes biztosítani:

hossza	200 cm
szélessége	10 cm
az első és utolsó terelőlap magassága	13,5 cm
a közbeeső terelőlapok magassága	12,5 cm
a terelőlapok távolsága	50 cm.

Az ülepitővel végzett előkísérletek során azonban kiderült, hogy az ilyen magasságú beépített terelőlapok zavarják az áramlást, az egyes szektorokban visszakeveredést tapasztaltunk. Annak érdekében, hogy a zavaró hatásokat kiküszöböljük és a lamináris áramlást minél jobban megközelíthessük, úgy alakítottuk át az ülepitő berendezést, hogy eltávolítottuk a terelőlapokat és a beadagolás helyénél két üveglap segítségével vékony /0,3 cm-es/ rést képeztünk ki. A szektorok megszüntetése nem befolyásolja a berendezés felhasználhatóságát, annál kevésbé, mivel laboratóriumi körülmények között számunkra csak a finom /kvarcmentes/ frakció lényeges, az ülepitőben maradó, durva részecskéket tartalmazó üledék nem. A rés kialakítása azért látszott célszerűnek, mert segítségével ki lehet küszöbölni a

beadagolás helyén a folyadék átbukását és az ekkor fellépő turbulenciát.

A berendezés vázlata a 2. ábrán látható. Ebben az ülepitőben kellően kis áramlási sebességet alkalmazva sikerült megvalósítani az 1-2 s% bentonit tartalmú szuszpenzió kívánt frakcionálását és egyben igazolni, hogy ebben a majdnem ideálisnak minősülő ülepitőben valóban érvényesülnek azok a méretezési alapelvek, amelyekről a bevezetésben szóltunk.



2. ábra: Az ülepitő berendezés vázlata

1.3. Az ülepitő működésére vonatkozó elméletek

Folyadékban diszpergált, r sugarú, gömb alakú részecskék ülepedési sebességét Stokes szerint [15]
a

$$v_{\text{sed}} = \frac{2 r^2 (\rho_s - \rho_f) g}{9 \eta} \quad /1/$$

ahol: ρ_s a szilárd részecske sűrűsége $[m \cdot l^{-3}]$
 ρ_f a diszperziós közeg sűrűsége $[m \cdot l^{-3}]$
 g a gravitációs gyorsulás $[l \cdot t^{-2}]$
 η a közeg belső surlódási együtthatója $[m \cdot l^{-1} \cdot t^{-1}]$

összefüggés adja meg, feltéve, hogy az ülepedést a közeg mozgása, illetve a szomszédos részecskék egymáshatása nem zavarja.

A formula gyakorlati alkalmazásának feltételei általában biztosíthatók. A szomszédos részecskék zavaró hatása jól diszpergált, hig - 4 s%-nál kevesebb diszperz részt tartalmazó - rendszerben elhanyagolható. Nyugalomban lévő vagy irányított lamináris mozgást végző közeg sem fejt ki zavaró hatást az ülepedésre.

A betáplálás sebességét tehát úgy kell megválasztani, hogy a felső folyadékréteg laminárisan áramoljék. Az áramlást akkor tekintjük laminárisnak, ha a Reynolds-szám < 2320 .

$$Re = \frac{d \cdot \bar{u} \cdot \rho}{\mu} \quad /2/$$

ahol: d a cső átmérője $[l]$

$\bar{u}$ közepes áramlási sebesség $[l \cdot t^{-1}]$

ρ az áramló folyadék sűrűsége $[m \cdot l^{-3}]$

μ az áramló folyadék dinamikai viszkozitása $[m \cdot l^{-1} \cdot t^{-1}]$

A Reynolds-szám definícióegyenlete ilyen formában csak a csövekben áramló folyadékokra érvényes. Ha az áramlási keresztmetszet nem kör, d -t helyettesíteni kell a hidraulikus sugárral $/r_h/$, pontosabban az ekvivalens átmérővel $/d_{ekv}/$. Az ekvivalens átmérő a folyadékáram keresztmetszete $/q/$ és az áram által érintett, nedvesített terület $/k/$ hányadosának négyszerese 16 :

$$d_{ekv} = 4 \frac{q}{k} = 4 r_h \quad /3/$$

Tekintsük azt az ideális esetet, amikor az elmozduló folyadékréteg áramlása dugattyúáramlás. Ekkor egyenletes betáplálás esetén a folyadékrészek tartózkodási ideje $/\tau/$ a berendezésben egyszerűen számítható a

$$\tau = \frac{V_R}{W} \quad /4/$$

összefüggés alapján,

ahol: v_r a berendezés térfogata $[l^3]$

w a térfogati áramlási sebesség $[l^3 t^{-1}]$.

Valóságos esetben azonban az ideális dugattyúáramlástól mindig van eltérés. Ez abban jut kifejezésre, hogy $\bar{t}$ -nál kisebb és nagyobb tartózkodási idők is előfordulnak. Értelmezhető tehát a tartózkodási időnek eloszlás- és sűrűségfüggvénye.

Lamináris áramlásnál az eltérést egyrészt az okozza, hogy a lineáris áramlási sebesség függ az áramló rétegben elfoglalt helytől, másrészt az, hogy az áramló rétegen belül az egymáson elcsúszó folyadékrétegek között fellép a diffúzió. Turbulens áramlásnál a kialakuló sebességprofil torzító hatása mellett igen nagy mértékű belső keveredéssel és visszakeveredéssel is számolnunk kell, amely mind axiális, mind pedig radiális irányban fellép.

A turbulens áramlással nem foglalkozunk, mivel ez az ülepítés hatékonyságát csak gátolja, ebben az áramlási tartományban a részecskék gravitációs erőter hatására bekövetkező ülepedése már nem tekinthető zavartalannak.

Tekintsük elsőként a lamináris áramlásnál kialakuló sebességprofilnak az ideális dugattyúáramlásra gyakorolt torzító hatását.

Lamináris áramlásnál a kialakuló sebességprofil parabolikus [17]. Az R sugarú csővezetékben áramló folyadék lineáris sebességét az

$$u(r) = 2 \bar{u} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad /5/$$

összefüggés adja meg.

Az ülepítő berendezésben a legfelső folyadékréteg középső pontja $u_{\max}$ lineáris sebességgel halad, míg az álló folyadéktömeggel érintkező "legalsó" és a két oldalon, közvetlenül a fallal érintkező folyadékréteg elméletileg nem mozdul el. Bizonyítható, hogy az átlagos lineáris sebesség /mint csővezetékéknél/ ebben az esetben is:

$$\bar{u} = \frac{1}{2} u_{\max}$$

Ekkor az /5/ formulába R helyébe $h/2$ ill. L irandó, ahol: h az ülepítő szélessége [1]

L az áramló réteg vastagsága [1].

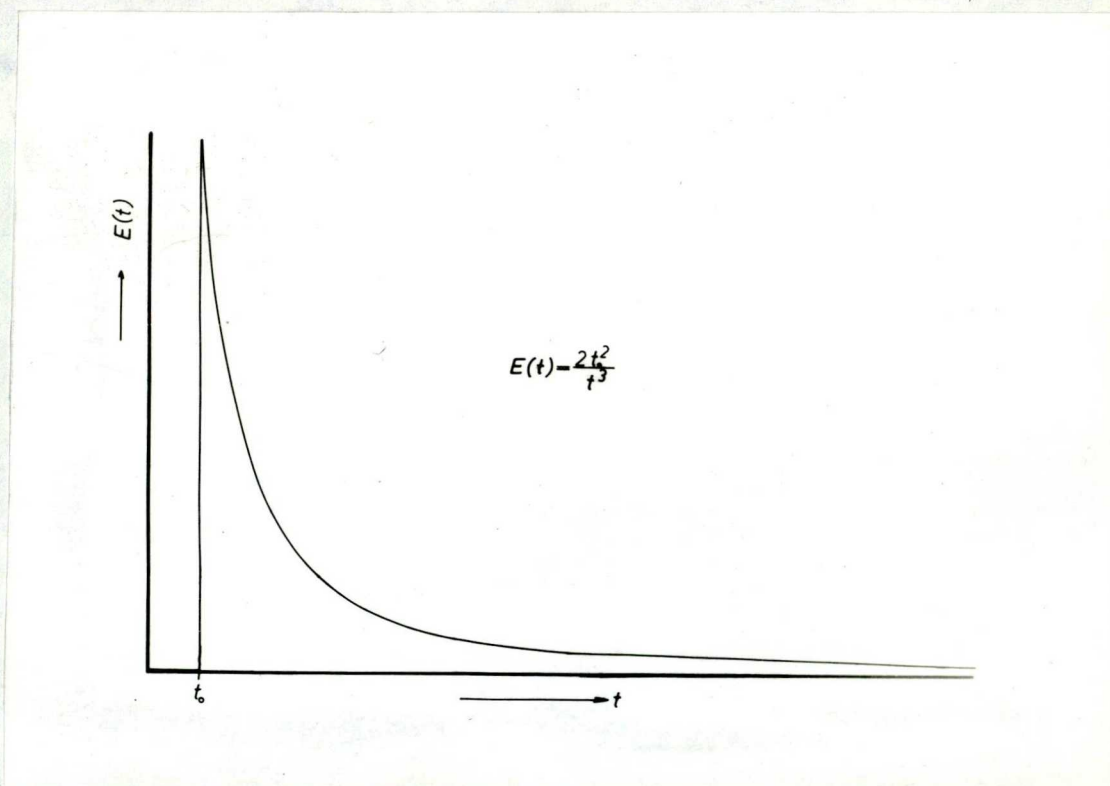
Ideális lamináris áramlás esetén a sebességeloszlás /5/ formulájából kiindulva [18], levezethető a tartózkodási idő eloszlásának /az ülepítő berendezésre is érvényes/ sűrűségfüggvénye:

$$E(t) = \frac{2 t_0^2}{t^3} \quad /6/$$

illetve eloszlásfüggvénye:

$$F(t) = \int_{t_0}^t E(t) dt = 1 - \left(\frac{t_0}{t} \right)^2 \quad /7/$$

ahol: t_0 az az idő, amelynél kisebb t t_0 időkre a beadagolt jelzőanyag koncentrációja c $t = 0$. Egy ideális esetben a tartózkodási idő eloszlásának sűrűségfüggvényét a 3. ábra mutatja:



3. ábra: A tartózkodási idő eloszlásának sűrűségfüggvénye



A mért sűrűségfüggvények azonban nem követik a formula által megkívánt menetet. Ennek az az oka, hogy az ideális lamináris áramlás is torzul: mind az ülepítő csatorna tengelyével párhuzamosan, mind pedig arra merőlegesen az áramló rétegen belül diffúzió és keveredés lép fel. Ezeket a hatásokat együttesen diszperziónak nevezzük.

A diszperzió közelítéséhez tekintsük ismét egy folyadék dugattyúáramlását, amelyre valamilyen mértékű viSSZakeveredés vagy belső keveredés szuperponálódik. Tegyük fel, hogy ennek mértéke független a tartályon belüli helytől. /Ez utóbbi feltétel azt jelenti, hogy nincsenek holt terek és elágaztatások./ Ezt nevezzük diszpergált dugattyúáramlásnak vagy diszperziós modellnek [19].

Meg kell különböztetnünk az áramlás irányába eső /axiális/ keveredést az arra merőleges /radiális/ keveredéstől, ezek ugyanis nagyságrendileg nagyon különbözhetnek egymástól. Az axiális keveredést elsősorban a sebességgradiensből eredő keveredés, a radiális pedig a molekuláris diffúzió okozza.

Fick-nek a molekuláris diffúzióra vonatkozó törvényével analóg módon írhatjuk le az X irányban áramló folyadék viSSZakeveredését:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_l \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad /8/$$

ahol: D_l az un. longitudinális vagy axiális diszperziós koefficiens, amely csak az áramlás közben bekövetkező visszakeveredés fokától függ.

Bevezetve a $z = X/H$ és $\Theta = t/\bar{t} = t \cdot \bar{u}/H$ dimenzió nélküli koordinátákat /ahol H a berendezés hossza/, a /8/ formula a következő:

$$\frac{\partial c}{\partial \Theta} = \left(\frac{D_l}{\bar{u} \cdot H} \right) \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{\partial c}{\partial z} \quad /9/$$

A $\frac{D_l}{\bar{u} \cdot H}$ un. diszperziós szám, az axiális diszperzió mértékére jellemző. Ezzel kapcsolatban célszerű a következő határeseteket megkülönböztetni:

I. határeset: $\frac{D_l}{\bar{u} \cdot H} \rightarrow 0$: a diszperzió elhanyagolható: közelítőleg dugattyúáramlás valószínűleg;

II. határeset: $\frac{D_l}{\bar{u} \cdot H} \rightarrow \infty$: nagy diszperzió: jól kevert áramlás jön létre.

Ha az elméleti dugattyúáramlást tekintjük /I. határeset/, akkor minden folyadékreszecske helykoordinátától függetlenül azonos $\bar{u}$ sebességgel áramlik és $\bar{t}$ idő alatt futja be a H utat. Ha az ülepitő medence elején az áramló folyadékba valamilyen jelzőanyagot juttatunk, akkor a medence végén ugyanazt a koncentrációprofilt figyelhetjük meg, mint amelyet betápláltunk.

