

TERMÉSZETES ÉS SZINTETIKUS ÜLEPÍTŐSZEREK

HATÁSA A VÖRÖSISZAP ÜLEPEDÉSÉRE

Egyetemi doktori értekezés

Szilvay Géza
okleveles kémia-fizika tanár

Budapest

1981.



TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	1
1. IRODAIMI ÖSSZEFOGLALÁS	3
1.1. Egyetlen részecske ülepedése	3
1.2. A szuszpenziók ülepedési sebességének szilárdanyag-koncentráció függése	4
1.3. Az ülepedés és tömörödés kinetikája	7
1.4. A szuszpenziók ülepedésének kísérleti vizsgálata	9
1.5. Vörösiszapok ülepedésének vizsgálata	17
1.5.1. A vörösiszap ülepedésének sugárabszorpciós vizsgálata	17
1.6. Flokkuláció, flokkulánsok	23
1.6.1. Flokkuláns változatok	23
1.6.2. Flokkulánsok hatásmechanizmusa	25
1.6.3. A vörösiszap ülepitéséhez használt flokkulánsok	27
1.7. A szuszpenziók reológiai tulajdonságai	28
1.7.1. A szilárdanyag-koncentráció hatása a szuszpenziók reológiai tulajdonságaira	30
2. KISÉRLETI MÓDSZEREK	36
2.1. Vörösiszap-szuszpenziók előállítása	36
2.2. Sugárabszorpciós ülepedésvizsgálat	41
2.3. Reológiai vizsgálatok	44
3. KISÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEŚÜK	47
3.1. Ülepitési kísérletek	47
3.1.1. Vörösiszap-szuszpenziók ülepedése ülepitőszernélkül	48

3.1.2. Az ülepítőszerek hatása a vörösiszap-szuszpenziók ülepedésére	55
3.1.3. Az ülepítőszerek mennyiségének hatása az ülepedési fluxusra és az ülepedést jelző mennyiségekre	59
3.1.4. Az ülepítőszer minőségének hatása a vörösiszap ülepedésére	66
3.1.5. Az ülepedésvizsgálat módszereinek összehasonlítása	80
3.2. Reológiai vizsgálatok	90
3.2.1. A folyásgörbék	90
3.2.2. A szilárdanyag-koncentráció hatása a flokkulált vörösiszap-szuszpenziók reológiai jellemzőire	92
3.2.3. A relatív viszkozitás koncentrációfüggése	92
3.2.4. A Bingham-féle folyáshatár koncentrációfüggése	102
3.3. A flokkulált vörösiszap-szuszpenziók folyás- görbéinek értelmezése a pehelymodell alapján	105
ÖSSZEFOGLALÁS	111
FÜGGELÉK	113

BEVEZETÉS

A kémiai technológia anyagátadási folyamatai közt igen jelentős szerepe van a gyártási műveletekben létrehozott szuszpenziók szilárd- és folyadékfázisai elválasztásának.

A Bayer-rendszerű timföldgyártás több lépésében is szerepel elválasztási művelet. Ezek közül a legtöbb problémát a vörösiszap ülepitése és mosása veti fel, melyek a meddő vörösiszap és a további feldolgozásra kerülő Na-aluminát oldat elválasztása mellett, az iszap oldott és kötött Na_2O és Al_2O_3 tartalmának csökkentését is célozzák. Ezt a feladatot a timföldgyárakban a nagymennyiségű szuszpenzió miatt folyamatos működésű ülepitő- és mosó Dorr-okban valósítják meg. Mivel a technológiai folyamat termelékenységét a leglassabb folyamat határozza meg, ezért lényeges, hogy a vörösiszap elválasztása a lehető leggyorsabban és a legkevesebb veszteséggel menjen végbe. Ez indokolja, hogy a vörösiszap ülepedése során lejátszódó folyamatokat minél részletesebben megismerjük.