Ha fellép a diszperzió, akkor a különböző folyadékreszecskek hosszabb-rövidebb idő alatt teszik meg a H távolságot, vagyis a t tartózkodási idő, mint valószínűségi változó a diszkrétől eltérő eloszlást mutat. /Ilyen esetben a $\bar{t}$ a tartózkodási idő eloszlás várható értéke./

Ha kismértékű diszperzió lép fel, akkor az ideális impulzus- /Dirac-delta/ illetve az azt megközelítő négyszöghullám-szerűen beadagolt jelzőanyag koncentrációja $\odot$ függvényében a kilépés helyén Gauss görbével közelíthető. Ekkor az átlagos tartózkodási idő szórásnégyzetéből megadható a fenti diszperziós szám:

$$\sigma_{\odot}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2 \left(\frac{D_L}{\bar{u} \cdot H} \right) \quad /10/$$

Nagyobb eltéréseknél már nem lehet normál eloszlással közelíteni a diszperziót, ekkor bonyolultabb az összefüggés σ^2 és $\frac{D_L}{\bar{u} \cdot H}$ között [20].

Mindezen elméleti meggondolásnak az ülepitő berendezés áramlástani viselkedése és ezzel összefüggésben az ülepedés modellezhetősége szempontjából van jelentősége. Azt, hogy a kialakuló áramlási kép mennyire közelíti meg az ideális lamináris áramlást, csak a tartózkodási idő eloszlásának mérésével dönthetjük el. Erre a célra legalkalmasabb az impulzus módszer [18], melynek elve röviden a következő:

$t = 0$ időpontban tetszőlegesen kicsiny idő alatt $x = 0$ helyen a folyadékáramba M mennyiségű jelzőanyagot /pl. festéket/ juttatunk. $x = H$ helyen /az ülepitő berendezés végén/ Δt időközökben vett mintákból mérjük az ülepitőből távozó jelzőanyag koncentrációját. Az első mérhető részlet a t_0 időpontban jelenik meg. $c(t) \equiv 0$, ha $t < t_0$. $(t, t+dt)$ időintervallumban a berendezésből $M \cdot E(t) dt$ mennyiség távozik, ahol $E(t)$ a tartózkodási idő un. sűrűségfüggvénye.

$$M E(t) dt = w c(t) dt$$

Ebből:

$$E(t) = \frac{W}{M} c(t) \quad /11/$$

A mért koncentráció vs. idő görbe tehát arányos a tartózkodási idő eloszlásának sűrűségfüggvényével. Az $E(t)$ függvény ismeretében számítható a tartózkodási idő eloszlásfüggvénye, amely megadja, hogy $(0, t)$ időintervallumban mennyi jelzőanyag hagyja el az ülepítőt.

$$F(t) = \int_0^t E(t) dt \quad /12/$$

Számítható továbbá a t tartózkodási időnek, mint valószínűségi változónak a várható értéke, melyet átlagos tartózkodási időnek nevezünk:

$$\bar{t} = \int_0^t t E(t) dt \quad /13/$$

$\bar{t}$ szórása az alábbi összefüggéssel adható meg:

$$\sigma^2 = \int_0^t (t - \bar{t})^2 E(t) dt \quad /14/$$

A festékekkel, mint jelzőanyaggal meghatározott tartózkodási idő eloszlás, valamint annak sűrűségfüggvénye /és így természetesen valamennyi ezekből lezarmaztatott statisztikai jellemző/ nem feltétlenül azonos azzal, ami a diszperz rendszer szemcséinek ülepedése szempontjából mérvadó. Ugyanis amint az előzőekben vázlatosan kifejtettük, az ideális dugattyúáramlástól mutakozó eltéréseknek számos oka van, ezek közül egyesek /mint pl. a lamináris áramlásnál fellépő sebességprofil, axiális és radiális visszakeveredés/ hatással vannak az ülepedésre, mások /mint pl. az axiális és radiális diffúzió/ viszont csak molekuláris dimenziókban fejtik ki hatásukat, a makroszkópikus rendszer szemszögéből nézve hatástalanok és egyben érdektelenek.

A festékekkel, mint jelzőanyaggal meghatározott átlagos tartózkodási idő eloszlás feltétlenül magába foglalja a diffúziós anyagáramok hatását is, biztonsággal állitható tehát, hogy az ülepedés szempontjából mérvadó tartózkodási idő eloszlásfüggvény diszperziója ennél csak $\leq$ lehet.

1.4. A számítás elve

Ha az ülepitő berendezésben kialakuló áramlás közelítőleg lamináris, akkor a tartózkodási idő eloszlásának $/G(t)/$ sűrűségfüggvénye, az ülepitendő szuszpenzió szemcseméret eloszlásának $/F(r)/$ sűrűségfüggvénye, valamint az ülepedés sebességére vonatkozó $s(L, t, r, H) \equiv 0$ függvény ismeretében számítás útján meghatározható az ülepitőt elhagyó szuszpenzió szemcseméret eloszlásának sűrűségfüggvénye.

A számítás a következő megfontolások alapján történik. Az eredeti szuszpenzió r és $r + dr$ sugárérték közé eső tömeghányada: $F(r) dr$. Ez gyakorlatilag r sugarú homodiszperz frakcióként kezelhető. Az adott méretű berendezésre az alkalmazott w áramlási sebesség mellett az $s(L, t, r, H) \equiv 0$ ülepedési sebességfüggvény alapján - feltéve, hogy az áramló réteg L vastagságát ismerjük - megadható egy olyan t^* tartózkodási idő, amelynél $t > t^*$ tartózkodási ideig az ülepitőben tartózkodó anyaghányad biztosan kiülepszik, az az anyaghányad pedig, melynek tartózkodási idejére fennáll, hogy $t < t^*$, biztosan elhagyja az ülepitőt. Ha a tartózkodási idő eloszlásfüggvénye $G(t)$, akkor az ülepitőt elhagyó r és $r+dr$ sugár közé eső szemcseméretű anyaghányad éppen: $G(t^*) F(r) dr$.

Minden szemcseméretet figyelembe véve az egy-
ségnyi tömegű eredeti frakcióból végül is tömegben
kifejezve

$$Q \equiv \int_0^{\infty} G[t^{\#}(r)] F(r) dr \quad /15/$$

hagyja el az ülepitőt.

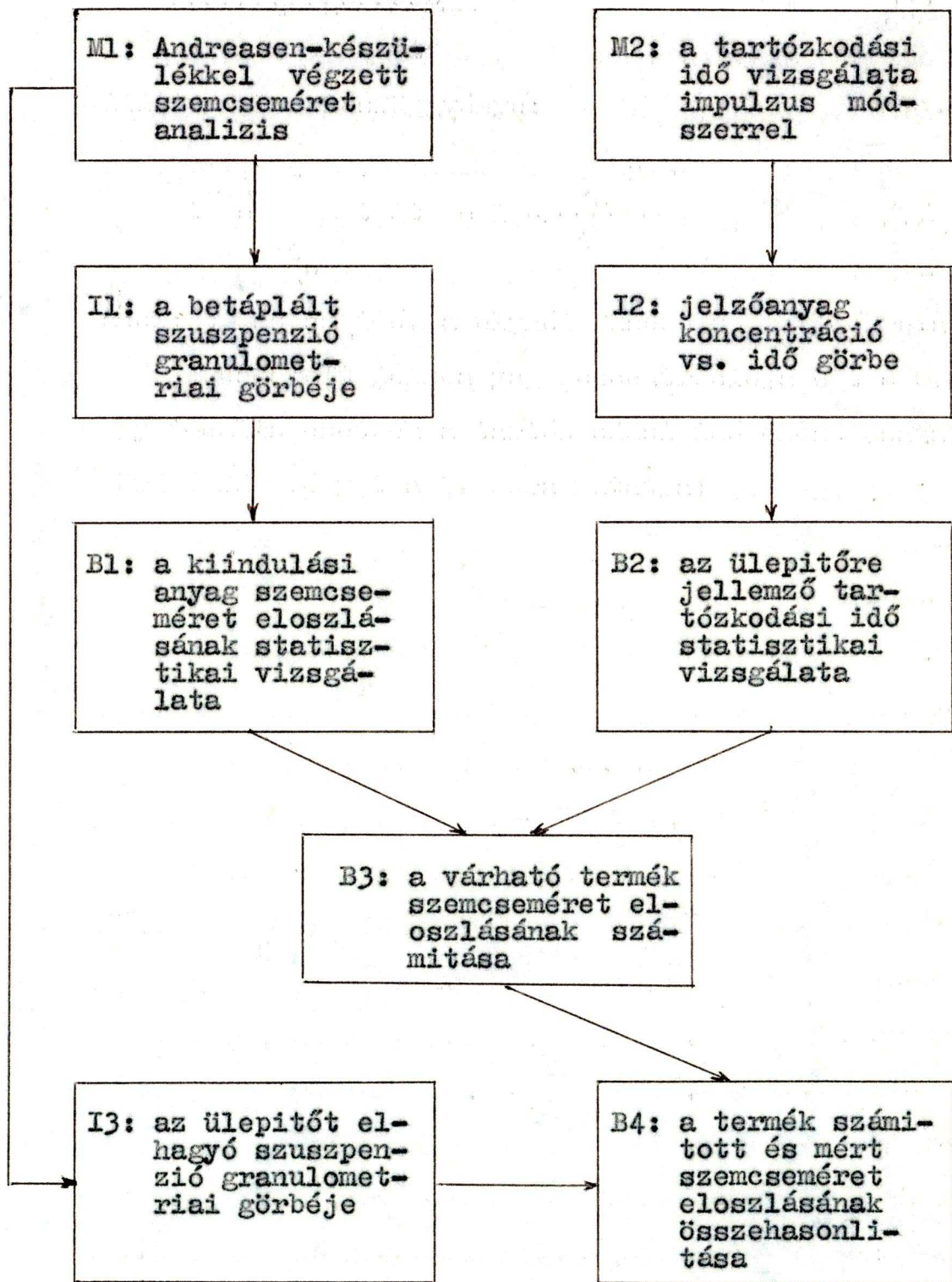
Ebben az r és $r + dr$ közötti szemcseméretű
frakció relatív súlya, ami egyben az ülepitőt el-
hagyó frakció szemcseméret eloszlásának sűrűség-
görbét szolgáltatja:

$$\psi(r) = \frac{G[t^{\#}(r)] F(r) dr}{\int_0^{\infty} G[t^{\#}(r)] F(r) dr} \quad /16/$$

A sűrűséggörbe ismeretében a $\Phi(r)$ eloszlásgörbe és
a $\psi(r)$ granulometria görbe már számítható.

Figyelembe véve, hogy mind a tartózkodási idő
eloszlás, mind pedig a szemcseméret eloszlás sűrűség-
görbéje csupán empirikusan határozható meg, a vázolt
számítási feladat csak numerikusan, elektronikus szá-
mitógéppel hajtható végre. Ez a vázlatos blokkdiagram
a 4. ábrán látható.

4. ábra: A munka menete



Ez a tulajdonképpen illesztőprogram szegmensein túlmenően tartalmazza a betáplált adatok input blokkjait, sőt a mérési módszereket szimbolizáló blokkokat is.

1.5. A számítás menete

Il: Betápláljuk az ülepítendő szuszpenzió alkalmas kísérleti módszerrel /M1/ felvett granulometriai görbét: $Y_g(r)$. A granulometriai görbe a részecske-sugár /r/ függvényében megadja, hogy az adott r-nél nagyobb részecskék hány %-át teszik ki a szuszpenzió összes tömegének.

B1: A kiindulási anyag szemcseméret eloszlásának statisztikai vizsgálata

B1. 1. A szemcseméret eloszlásfüggvény számítása
A granulometriai görbéből egyszerűen megkapható a szuszpenzió szemcseméret eloszlásfüggvénye:

$$Y(r) = 1 - Y_g(r)$$

B1. 2. A szemcseméret eloszlás sűrűségfüggvényének számítása

A szemcseméret eloszlás sűrűséggörbét Douglass-Avakian szerinti numerikus deriválással határozzuk meg [21].

$$F(r) = \frac{dY(r)}{dr}$$

A módszer lényege: egy görbe 7 pontjához negyedfokú polinomot

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$$

illesztünk a legkisebb négyzetek módszere szerint.
/A független változó értékeinek osztása ekvidisztáns!/ A középső, azaz a 4. pontban a deriváltat a következő összefüggés adja meg:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{397 \sum ky}{1512 h} - \frac{7 \sum k^3 y}{216 h}$$

ahol: h az osztásköz az x tengelyen,

k egész szám, h együtthatója x értékeinél,
 $-3 \leq k \leq +3$,

y a független változó értéke.

A Douglass-Avakian módszer hátránya, hogy az első és utolsó 3 pontban nem képes a deriváltat kiszámítani. Célszerű tehát grafikusan extrapolált pontokkal meghosszabbítani a deriválandó görbét mindkét irányban. Az így kiegészített granulometriai görbét tekintettük a sűrűséggörbe kiszámításának alapjául.

I2: Az M2 blokknak megfelelő tartózkodási idő eloszlás mérés végrehajtása után a következő adatokat tápláljuk be:

$c(t)$: az impulzus módszerrel felvett jelzőanyag koncentráció vs. idő görbe

w : a áramlás térfogati sebessége

M : a pillanatszerűen beadagolt jelzőanyag mennyisége

t_0 : kezdő időadat, ahol még $c(t \leq t_0) = 0$

stl : lépésköz az idő tengelyen

N : mérési pontok száma a koncentráció vs. idő görbén. / N páratlan kell legyen a Simpson szabállyal történő numerikus integrálás miatt./

B2: Az ülepítőre jellemző tartózkodási idő statisztikai vizsgálata

B2. 1. A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvényének számítása az

$$E(t) = \frac{w}{M} c(t)$$

összefüggés alapján.

B2. 2. A tartózkodási idő eloszlásfüggvényének számítása:

$$G(t) = \int_{t_0}^t E(\tau) d\tau$$

A $G(t)$ függvényt $E(\tau)$ numerikus integrálásával számítjuk a trapéz-szabály [21] szerint.

B2. 3. Az átlagos tartózkodási idő számítása

$$\bar{\tau} = \int_{t_0}^{\infty} \tau E(\tau) d\tau$$

összefüggés alapján, szintén numerikus integrálással, Simpson módszerével [21].

B2. 4. Az áramló szuszpenzió réteg átlagos vastagságának számítása

$\bar{\tau}$ felhasználásával megadható az áramló réteg átlagos vastagsága: L . Ha ugyanis a térfogati áramlási sebesség w , az ülepitő hossza H , szélessége h , akkor

$$w \cdot \bar{\tau} = L \cdot H \cdot h$$

ahonnan

$$L = \frac{\bar{\tau} \cdot w}{H \cdot h}$$

B2. 5. Adott r sugarú részecskék ülepedési idejének számítása

A Stokes-formula segítségével számítjuk azokat a $t^{\#}(r)$ időket, ami alatt az egyes r , $r+dr$ közé eső sugarú részecskék v_{sed} sebességgel ülepedve megteszik az L utat:

$$t^{\#} = \frac{L}{v_{\text{sed}}} = \frac{9 L \eta}{2 r^2 \Delta \rho g}$$

B3: A várható termék szemcseméret eloszlásának számítása

B3. 1. Az r , $r+dr$ közé eső sugarú részecskék ülepedési idejéhez tartozó eloszlásfüggvény értékek számítása

Mindazok a szemcsék, amelyek rövidebb ideig tartózkodnak az áramló rétegben, mint amennyi L út megtételéhez szükséges $/t < t^{\#}/$, a finom frakcióba kerülnek; abban tömeghányaduk: $G(t^{\#}) \cdot F(r) dr$ lesz. Azok viszont, amelyekre a t tartózkodási idő $t > t^{\#}$, kikerülnek az áramló rétegből és kiülepsznek.

/Itt tömeghányaduk $[1 - G(t^{\#})] \cdot F(r) dr$./

$G[t^{\#}(r)]$ -t kvadratikusan interpolációval számítjuk. Az interpoláció célja, hogy $G[t^{\#}(r)]$ pontos értékét kapjuk egy olyan $t^{\#}$ helyen, ahol a számítógép eredetileg nem számította ki $G[t^{\#}(r)]$ értékét.

B3. 2. Az ülepitőt elhagyó szuszpenzió tömeghányadának számítása

Mint hogy az előbbiek szerint az r és $r+dr$ szemcseméret közötti $F(r) dr$ tömeghányadnak csak egy része: $G[t^{\#}(r)] F(r) dr$ hagyja el az ülepitőt, a szobajövő

$(0, r_{\text{krit}})$ intervallumban kilépő tömeghányadot az előző kifejezés integrálásával kaphatjuk meg:

$$Q = \int_0^{r_{\text{krit}}} G[t^{\#}(r)] F(r) dr$$

Q-t a Simpson-szabállyal számítjuk ki.

B3. 3. A termék szemcseméret eloszlásának számítása

Az r és $r+dr$ szemcseméret intervallumba eső frakció relatív súlya:

$$\varphi(r) = \frac{G[t^{\#}(r)] F(r) dr}{Q}$$

egyben az ülepitőt elhagyó szuszpenzió szemcseméret eloszlásának sűrűséggörbéje. /Csak mellékesen jegyezzük meg, hogy analóg számítási módszer alkalmazható az ülepitőben maradó szemcsés anyag szemcseméret eloszlásának számítására./ Ebből /trapéz-szabállyal/ megkapható a szemcseméret eloszlásgörbe:

$$\Phi(r) = \int_{r_0}^r \varphi(r) dr$$

B4: A termék számított és mért szemcseméret el-
oszlásának összehasonlítása

B4. 1. Az ülepitőt elhagyó termék granulometriai
görbájének számítása:

$$\psi(r) = 1 - \bar{\Phi}(r)$$

B4. 2. A számított és mért granulometriai görbe
összehasonlítása

Ehhez betápláljuk /I3/ az ülepitőt elhagyó szusz-
penzió kísérletileg /M1/ meghatározott granulomet-
riai görbáját $/Y_g(r)/$, majd képezzük a számított
és mért granulometriai görbe különbségét
 $/Y_g(r) - \psi(r)/$.

Egy rajzoló rutin segítségével diagramban ábrázol-
juk az eredményeket: a betáplált szuszpenzió gra-
nulometriai görbáját és az ülepitőt elhagyó szusz-
penzió mért és számított granulometriai görbáját.

2. Kísérleti rész

2.1. A Ca-Na-bentonit szuszpenzió elkészítése

A szódázott bentonitot az Északmagyarországi Vegyiművek bocsájtotta rendelkezésünkre.

A Ca-Na-bentonitból az ülepitési vizsgálatokhoz kb. 1 s%-os szuszpenziót kell készíteni a korábban említett okok /csak híg szuszpenzió ülepedése tekinthető zavartalannak, tixotrópia elkerülése/ miatt. A pontos beméréshez előzetesen meg kell határozni a szódázott bentonit szárazanyag tartalmát /10-10 g-os mintákat 110 °C-on 8 óráig szárítjuk/.

A szárazanyag tartalom ismeretében bemért bentonitot először kis mennyiségű desztillált vízzel pépesítjük, majd fokozatosan hígítjuk, állandó rázogatás közben. Kb. fele mennyiségű vízzel 1 napig állni hagyjuk. Ezután hozzáadjuk a teljes vízmenyiséget és ezzel is állni hagyjuk legalább 24 óráig. A hosszú várakozási időre azért van szükség, mert a peptizáció igen lassú folyamat és csak így érhető el, hogy a bentonit a legjobban dezaggregált állapotba kerüljön.

2.2. A granulometriai görbe felvétele

Az elkészített szuszpenzió diszperzitás fokának meghatározása több módszerrel történhet: álló vagy áramoltató, ill. ezen belül gravitációs vagy centrifugális erőterben végzett ülepitéssel [22]. Bentonit szuszpenzióknál leginkább alkalmazott módszer az álló közegű gravitációs erőterben végzett ülepités Andreassen-féle ülepitő készülékben.

A mérés elve a következő: ülepedő szuszpenzió h magasságú oszlopa alsó részéből Δh vastagságú réteget t_1 idő múlva elkülönítünk. Ebben a rétegben megtalálhatók mindazok a részecskék, melyeknek ülepedési ideje kisebb, mint h/t_1 , azaz sugaruk:

$$r_1 < \sqrt{\frac{h}{k \cdot t_1}}$$

ahol: k a Stokes-egyenlet /1/ állandója:

$$k = \frac{2 \Delta \rho g}{9 \eta}$$

Megfelelő $t_2, t_3, \dots, t_n$ időközönként megismételve a frakciók elkülönítését, az n -edik frakcióban:

$$r_n < \sqrt{\frac{h - (n-1)\Delta h}{k \cdot t_n}}$$

sugarú részecskék lesznek.

Az egyes szuszpenzió részleteket vízfürdőn bepároljuk és 1 óráig 100 °C-on szárítószekrényben szárítjuk, majd visszamérjük. Az így kapott szárazanyag tartalom az összes szuszpendált szárazanyag százalékában kifejezve megadja a $t_1, t_2, \dots, t_n$ ülepedési időknél megfelelő részecskesugarakkal határozott frakciók mennyiségét. Ebből megszerkeszthető a granulometriai görbe, melynek abszcisszáján a részecskesugár, ordinátáján pedig az adott r -nél nagyobb részecskék százalékát tüntetjük fel.

Az Andreasen-féle ülepitő készülék egy üveghenger [23]. Ebbe csiszolt dugóval illeszkedik egy 10 ml-es pipetta, mely a henger, mely a henger aljától kb. 4 cm távolságban végződik. A pipetta egy háromfuratú csappal ellátott elzárható oldalcsövön üríthető ki. Mérés előtt a készüléket kalibrálni kell: meghatározzuk a h eredeti ülepedési magasságot, az egyes frakciók elkülönítésekor bekövetkező szintcsökkenést és ennek átlagát, valamint a pipetta térfogatát.

2.3. A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvényének meghatározása

A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvényét un. impulzus módszerrel határoztam meg /ld. 1.3./. A módszer lényege: a betáplálás helyén a folyadékáramba impulzusszerűen jelzőanyagot juttatunk és az ülepitő csatorna végén vett mintákban mérjük a jelzőanyag koncentrációját.

Jelzőanyagként Erioglaucin-A nevű festék 0,04 g cm^{-3} töménységű oldatát használtam. Ebből 0,5 cm^3 -t fecskendőből a folyadékáramba juttattam. A folyadék állandó, egyenletes adagolását S-32-es típusú, lengyel gyártmányú perisztaltikus szivattyú biztosította. A betáplált folyadék 4 s%-os NaCl oldat volt. A só-oldat adagolására a sűrűségviszonyok kiegyenlítése céljából volt szükség. A festékoldat sűrűsége ugyanis nagyobb a vizénél és víz betáplálás esetén ez azt okozná, hogy a festék tetemes része beadagolás után azonnal leülepedne az ülepitő medence aljára. A festékoldat piknométerrel meghatározott sűrűsége 1,02 g cm^{-3} -nek adódott, ez megfelel a 4 s%-os NaCl oldat sűrűségének.

Spektromom 203 típusú spektrofotométerrel meghatároztam az Erioglaucin-A festék fényelnyelési maximumát, mely 640 nm-nek adódott. Ezen a hullámhosszon felvettem a kalibrációs görbét, amely 0,0 - 0,02 g/l-es koncentrációtartományban követte a Lambert-Beer törvényt.

Az ülepitő csatorna végén kezdetben 1/4, majd 1/2, illetve 1 percig gyűjtöttem a mintákat. Festéktartalmukat extinkcióméréssel határoztam meg. A kapott koncentráció értékeket az idő függvényében ábrázolva a tartózkodási idő eloszlásának sűrűségfüggvényével arányos görbéket kapunk. Ebből az $E(t)$ függvény w/M -mel történő normálással nyerhető /ld. /11/ egyenlet/.

2.4. Az ülepitő berendezés áramlástani vizsgálata

Az ülepitő berendezésben kialakuló áramlási viszonyokat 3 különböző betáplálási sebességnél vizsgáltam:

$$w_1 = 1,08 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$w_2 = 3,16 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$w_3 = 4,66 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}\text{-nél.}$$

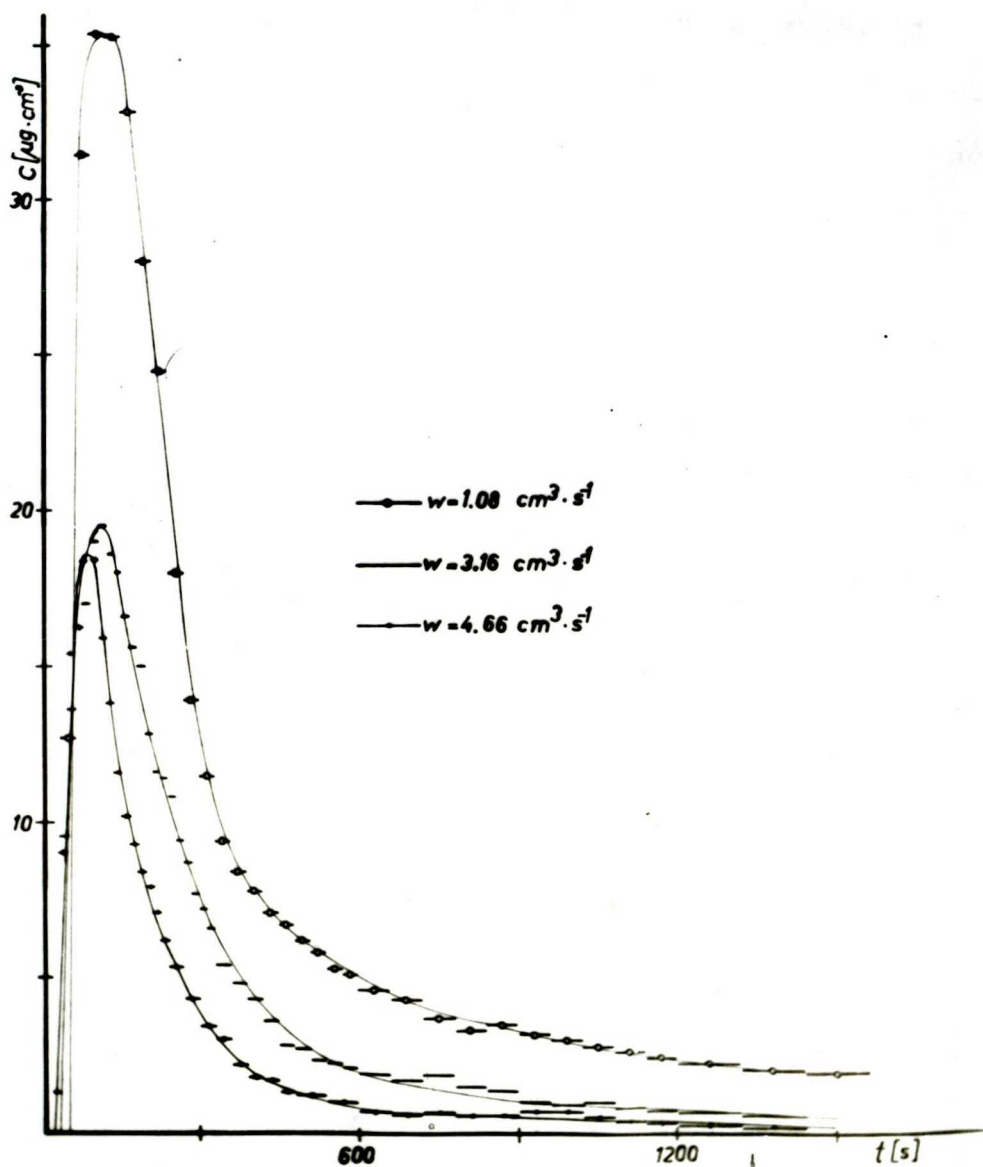
Az áramlási sebességek megválasztásánál az alábbi szempontokat vettem figyelembe. Kisebb térfogati áramlási sebesség nem látszik célszerűnek, ha a

berendezés ipari felhasználását tekintjük. Kis betáplálási sebességnél ugyanis nem gazdaságos egy ilyen típusú ülepitő berendezés működtetése. Jóllehet a frakcionálás valószínűleg szelektivebb lenne és finomabb szemcseméret eloszlású szuszpenzió távozna az ülepitőből, de ez egyben az igen nagymértékű felhigulást is jelentené, ami a bentonit további feldolgozása szempontjából nem kívánatos /pl. szárításnál nagy tömegű vizet kell elpárologtatni/.

A lamináris áramlás és ezáltal a zavartalan ülepedés biztosítása érdekében a betáplálás sebességét nem célszerű nagyobbra választani, annál is inkább, mert ez már az elválasztás jóságának rovására megy.

A három különböző betáplálási sebességnél felvett jelzőanyag koncentráció vs. idő görbéket az 5. ábrán tüntettük fel. /A mérési pontok paralel mérések átlagai./

Mint látható, az első mérhető festéknyomok igen hamar $t_{0,1} = 45$ s; $t_{0,2} = 30$ s ill. $t_{0,3} = 15$ s múlva megjelennek a berendezést elhagyó folyadékban. Ezt a térfogati áramlási sebesség alapján vártnál sokkal korábbi megjelenést csak a betáplálás helyénél ki-képzett réssel tudjuk magyarázni. A rés gyorsító



5. ábra: Jelzőanyag koncentráció vs. idő görbék

hatást fejt ki a folyadékreszecskekre, kezdeti horizontális sebességüket megnöveli, mintegy "ráperditi" azokat a legfelső folyadékrétegre.

A görbék felszálló ága igen meredek, a maximum elérése után azonban a csökkenés már lassúbb. Minél kisebb az áramlási sebesség, annál hosszabb a "lecsengő" szakasz. $w_1 = 1,08 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ betáplálási sebességnél pl. a festékkoldat még 90 perc alatt sem ürül ki teljesen az ülepitő berendezésből, koncentrációját viszont csak kb. 40 percig lehet fotometrián követni. Ez azt eredményezi, hogy a tartózkodási idő eloszlásának eloszlásfüggvénye /amely az 1., 2. és 3. táblázatban látható a 3 áramlási sebességnél/ nem éri el az egységet.

A tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvényét a koncentráció vs. idő görbékből w/M -mel történő normalálással kapjuk. Ezek láthatók a 6. ábrán.

1. táblázat

TARTOZKODASI IDOELOSZLAS SURUSEG ES ELOSZLASFUGGVENYE

BEADAGOLT FESTEK MENNYISEG : 2.0000E-02 G
 TERFOGATI ARAMLASI SEBESSEG : 1.0830E+00 CM3 S-1
 ATLAGOS TARTOZKODASI IDOE : 4.0228E+02 S
 TARTOZKODASI IDOE SZORASA : 5.5250E+02

IDOE /S/	MERT KONC. /G CM-3/	SURUSEG FV. /S-1/	ELOSZLAS FV.
4.2000E+01	0.0000E-01	0.0000E-01	0.0000E-01
1.6800E+02	3.2700E-05	1.7707E-03	1.9661E-01
2.9400E+02	1.3000E-05	7.0395E-04	3.5092E-01
4.2000E+02	7.5000E-06	4.0612E-04	4.1631E-01
5.4600E+02	5.6500E-06	3.0595E-04	4.6083E-01
6.7200E+02	4.4000E-06	2.3826E-04	4.9489E-01
7.9800E+02	3.5000E-06	1.8952E-04	5.2184E-01
9.2400E+02	3.0000E-06	1.6245E-04	5.4390E-01
1.0500E+03	2.6000E-06	1.4079E-04	5.6300E-01
1.1760E+03	2.4500E-06	1.3267E-04	5.8023E-01
1.3020E+03	2.1800E-06	1.1805E-04	5.9607E-01
1.4280E+03	1.9000E-06	1.0288E-04	6.1004E-01
1.5540E+03	1.7000E-06	9.2055E-05	6.2234E-01
1.6800E+03	1.4800E-06	8.0142E-05	6.3330E-01
1.8060E+03	1.2000E-06	6.4980E-05	6.4238E-01
1.9320E+03	1.0500E-06	5.6858E-05	6.5005E-01
2.0580E+03	9.3000E-07	5.0360E-05	6.5674E-01
2.1840E+03	8.5000E-07	4.6028E-05	6.6279E-01
2.3100E+03	7.7500E-07	4.1966E-05	6.6834E-01
2.4360E+03	7.0000E-07	3.7905E-05	6.7337E-01
2.5620E+03	6.0000E-07	3.2490E-05	6.7787E-01
2.6880E+03	5.0000E-07	2.7075E-05	6.8157E-01
2.8140E+03	4.0000E-07	2.1660E-05	6.8462E-01
2.9400E+03	2.7500E-07	1.4891E-05	6.8687E-01
3.0660E+03	1.8000E-07	9.7470E-06	6.8843E-01
3.1920E+03	9.5000E-08	5.1442E-06	6.8927E-01
3.3180E+03	7.6000E-08	4.1154E-06	6.8985E-01
3.4440E+03	5.0000E-08	2.7075E-06	6.9028E-01
3.5700E+03	2.0000E-08	1.0830E-06	6.9052E-01

2. táblázat

TARTOZKODASI IDOEELOSZLAS SURUSEG ES ELOSZLASFUGGVENYE

BEADAGOLT FESTEK MENNYISEG : 2.0000E-02 G
 TERFOGATI ARAMLASI SEBESSEG : 3.1660E+00 CM3 S-1
 ATLAGOS TARTOZKODASI IDOE : 3.5309E+02 S
 TARTOZKODASI IDOE SZORASA : 3.9281E+02

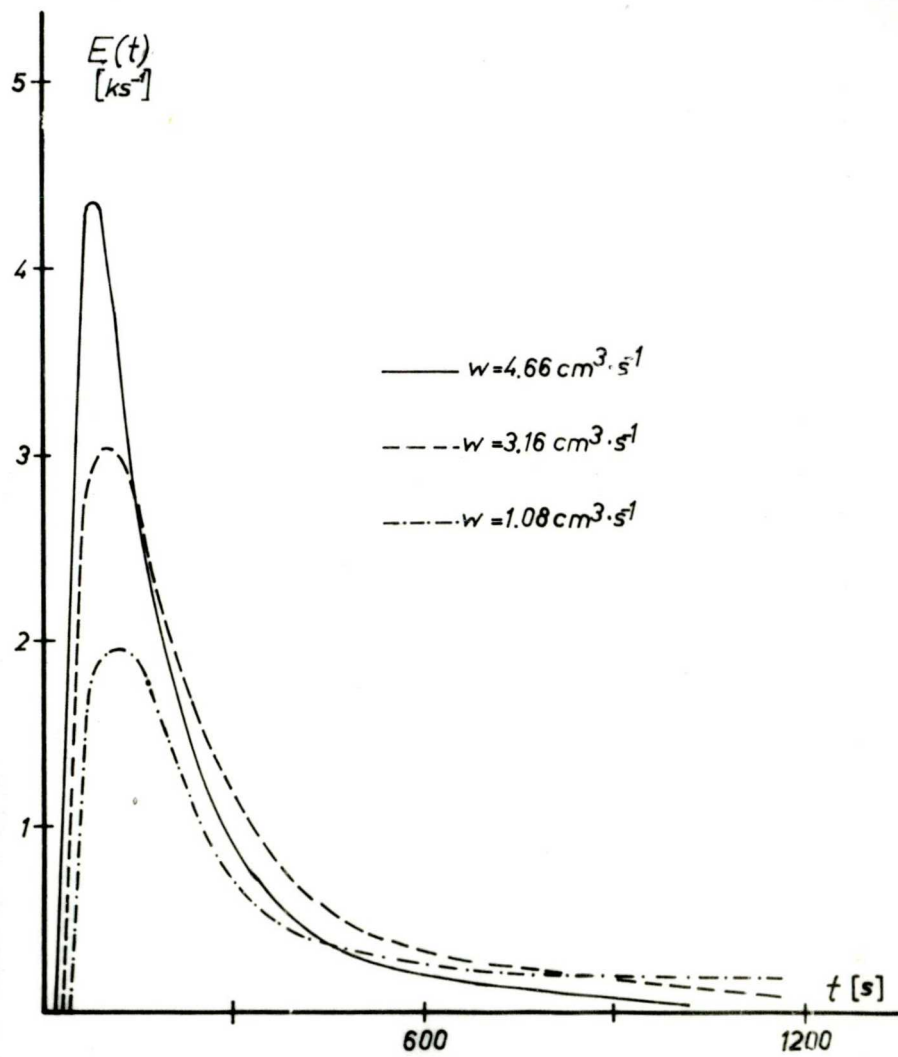
IDOE /S/	MERT KONC. /G CM-3/	SURUSEG FV. /S-1/	ELOSZLAS FV.
3.0000E+01	0.0000E-01	0.0000E-01	0.0000E-01
1.2000E+02	1.9400E-05	3.0710E-03	2.1228E-01
2.1000E+02	1.2400E-05	1.9629E-03	4.4023E-01
3.0000E+02	7.6000E-06	1.2031E-03	5.7985E-01
3.9000E+02	4.4000E-06	6.9652E-04	6.6249E-01
4.8000E+02	2.9500E-06	4.6698E-04	7.1366E-01
5.7000E+02	2.3000E-06	3.6409E-04	7.5058E-01
6.6000E+02	1.9000E-06	3.0077E-04	7.8026E-01
7.5000E+02	1.5500E-06	2.4536E-04	8.0460E-01
8.4000E+02	1.3000E-06	2.0579E-04	8.2500E-01
9.3000E+02	1.1000E-06	1.7413E-04	8.4195E-01
1.0200E+03	8.5000E-07	1.3455E-04	8.5560E-01
1.1100E+03	6.5000E-07	1.0290E-04	8.6629E-01
1.2000E+03	5.5000E-07	8.7065E-05	8.7474E-01
1.2900E+03	5.0500E-07	7.9942E-05	8.8216E-01
1.3800E+03	4.9500E-07	7.8358E-05	8.8928E-01
1.4700E+03	4.8000E-07	7.5984E-05	8.9626E-01
1.5600E+03	4.2500E-07	6.7277E-05	9.0278E-01
1.6500E+03	3.8800E-07	6.1420E-05	9.0855E-01
1.7400E+03	3.2500E-07	5.1448E-05	9.1369E-01
1.8300E+03	2.9000E-07	4.5907E-05	9.1805E-01
1.9200E+03	2.5000E-07	3.9575E-05	9.2197E-01
2.0100E+03	2.0000E-07	3.1660E-05	9.2510E-01
2.1000E+03	1.7500E-07	2.7703E-05	9.2775E-01
2.1900E+03	1.1000E-07	1.7413E-05	9.2973E-01
2.2800E+03	8.0000E-08	1.2664E-05	9.3108E-01
2.3700E+03	2.5000E-08	3.9575E-06	9.3193E-01

3. táblázat

TARTOZKODASI IDOELOSZLAS SURUSEG ES ELOSZLASFUGGVENYE

BEADAGOLT FESTEK MENNYISEG : 2.0000E-02 G
 TERFOGATI ARAMLASI SEBESSEG : 4.6660E+00 CM3 S-1
 ATLAGOS TARTOZKODASI IDOE : 1.8794E+02 S
 TARTOZKODASI IDOE SZORASA : 1.9037E+02

IDOE /S/	MERT KONC. /G CM-3/	SURUSEG FV. /S-1/	ELOSZLAS FV.
1.5000E+01	0.0000E-01	0.0000E-01	0.0000E-01
6.0000E+01	1.7000E-05	3.9661E-03	7.8739E-02
1.0500E+02	1.7500E-05	4.0827E-03	2.6946E-01
1.5000E+02	1.1000E-05	2.5663E-03	4.1557E-01
1.9500E+02	8.1000E-06	1.8897E-03	5.1355E-01
2.4000E+02	5.9000E-06	1.3765E-03	5.8687E-01
2.8500E+02	4.2000E-06	9.7986E-04	6.3936E-01
3.3000E+02	3.2000E-06	7.4656E-04	6.7803E-01
3.7500E+02	2.3000E-06	5.3659E-04	7.0690E-01
4.2000E+02	1.8000E-06	4.1994E-04	7.2825E-01
4.6500E+02	1.4800E-06	3.4528E-04	7.4553E-01
5.1000E+02	1.2000E-06	2.7996E-04	7.5967E-01
5.5500E+02	1.0500E-06	2.4496E-04	7.7148E-01
6.0000E+02	8.8000E-07	2.0530E-04	7.8151E-01
6.4500E+02	7.5000E-07	1.7497E-04	7.8992E-01
6.9000E+02	6.0000E-07	1.3998E-04	7.9701E-01
7.3500E+02	5.4000E-07	1.2598E-04	8.0296E-01
7.8000E+02	5.0000E-07	1.1665E-04	8.0845E-01
8.2500E+02	4.9000E-07	1.1432E-04	8.1367E-01
8.7000E+02	4.2000E-07	9.7986E-05	8.1852E-01
9.1500E+02	3.9500E-07	9.2154E-05	8.2278E-01
9.6000E+02	3.6000E-07	8.3988E-05	8.2681E-01
1.0050E+03	3.0500E-07	7.1157E-05	8.3028E-01
1.0500E+03	2.8500E-07	6.6490E-05	8.3336E-01
1.0950E+03	2.0000E-07	4.6660E-05	8.3587E-01
1.1400E+03	1.2500E-07	2.9162E-05	8.3758E-01
1.1850E+03	5.0000E-08	1.1665E-05	8.3850E-01



6. ábra: A tartózkodási idő eloszlásának sűrűségfüggvénye

A csökkenő betáplálási sebességek felé haladva a görbék kiszélesedése arra utal, hogy az /5/ formula szerinti sebességprofil változás a különböző áramló rétegek között több cm-es lemaradást okoz, egyre inkább számolni kell a diszperzió fellépésével. /A molekuláris diffúzió, $D = 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ értékkel számolva, csupán 1 mm-es diffúziós utat eredményez, ezzel a hatással tehát nem kell számolni./

A tartózkodási idő eloszlásának sűrűségfüggvényéből a számítógép segítségével számolt átlagos tartózkodási időnek, a tartózkodási idő szórásának és az áramló réteg átlagos vastagságának alakulását a 3 áramlási sebességnél a 4. összefoglaló táblázat mutatja.

4. táblázat

Térfogati áramlási sebesség $\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$	Átlagos tartózkodási idő s	Tartózkodási idő szórása	Átlagos rétegvastagság cm
1,083	402,3	552,5	0,218
3,166	353,1	392,8	0,559
4,666	187,9	190,4	0,384

Az áramló réteg átlagos vastagságát felhasználva, a /2/ formula alapján kiszámítható a Reynolds-szám, ez azonban csak közelítő adatot szolgáltat az áramlás jellemzésére.

5. táblázat

Térfogati áramlási sebesség $\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$	Közepes áramlási sebesség cm s^{-1}	d_{ekv} cm	Re
1,083	0,497	0,835	42,34
3,166	0,566	2,012	116,18
4,666	1,065	1,611	175,04

Az értékekből azonban így is kitűnik, hogy az áramlás a lamináris tartományon belül marad.

2.5. Ca-Na-bentonit szuszpenzió ülepitése

A 2.1. fejezetben leírt módon elkészített Ca-Na-bentonit szuszpenziót a megfelelő betáplálási sebességgel folyamatosan adagoltam az ülepitő berendezésbe. 30 perces működtetés után az ülepitőt elhagyó finom frakciót elkülönítettem. Ebből meghatároztam a szuszpenzió szárazanyag tartalmát és Andreasen-készülékkel felvettem a granulometriai görbéket.

A szárazanyag tartalomnak a frakcionált ülepités hatására bekövetkező változását a 6. táblázat tünteti fel.

6. táblázat

Betáplálás sebes- sége	Betápl. szuszp. száraz- anyag tart.	Az ülepitőt elhagyó		Akkumu- láció
		szuszp. száraz- anyag tart.	anyag- hányad	
cm ³ s ⁻¹	g/100 cm ³	g/100 cm ³	%	g/100 cm ³
1,083	1,006	0,766	76,1	0,240
3,166	1,006	0,826	82,1	0,180
4,666	0,926	0,805	86,9	0,121

Már ezekből az adatokból is látható volt, hogy az ülepités során a legkisebb áramlási sebességnél következett be a legnagyobb elválasztás.

A frakcionálás jóságára a szemcseméret analízisből következtethetünk. A betáplált szuszpenzió, valamint az ülepitőt elhagyó szuszpenziók részecskeméret eloszlását, illetve az eloszlás sűrűségfüggvényét a 7., 8., 9. és 10. táblázat tartalmazza.

7. táblázat

EREDETI SZUSZP. SZEMCSEMERET ELŐSZL. ES SURUSEGFV.-E

RESZECSKE SUGAR /CM/	GRANULOMETRIAI GÖRBE	SZEMCSEMERET ELŐSZLASFV.	SURUSEG- FÜGGVÉNY
-3.00E-05		-1.50E-01	
-2.00E-05		-1.00E-01	
-1.00E-05		-5.00E-02	
-4.44E-16	1.00E+00	0.00E-01	1.37E+04
1.00E-05	7.75E-01	2.25E-01	1.71E+04
2.00E-05	6.10E-01	3.90E-01	1.71E+04
3.00E-05	5.00E-01	5.00E-01	1.14E+04
4.00E-05	3.60E-01	6.40E-01	7.18E+03
5.00E-05	3.40E-01	6.60E-01	3.16E+03
6.00E-05	3.25E-01	6.75E-01	5.44E+02
7.00E-05	3.08E-01	6.92E-01	1.47E+03
8.00E-05	2.95E-01	7.05E-01	1.50E+03
9.00E-05	2.80E-01	7.20E-01	1.34E+03
1.00E-04	2.66E-01	7.34E-01	1.09E+03
1.10E-04	2.58E-01	7.42E-01	9.17E+02
1.20E-04	2.50E-01	7.50E-01	8.94E+02
1.30E-04	2.38E-01	7.62E-01	9.82E+02
1.40E-04	2.30E-01	7.70E-01	1.02E+03
1.50E-04	2.20E-01	7.80E-01	9.01E+02
1.60E-04	2.10E-01	7.90E-01	7.50E+02
1.70E-04	2.05E-01	7.95E-01	5.81E+02
1.80E-04	2.00E-01	8.00E-01	5.38E+02
1.90E-04	1.93E-01	8.07E-01	5.99E+02
2.00E-04	1.88E-01	8.12E-01	5.00E+02
2.10E-04	1.83E-01	8.17E-01	4.01E+02
2.20E-04	1.80E-01	8.20E-01	4.27E+02
2.30E-04	1.75E-01	8.25E-01	4.64E+02
2.40E-04	1.70E-01	8.30E-01	4.58E+02
2.50E-04	1.66E-01	8.34E-01	3.50E+02
2.60E-04	1.63E-01	8.37E-01	3.18E+02
2.70E-04	1.60E-01	8.40E-01	3.32E+02
2.80E-04	1.56E-01	8.44E-01	3.23E+02
2.90E-04	1.53E-01	8.47E-01	3.62E+02
3.00E-04	1.50E-01	8.50E-01	3.55E+02
3.10E-04	1.45E-01	8.55E-01	3.41E+02
3.20E-04	1.43E-01	8.57E-01	3.04E+02
3.30E-04	1.40E-01	8.60E-01	2.47E+02
3.40E-04		8.63E-01	
3.50E-04		8.65E-01	
3.60E-04		8.68E-01	



8. táblázat

$$w_1 = 1,083 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

AZ ULEPITETT SZUSZPENZIO SZEMCSEMERET ELOSZLAS- ES SURUSEG FUGGVENYE

RESZECSKE- SUGAR (CM)	SURUSEG FUGGVENY	ELOSZLAS FUGGVENY	SZAMITOTT GRAN. GOERBE	MERT GRAN. GOERBE	ELTERES MERT-SZAM.
-4.4409E-16	2.0017E+04	0.0000E-01	1.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E-01
1.0000E-05	2.5073E+04	2.2545E-01	7.7455E-01	4.0000E-01	-3.7455E-01
2.0000E-05	2.5085E+04	4.7624E-01	5.2376E-01	2.1000E-01	-3.1376E-01
3.0000E-05	1.6717E+04	6.8525E-01	3.1475E-01	1.5500E-01	-1.5975E-01
4.0000E-05	1.0508E+04	8.2138E-01	1.7862E-01	1.2000E-01	-5.8623E-02
5.0000E-05	3.1685E+03	8.8976E-01	1.1024E-01	9.8000E-02	-1.2239E-02
6.0000E-05	5.1939E+02	9.0820E-01	9.1800E-02	7.7000E-02	-1.4800E-02
7.0000E-05	1.3129E+03	9.1736E-01	8.2638E-02	6.3000E-02	-1.9638E-02
8.0000E-05	1.2521E+03	9.3019E-01	6.9813E-02	5.4000E-02	-1.5813E-02
9.0000E-05	1.0531E+03	9.4171E-01	5.8287E-02	4.4000E-02	-1.4287E-02
1.0000E-04	8.0505E+02	9.5100E-01	4.8996E-02	3.5000E-02	-1.3996E-02
1.1000E-04	6.3521E+02	9.5821E-01	4.1795E-02	2.9000E-02	-1.2795E-02
1.2000E-04	5.8057E+02	9.6428E-01	3.5716E-02	2.4000E-02	-1.1716E-02
1.3000E-04	5.9865E+02	9.7018E-01	2.9820E-02	2.0000E-02	-9.8198E-03
1.4000E-04	5.8107E+02	9.7608E-01	2.3921E-02	1.6000E-02	-7.9212E-03
1.5000E-04	4.8188E+02	9.8139E-01	1.8600E-02	1.4000E-02	-4.6064E-03
1.6000E-04	3.7181E+02	9.8566E-01	1.4338E-02	1.3000E-02	-1.3380E-03
1.7000E-04	2.6236E+02	9.8883E-01	1.1167E-02	1.1000E-02	-1.6710E-04
1.8000E-04	2.1768E+02	9.9123E-01	8.7669E-03	1.0000E-02	1.2331E-03
1.9000E-04	2.1401E+02	9.9339E-01	6.6085E-03	9.0000E-03	2.3915E-03
2.0000E-04	1.5611E+02	9.9524E-01	4.7579E-03	8.0000E-03	3.2421E-03
2.1000E-04	1.0859E+02	9.9657E-01	3.4344E-03	7.0000E-03	3.5656E-03
2.2000E-04	9.9585E+01	9.9761E-01	2.3935E-03	6.0000E-03	3.6065E-03
2.3000E-04	9.2245E+01	9.9857E-01	1.4343E-03	5.0000E-03	3.5657E-03
2.4000E-04	7.6189E+01	9.9941E-01	5.9216E-04	4.0000E-03	3.4078E-03
2.5000E-04	4.7266E+01	1.0000E+00	-2.5123E-05	3.0000E-03	3.0251E-03
2.6000E-04	3.4918E+01	1.0004E+00	-4.3604E-04	2.5000E-03	2.9360E-03
2.7000E-04	2.9679E+01	1.0008E+00	-7.5903E-04	2.0000E-03	2.7590E-03
2.8000E-04	2.3542E+01	1.0010E+00	-1.0251E-03	1.0000E-03	2.0251E-03
2.9000E-04	2.1464E+01	1.0013E+00	-1.2502E-03	0.0000E-01	1.2502E-03
3.0000E-04	1.7086E+01	1.0014E+00	-1.4429E-03	0.0000E-01	1.4429E-03
3.1000E-04	1.3266E+01	1.0016E+00	-1.5947E-03	0.0000E-01	1.5947E-03
3.2000E-04	9.5017E+00	1.0017E+00	-1.7085E-03	0.0000E-01	1.7085E-03
3.3000E-04	6.1623E+00	1.0018E+00	-1.7868E-03	0.0000E-01	1.7868E-03

9. táblázat

$$w_2 = 3,166 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

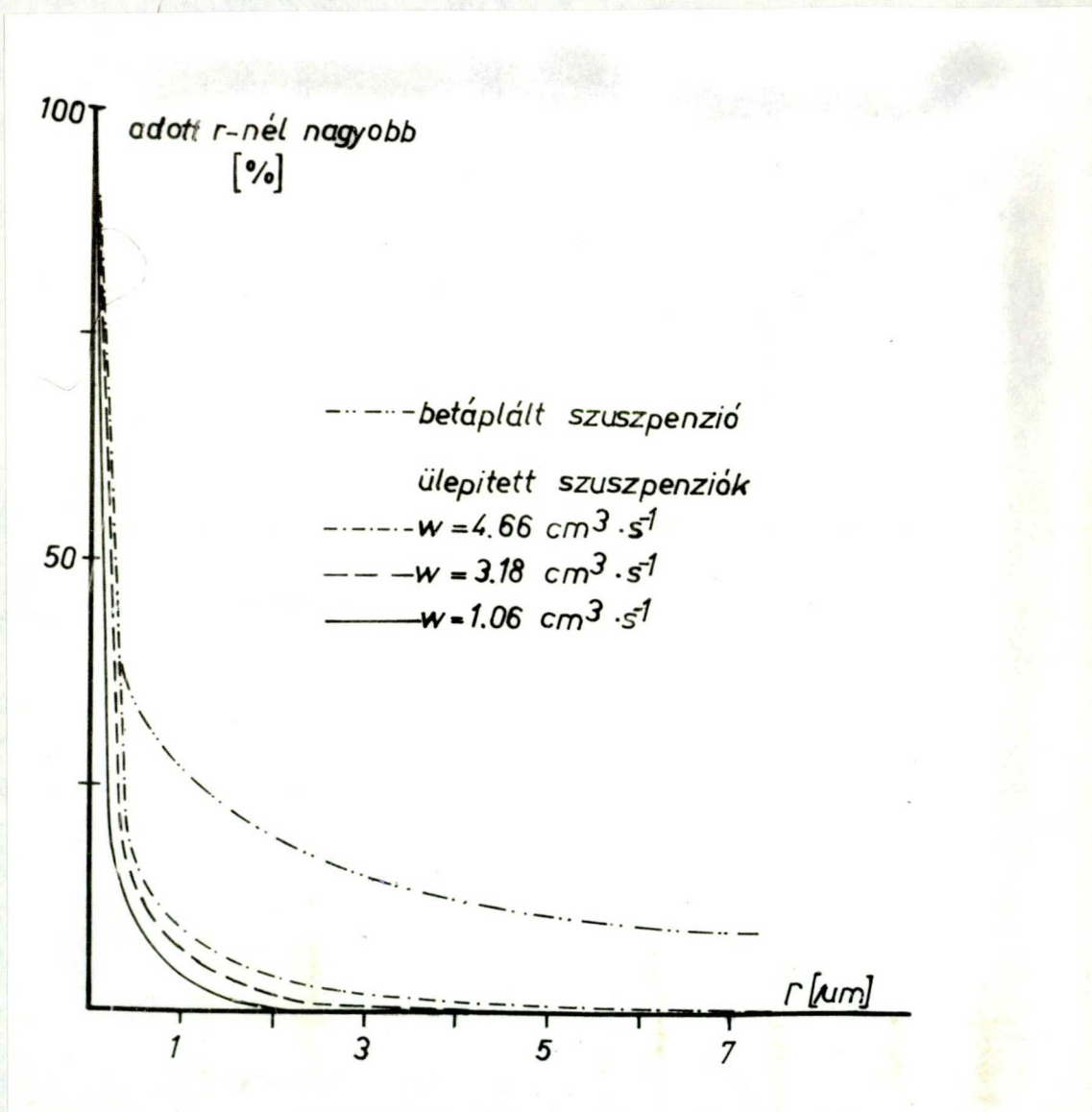
AZ ÜLEPÍTETT SZÜSZPENZIÓ SZEMCSEMERET ELŐSZLÁS- ÉS SÚRUSÉG FÜGGVÉNYE

RESZECSKE- SUGAR (CM)	SÚRUSÉG FÜGGVÉNY	ELŐSZLÁS FÜGGVÉNY	SZÁMITOTT GRAN. GOERBE	MERT GRAN. GOERBE	ELTÉRÉS MERT-SZÁM.
-8.8818E-16	1.5432E+04	0.0000E-01	1.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E-01
2.0000E-05	1.8423E+04	3.3855E-01	6.6145E-01	3.0000E-01	-3.6145E-01
4.0000E-05	1.2605E+04	6.4883E-01	3.5117E-01	1.6500E-01	-1.8617E-01
6.0000E-05	2.7960E+03	8.0284E-01	1.9716E-01	1.1500E-01	-8.2156E-02
8.0000E-05	6.5903E+02	8.3739E-01	1.6261E-01	8.6000E-02	-7.6606E-02
1.0000E-04	1.4116E+03	8.5810E-01	1.4190E-01	6.8000E-02	-7.3900E-02
1.2000E-04	1.2008E+03	8.8422E-01	1.1578E-01	5.0000E-02	-6.5776E-02
1.4000E-04	1.0015E+03	9.0625E-01	9.3753E-02	3.7000E-02	-5.6753E-02
1.6000E-04	8.6248E+02	9.2489E-01	7.5113E-02	2.8000E-02	-4.7113E-02
1.8000E-04	5.8117E+02	9.3932E-01	6.0677E-02	2.0000E-02	-4.0677E-02
2.0000E-04	4.5023E+02	9.4964E-01	5.0363E-02	1.6000E-02	-3.4363E-02
2.2000E-04	4.1358E+02	9.5828E-01	4.1725E-02	1.4000E-02	-2.7725E-02
2.4000E-04	3.2978E+02	9.6571E-01	3.4291E-02	1.2000E-02	-2.2291E-02
2.6000E-04	2.6856E+02	9.7169E-01	2.8308E-02	1.1000E-02	-1.7308E-02
2.8000E-04	2.1148E+02	9.7649E-01	2.3507E-02	1.0000E-02	-1.3507E-02
3.0000E-04	1.9175E+02	9.8053E-01	1.9475E-02	8.0000E-03	-1.1475E-02
3.2000E-04	1.6062E+02	9.8405E-01	1.5951E-02	7.0000E-03	-8.9512E-03
3.4000E-04	1.2264E+02	9.8688E-01	1.3119E-02	5.0000E-03	-8.1186E-03
3.6000E-04	8.4218E+01	9.8895E-01	1.1050E-02	4.0000E-03	-7.0500E-03
3.8000E-04	6.1932E+01	9.9041E-01	9.5885E-03	2.0000E-03	-7.5885E-03
4.0000E-04	5.3268E+01	9.9156E-01	8.4365E-03	1.0000E-03	-7.4365E-03
4.2000E-04	5.0004E+01	9.9260E-01	7.4038E-03	0.0000E-01	-7.4038E-03
4.4000E-04	4.7505E+01	9.9357E-01	6.4267E-03	0.0000E-01	-6.4287E-03

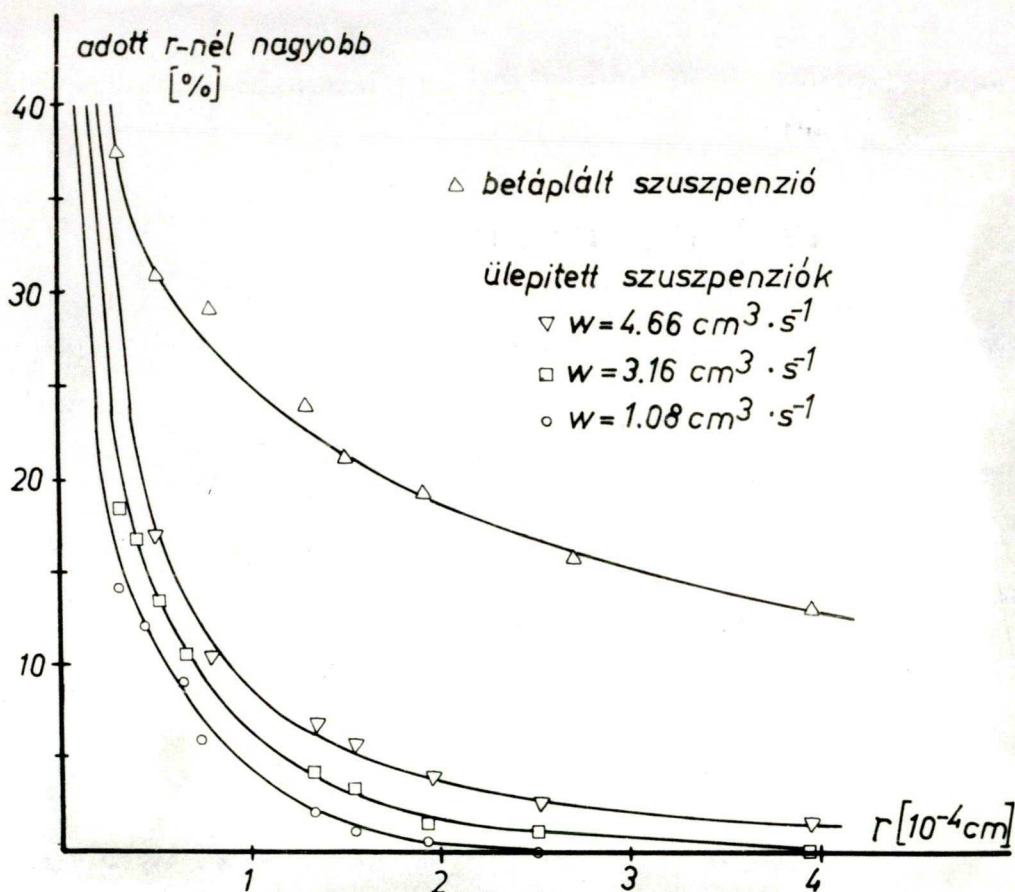
AZ ULÉPÍTETT SZÜSZPENZIÓ SZEMCSEMERET ELOSZLAS- ES SÚRÚSÉG FÜGGVÉNYE

RESZECSKE- SUGAR (CM)	SÚRÚSÉG FÜGGVÉNY	ELOSZLAS FÜGGVÉNY	SZAMITOTT GRAN. GOERBE	MERT GRAN. GOERBE	ELTERES MERT-SZAM.
-8.8818E-16	1.5375E+04	0.0000E-01	1.0000E+00	1.0000E+00	0.0000E-01
2.0000E-05	1.8354E+04	3.3729E-01	6.6271E-01	5.0000E-01	-1.6271E-01
4.0000E-05	1.2558E+04	6.4642E-01	3.5358E-01	2.0000E-01	-1.5358E-01
6.0000E-05	2.7856E+03	7.9986E-01	2.0014E-01	1.4500E-01	-5.5139E-02
8.0000E-05	6.5658E+02	8.3428E-01	1.6572E-01	1.1000E-01	-5.5717E-02
1.0000E-04	1.5321E+03	8.5617E-01	1.4383E-01	8.5000E-02	-5.8830E-02
1.2000E-04	1.1272E+03	8.8276E-01	1.1724E-01	7.0000E-02	-4.7237E-02
1.4000E-04	9.5065E+02	9.0354E-01	9.6459E-02	5.7000E-02	-3.9459E-02
1.6000E-04	8.3479E+02	9.2140E-01	7.8604E-02	5.0000E-02	-2.8604E-02
1.8000E-04	5.7042E+02	9.3545E-01	6.4552E-02	4.5000E-02	-1.9552E-02
2.0000E-04	4.4537E+02	9.4561E-01	5.4394E-02	3.9000E-02	-1.5394E-02
2.2000E-04	4.0967E+02	9.5416E-01	4.5844E-02	3.5000E-02	-1.0844E-02
2.4000E-04	3.2805E+02	9.6153E-01	3.8467E-02	3.0000E-02	-8.4667E-03
2.6000E-04	2.6898E+02	9.6750E-01	3.2496E-02	2.7000E-02	-5.4964E-03
2.8000E-04	2.1379E+02	9.7233E-01	2.7669E-02	2.5000E-02	-2.6687E-03
3.0000E-04	1.9647E+02	9.7643E-01	2.3566E-02	2.0000E-02	-3.5661E-03
3.2000E-04	1.6698E+02	9.8007E-01	1.9932E-02	1.7000E-02	-2.9315E-03
3.4000E-04	1.2919E+02	9.8303E-01	1.6970E-02	1.5000E-02	-1.9698E-03
3.6000E-04	8.9346E+01	9.8522E-01	1.4784E-02	1.3000E-02	-1.7844E-03
3.8000E-04	6.5383E+01	9.8676E-01	1.3237E-02	1.1000E-02	-2.2371E-03
4.0000E-04	5.5656E+01	9.8797E-01	1.2027E-02	1.0000E-02	-2.0267E-03
4.2000E-04	5.1538E+01	9.8905E-01	1.0955E-02	9.0000E-03	-1.9548E-03
4.4000E-04	4.8009E+01	9.9004E-01	9.9593E-03	8.0000E-03	-1.9593E-03
4.6000E-04	3.5020E+01	9.9087E-01	9.1291E-03	7.5000E-03	-1.6291E-03
4.8000E-04	2.1750E+01	9.9144E-01	8.5614E-03	7.0000E-03	-1.5614E-03
5.0000E-04	1.2626E+01	9.9178E-01	8.2176E-03	7.0000E-03	-1.2176E-03
5.2000E-04	8.0033E+00	9.9199E-01	8.0113E-03	6.5000E-03	-1.5113E-03
5.4000E-04	6.3779E+00	9.9213E-01	7.8675E-03	6.0000E-03	-1.8675E-03
5.6000E-04	4.3392E+00	9.9224E-01	7.7603E-03	5.5000E-03	-2.2603E-03
5.8000E-04	3.7478E+00	9.9232E-01	7.6795E-03	5.0000E-03	-2.6795E-03
6.0000E-04	2.6058E+00	9.9238E-01	7.6159E-03	4.5000E-03	-3.1159E-03
6.2000E-04	1.9069E+00	9.9243E-01	7.5708E-03	4.0000E-03	-3.5708E-03
6.4000E-04	1.3467E+00	9.9246E-01	7.5383E-03	3.0000E-03	-4.5383E-03
6.6000E-04	9.9336E-01	9.9249E-01	7.5149E-03	2.0000E-03	-5.5149E-03
6.8000E-04	5.9734E-01	9.9250E-01	7.4989E-03	1.0000E-03	-6.4989E-03
7.0000E-04	1.7483E-01	9.9251E-01	7.4912E-03	0.0000E-01	-7.4912E-03

Az ülepitő berendezésben bekövetkező méret szerinti frakcionálást a táblázatoknál sokkal szemléletesebben tükrözi a 7/a. ill. 7/b. ábra. Ez utóbbi a 7/a. ábra kinagyított /helyesebben nagyobb léptékben felvett/ részlete.



7/a. ábra: A betáplált ill. az ülepitőt elhagyó szuszpenziók granulometriai görbéi

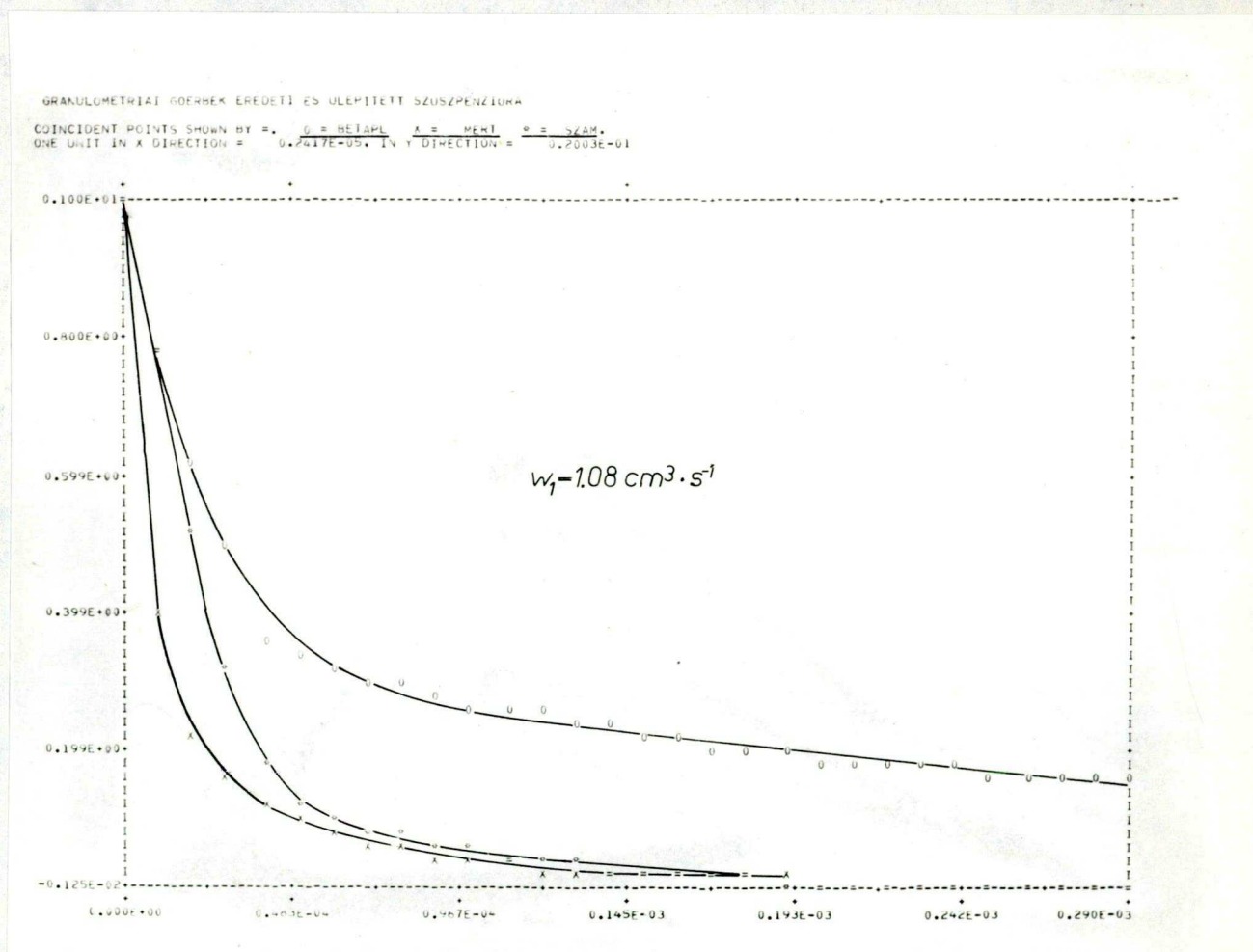


7/b. ábra: A granulometriai görbék /7/a. ábra/ kinagyított részlete

Az ábrákból kitűnik, hogy a legkisebb betáplálási sebességgel ülepített szuszpenzió gyakorlatilag csak $2 \mu\text{m}$ alatti részecsquesugarú bentonitot tartalmaz, a kívánt frakcionálást tehát ülepítő berendezésünkben ezzel az áramlási sebességgel lehet a legjobban megvalósítani.

2.6. A mérés és a számítógépi közelítés eredményeinek összehasonlítása

Az 1.5. fejezetben részletesen ismertetett számítógépi közelítés eredményeit a 8., 9. és 10., valamint a 11., 12. és 13. táblázat, ill. a számítógép által rajzolt 8., 9. és 10. ábra tünteti fel.



8. ábra: Granulometria i görbék

/0 : betáplált; X : mért; = : számított/

11. táblázat

ATLAGOS TARTOZKODASI IDOE : 4.0228E+02 S
 ARAMLO RETEG VASTAGSAGA : 2.1783E-01 CM
 (ULEPEDESI MAGASSAG)

RESZECSKE- SUGAR (CM)	ULEPEDESI IDOE (S)	I N T E R P O L A L T ELOSZLAS	SURUSEG
-4.4409E-16	3.6096E+25	1.0000E+00	1.3683E+04
1.0000E-05	7.1188E+04	1.0000E+00	1.7139E+04
2.0000E-05	1.7797E+04	1.0000E+00	1.7147E+04
3.0000E-05	7.9098E+03	1.0000E+00	1.1427E+04
4.0000E-05	4.4492E+03	1.0000E+00	7.1829E+03
5.0000E-05	2.8475E+03	6.8531E-01	2.1658E+03
6.0000E-05	1.9774E+03	6.5257E-01	3.5503E+02
7.0000E-05	1.4528E+03	6.1256E-01	8.9746E+02
8.0000E-05	1.1123E+03	5.7165E-01	8.5589E+02
9.0000E-05	8.7886E+02	5.3637E-01	7.1984E+02
1.0000E-04	7.1188E+02	5.0408E-01	5.5029E+02
1.1000E-04	5.8833E+02	4.7326E-01	4.3420E+02
1.2000E-04	4.9436E+02	4.4408E-01	3.9685E+02
1.3000E-04	4.2123E+02	4.1681E-01	4.0921E+02
1.4000E-04	3.6320E+02	3.9129E-01	3.9719E+02
1.5000E-04	3.1639E+02	3.6550E-01	3.2939E+02
1.6000E-04	2.7808E+02	3.3887E-01	2.5415E+02
1.7000E-04	2.4632E+02	3.0848E-01	1.7934E+02
1.8000E-04	2.1972E+02	2.7652E-01	1.4879E+02
1.9000E-04	1.9720E+02	2.4414E-01	1.4629E+02
2.0000E-04	1.7797E+02	2.1341E-01	1.0671E+02
2.1000E-04	1.6142E+02	1.8520E-01	7.4228E+01
2.2000E-04	1.4708E+02	1.5942E-01	6.8071E+01
2.3000E-04	1.3457E+02	1.3592E-01	6.3054E+01
2.4000E-04	1.2359E+02	1.1363E-01	5.2079E+01
2.5000E-04	1.1390E+02	9.2206E-02	3.2309E+01
2.6000E-04	1.0531E+02	7.4997E-02	2.3868E+01
2.7000E-04	9.7651E+01	6.1079E-02	2.0287E+01
2.8000E-04	9.0801E+01	4.9757E-02	1.6092E+01
2.9000E-04	8.4647E+01	4.0496E-02	1.4672E+01
3.0000E-04	7.9098E+01	3.2884E-02	1.1679E+01
3.1000E-04	7.4077E+01	2.6601E-02	9.0677E+00
3.2000E-04	6.9519E+01	2.1395E-02	6.4949E+00
3.3000E-04	6.5370E+01	1.7066E-02	4.2122E+00

AZ ULEPITOET ELHAGYO SZUSZPENZIO TOEMEGHANYADA : 6.8355E-01

12. táblázat

ATLAGOS TARTOZKODASI IDOE : 3.5309E+02 S
 ARAMLO RETEG VASTAGSAGA : 5.5894E-01 CM
 (ULEPEDESI MAGASSAG)

RESZECSKE- SUGAR (CM)	ULEPEDESI IDOE (S)	I N T E R P O L A L T ELOSZLAS	SURUSEG
-8.8818E-16	2.3155E+25	1.0000E+00	1.1300E+04
2.0000E-05	4.5665E+04	1.0000E+00	1.3489E+04
4.0000E-05	1.1416E+04	1.0000E+00	9.2296E+03
6.0000E-05	5.0739E+03	1.0000E+00	2.0472E+03
8.0000E-05	2.8541E+03	1.0000E+00	4.8254E+02
1.0000E-04	1.8266E+03	9.1789E-01	1.0335E+03
1.2000E-04	1.2685E+03	8.8044E-01	8.7922E+02
1.4000E-04	9.3195E+02	8.4229E-01	7.3333E+02
1.6000E-04	7.1352E+02	7.9530E-01	6.3150E+02
1.8000E-04	5.6377E+02	7.4832E-01	4.2553E+02
2.0000E-04	4.5665E+02	7.0223E-01	3.2966E+02
2.2000E-04	3.7740E+02	6.5363E-01	3.0282E+02
2.4000E-04	3.1712E+02	5.9950E-01	2.4146E+02
2.6000E-04	2.7021E+02	5.4097E-01	1.9664E+02
2.8000E-04	2.3299E+02	4.8264E-01	1.5485E+02
3.0000E-04	2.0296E+02	4.2627E-01	1.4040E+02
3.2000E-04	1.7838E+02	3.7232E-01	1.1760E+02
3.4000E-04	1.5801E+02	3.2144E-01	8.9799E+01
3.6000E-04	1.4094E+02	2.7382E-01	6.1664E+01
3.8000E-04	1.2650E+02	2.3156E-01	4.5347E+01
4.0000E-04	1.1416E+02	1.9482E-01	3.9003E+01
4.2000E-04	1.0355E+02	1.6272E-01	3.6613E+01
4.4000E-04	9.4350E+01	1.3454E-01	3.4783E+01

AZ ULEPITOET ELHAGYO SZUSZPENZIO TOEMEGHANYADA : 7.3220E-01

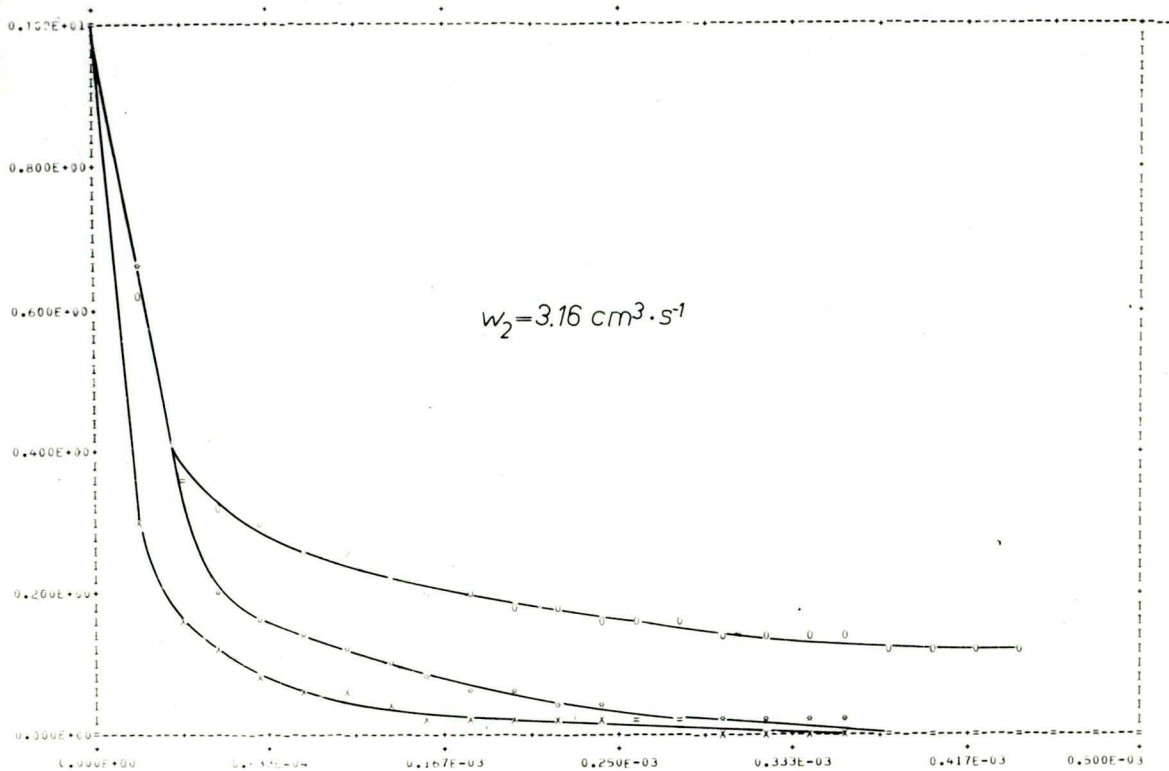
13. táblázat

ATLAGOS TARTOZKODASI IDOE : 1.8794E+02 S
 ARAMLO RETEG VASTAGSAGA : 4.3847E-01 CM
 (ULEPEDESI MAGASSAG)

RESZECSKE- SUGAR (CM)	ULEPEDESI IDOE (S)	I N T E R P O L A L T ELOSZLAS	SURUSEG
-8.8818E-16	1.8164E+25	1.0000E+00	1.1300E+04
2.0000E-05	3.5823E+04	1.0000E+00	1.3489E+04
4.0000E-05	8.9558E+03	1.0000E+00	9.2296E+03
6.0000E-05	3.9803E+03	1.0000E+00	2.0472E+03
8.0000E-05	2.2389E+03	1.0000E+00	4.8654E+02
1.0000E-04	1.4329E+03	1.0000E+00	1.1260E+03
1.2000E-04	9.9508E+02	8.2957E-01	8.2841E+02
1.4000E-04	7.3108E+02	8.0247E-01	6.9866E+02
1.6000E-04	5.5974E+02	7.7264E-01	6.1352E+02
1.8000E-04	4.4226E+02	7.3721E-01	4.1922E+02
2.0000E-04	3.5823E+02	6.9724E-01	3.2732E+02
2.2000E-04	2.9606E+02	6.4986E-01	3.0108E+02
2.4000E-04	2.4877E+02	5.9857E-01	2.4109E+02
2.6000E-04	2.1197E+02	5.4385E-01	1.9768E+02
2.8000E-04	1.8277E+02	4.8972E-01	1.5712E+02
3.0000E-04	1.5921E+02	4.3839E-01	1.4439E+02
3.2000E-04	1.3993E+02	3.8851E-01	1.2272E+02
3.4000E-04	1.2396E+02	3.3987E-01	9.4947E+01
3.6000E-04	1.1056E+02	2.9158E-01	6.5663E+01
3.8000E-04	9.9233E+01	2.4537E-01	4.8052E+01
4.0000E-04	8.9558E+01	2.0431E-01	4.0903E+01
4.2000E-04	8.1231E+01	1.6834E-01	3.7877E+01
4.4000E-04	7.4015E+01	1.3548E-01	3.5283E+01
4.6000E-04	6.7718E+01	1.0891E-01	2.5737E+01
4.8000E-04	6.2193E+01	8.6906E-02	1.5984E+01
5.0000E-04	5.7317E+01	6.9183E-02	9.2793E+00
5.2000E-04	5.2993E+01	5.4796E-02	5.8819E+00
5.4000E-04	4.9140E+01	4.3031E-02	4.6873E+00
5.6000E-04	4.5693E+01	3.3346E-02	3.1890E+00
5.8000E-04	4.2596E+01	2.6392E-02	2.7544E+00
6.0000E-04	3.9803E+01	2.1028E-02	1.9151E+00
6.2000E-04	3.7277E+01	1.6698E-02	1.4014E+00
6.4000E-04	3.4983E+01	1.3197E-02	9.8974E-01
6.6000E-04	3.2895E+01	1.0365E-02	7.3005E-01
6.8000E-04	3.0989E+01	8.0751E-03	4.3900E-01
7.0000E-04	2.9243E+01	6.2268E-03	1.2849E-01

AZ ULEPITOET ELHAGYO SZUSZPENZIO TOEMEGHANYADA : 7.3493E-01

GRANULOMETRIAI GÖRBEK EREDETI ÉS ÜLEPÍTETT SZÜSZPENZIÓRA
 COINCIDENT POINTS SHOWN BY =, $\frac{y}{x} = \frac{REIAPL}{MEH1}$ $\frac{y}{x} = \frac{SZAM}{SZAM}$
 ONE UNIT IN X DIRECTION = $0.4167E-03$ IN Y DIRECTION = $0.2000E-01$

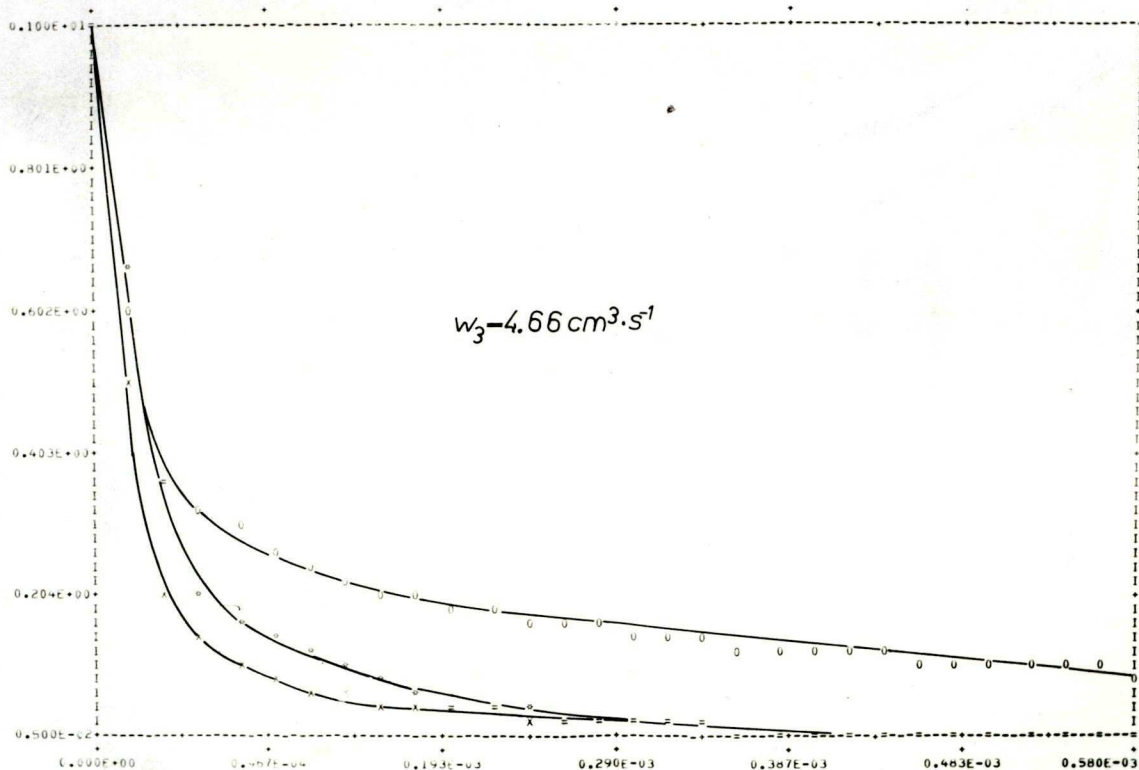


9. ábra: Granulometriali görbék

/O : betáplált; X : mért; ≡ : számított/

GRANULOMETRIAI GÖRBEK EREDETI ÉS BEÁLLÍTOTT SZÜSZPENZIÓRA

COINCIDENT POINTS SHOWN BY * $\frac{U}{U_0} = \frac{MEI}{MEI_0}$ $\frac{X}{X_0} = \frac{MEI}{MEI_0}$ $\frac{S}{S_0} = \frac{SZAM}{SZAM_0}$
 ONE UNIT IN X DIRECTION = $0.4833E-03$ IN Y DIRECTION = $0.1990E-01$



10. ábra: Granulometria görbék

/O : betáplált; X : mért; * : számított/

Mint látható, a számított granulometriai görbe mindhárom esetben a mért fölött fut. Ennek az a magyarázata, hogy az átlagos tartózkodási idő felhasználásával számított L rétegvastagság is csak átlagos érték. Az egyes r_i ($i = 1, 2, \dots$) részecsquesugarakhoz tartozó $t^{\#}(r_i)$ ülepedési idők számításánál ezt a rétegvastagságot vettük figyelembe, mint ülepedési magasságot. Ez meghamisítja az ülepitő berendezésben kialakuló valódi képet. $t^{\#}(r_i)$ számításánál ugyanis úgy tekintjük, mintha csak a legfelső, ($\epsilon \approx 0$) vastagságú szuszpenzió rétegben lennének diszpergált részecskék, ami nem felel meg a valóságnak és kísérlet-technikailag is megvalósíthatatlan körülmény. Az alsóbb rétegben lévő részecskének azonban - azonos sugár esetén - kisebb utat kell megtennie ahhoz, hogy az álló folyadéktömegbe kerüljön. /Szeretnénk felhívni a figyelmet arra, hogy ugyanez az elvi kifogás emelhető az Andreasen féle ülepitő működésével kapcsolatban is. Míg azonban az Andreasen ülepitőnél a kísérlettechnika csekély módosításával ez a hiba elvileg egyszerűen kiküszöbölhető, az általunk alkalmazott készüléknél ezideig megoldhatatlannak bizonyult./

A mért és számított granulometriai görbék nem esnek egybe. Az eltéréseket figyelembe véve is megállapíthatjuk azonban, hogy a számítógépi közelítés elvileg jó, valóban leírható vele az ülepités folyamata az adott ülepitő berendezésben.

Kísérleti eredményeinkből kitűnik, hogy a legjobb elválasztást /azaz kvarcmentesítést, amennyiben a kvarctartalmat a szemcseméret eloszlással hozzuk kapcsolatba/ a legkisebb térfogati áramlási sebességnél $w_1 = 1,08 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ érhetjük el, de még a $w_2 = 3,16 \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ betáplálási sebességnél végzett ülepités is kielégítő frakcionálást biztosít. A nagyobb áramlási sebesség ipari szempontból - pl. az óránkénti termelést tekintve - kedvezőbb.

A vázolt elvet ill. a számítógépi programot hasznosítani lehet hasonló ülepitési feladatokban azok modellezésére, új berendezések tervezésére, valamint meglévő készülékek működési paramétereinek optimalizálására.

Összefoglalás

Munkánk során egy folyamatos üzemi ülepitő berendezés segítségével vizsgáltuk a kvarcmentes bentonit előállításának körülményeit. Erre a célra olyan ülepitő csatorna alkalmas, melyben a folyamatosan betáplált szuszpenzió az ülepitőt megtöltő folyadék tetején, vékony rétegben, laminárisan áramlik. Ilyen körülmények között ugyanis a részecskék ülepedése zavartalan és leírható a Stokes-féle ülepedési egyenlettel.

Egy adott ülepitő berendezés esetén, a betáplálás sebességének alkalmas megválasztásával úgy lehet befolyásolni az átlagos tartózkodási időt, hogy csak egy adott méretnél kisebb szemcsék maradjanak az áramló szuszpenzió rétegben. Ez azt jelenti, hogy a működési paraméterek célszerű beállításával biztosítani lehet a kívánt szemcseméret eloszlást.

Az ismerttetett frakcionálási elvet sikerült megvalósítanunk. Az adott célra alkalmas laboratóriumi ülepitő berendezésben kísérletileg meghatároztuk az elválasztás szempontjából optimális működési paramétereket. Igazoltuk, hogy a folyadék réteg áramlása valóban lamináris, és a termék eloszlása a kívánalmaknak megfelelően szabályozható.

A kísérleti eredmények igazolták az alábbi elméleti számítás alkalmazhatóságát is. A laminárisan áramló rétegnek az áramlási sebesség és az átlagos tartózkodási idő által egyértelműen meghatározott vastagságához a Stokes törvény alapján számítható a kiülepedési idő, mint a szemcsesugár függvénye. Ennek ismeretében és a mért tartózkodási idő eloszlás felhasználásával számítható az az eloszlásfüggvény, ami megadja az r sugarúnál nagyobb részecskék kiülepedésének valószínűségét. Ha ezzel az eloszlásfüggvénnyel súlyozzuk az eredeti szuszpenzió szemcseméret eloszlásának sűrűségfüggvényét, akkor megkapjuk az ülepitőt elhagyó szuszpenzió szemcseméret eloszlásának sűrűségfüggvényét.

A numerikus számításokat elektronikus számítógéppel végeztük.

Irodalom

- [1] Rogers, W. F.: Composition and Properties of
Oil-well Drilling Fluids
Gulf Publishing Company, Houston 1963.
- [2] A kémia újabb eredményei /Szerk.: Csákvári B./
5. kötet: Szántó F., Várkonyi B., Balázs J.:
Nemvizes közegű szuszpenziók
Akadémiai Kiadó, Budapest 1971.
- [3] Nemecz E.: Agyagásványok
Akadémiai Kiadó, Budapest 1973.
- [4] Grim, R. E.: Clay Mineralogy
McGraw Hill Book Co, Inc. New York 1953.
- [5] Hofmann, U., Endell, K., Wilm, D.:
Z. Krist. 86, 340 /1933/
- [6] Marshall, C. E.: Z. Krist. 91, 443 /1935/
- [7] Edelmann, C. H., Favejee, J. Ch. L.:
Z. Krist. 102, 417 /1940/
- [8] Brown, G.: Clay Min. Bull. 1, 109 /1950/
- [9] Dall, P. H.: Sprechsall für Cheramic-Glas-Email
91, 51 /1958/
- [10] Wofram E.: Kolloidika II/2. Egységes jegyzet
Tankönyvkiadó, Budapest 1968.

- [11] Perry, J. H.: Vegyész-mérnök-könyve II.
Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1969.
- [12] Rumford F.: Chemical engineering operations
Constable et Co. Ltd, London 1957.
- [13] Larian, M. G.: Fundamentals of Chemical Engineering Operations
Constable and Co. Ltd, London /1959.
- [14] Kuna L., Lantos J., Széll T.: Vegyipari műveletek és gépek II. rész. Egységes jegyzet
Tankönyvkiadó, Budapest 1970.
- [15] Wofram E.: Kolloidika II/1. Egységes jegyz. Tankönyvkiadó, Budapest 1969.
- [16] Pavlov, K. F., Romankov, P. G., Noszkov, A. A.: Vegyipari műveletek és készülékek számításai
Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1958.
- [17] Ciborowski, J.: A vegyipari műveletek alapjai
Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1969.
- [18] Fejes, P.: Vegyipari műveletek és eljárások fizikai-kémiai alapjai II. Kézirat
Szeged 1972.
- [19] Levenspiel, O.: Chemical Reaction Engineering
John Wiley et Sons, Inc. New York 1972.

- [20] Taylor, G. I.: Proc. Roy. Soc. London
219A, 186 /1953/
- [21] Sherwood, T. K., Reed, C. E.: Applied
Mathematics in Chemical Engineering
McGraw-Hill Book Co., Inc. New York
1939.
- [22] Batel, W.: Einführung in die Korngrössenmess-
technik
Springer-Verlag, Berlin 1971.
- [23] Buzágh A.: A kolloidika praktikuma
Tankönyvkiadó, Budapest 1954.

Ezúton mondok köszönetet Dr. Fejes Pál professzor úrnak, az Alkalmazott Kémiai Tanszék vezetőjének, hogy lehetővé tette számomra doktori értekezésem elkészítését. Külön köszönetet mondok a sok elméleti és gyakorlati útmutatásért, különösen a számítógépi program megírásában és tesztelésében nyújtott igen nagy segítségéért.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Varga Károly docens úrnak a téma kidolgozása során nyújtott hasznos tanácsaiért és az értekezés gondos átnézéséért.

Köszönettel tartozom Dobó Ferenc mechanikusnak a készülék elkészítéséért, valamint Barna Ferencné laboránsnak a kísérleti munka során nyújtott segítségéért.