A vörösiszap-szuszpenzió nagy diszperzitásfoku és ezért lassan ülepedő rendszer. Az elválasztási műveletet lehetőleg gyorsítani kell. Ennek kézenfekvő módja, hogy a nagy diszperzitásfoku heterodiszperz szuszpenzióból ülepitőszer adagolásával kisebb diszperzitásfoku, agregáltabb állapotú viszonylag monodiszperz szuszpenziót állítsunk elő.

Az ülepedés és tömörödés folyamatainak elvi kérdéseivel számos szerző foglalkozott. A vizsgálatok alapvető célja a legtöbb esetben üzemi ülepitők tervezéséhez szükséges adatok meghatározása. A vörösiszap ülepedésével azonban - a téma speciális volta miatt is - viszonylag kevés közlemény foglalkozik.

Dolgozatomban a liszttel és a különféle szintetikus ülepitőszerekkel végzett vizsgálataim eredményeiről számolok be.

1. IRODALMI ÖSSZEFOGLALÁS

1.1. Egyetlen részecske ülepedése

Egyetlen merev golyó süllyedési sebessége végtelen kiterjedésű folyadékban állandó, ha a gravitációs és a surlódási erők egyensúlyban vannak. Ha a golyó mozgása során keletkező folyadékáramlás lamináris, akkor az ülepedési sebesség a Stokes formulával írható le:

$$u_0 = 10^4 \frac{d^2(\rho_{sz} - \rho_f)}{18\eta_f} g \quad / 1/$$

ahol d a szilárd, merev gömb átmérője, m,

ρ_{sz} a göm sűrűsége, kg/m^3 ,

u_0 a gömb sebessége az álló folyadékhoz viszonyítva, m/s,

ρ_f a folyadék sűrűsége, kg/m^3 ,

η_f a folyadék viszkozitása, Pa.s,

g a nehézségi gyorsulás, m/s^2 ,

Nagy pontosságú mérések szerint a Stokes törvény egzakt pontossággal csak $Re=0$ esetén igaz.

Hig szuszpenziókban, azaz ha a szemcsék mérete elhanyagolhatóan kicsiny a köztük lévő távolsághoz és az ülepitő edény méreteihez képest, a szemcsék ülepedési sebességét az Einstein-Smoluchowski formula adja meg.

$$u = u_0(1 - \alpha\phi) \quad /2/$$

ahol α dimenzió nélküli állandó, értéke merev gömbalaku részecskékre 2.5

ϕ a szilárdanyag szuszpenzióbeli térbetöltése
 u_0 az /1/ Stokes sebesség.

Az /1/ és /2/ ülepedési sebesség képletek, csak a vastag szolvátburok nélküli, de nedvesedő merev gömbök mozgását írják le. Szolvatált szemcsék esetén, a d részecske átmérő helyett $D > d$ szolvatált részecske átmérőt, az aktuális Stokes átmérőt, a szilárd fázis ρ_{sz} sűrűsége helyett pedig a szolvatált részecske effektív sűrűségét kell figyelembe vennünk.

1.2. A szuszpenziók ülepedési sebességének szilárdanyag koncentráció függése

A szuszpenziók ülepedési sebessége függ a szilárdanyag koncentrációtól. Viszonylag híg szuszpenziókban a szemcsék külön-külön mozognak az őket körülvevő folyadékban. Az ülepedés során egyre közelebb kerülnek egymáshoz, mind erősebb lesz a részecskék egymásra gyakorolt zavaró hatása: bonyolult, nehezen követhető áramlási viszonyok jönnek létre környezetükben. Az ülepitő edény aljára érkező szilárd szemcsék érintkeznek, elrendeződnek egymáson. A szuszpenziók ülepedési sebesség formuláit tulnyomórészt kísérleti úton határozták meg.

Robinson^{/1/} finomszemcsés, monodiszperz szuszpenziókra a Stokes formulát úgy módosította, hogy a tiszta folyadék sűrűsége és viszkozitása helyett, a szuszpenzió megfelelő adatait vette figyelembe.

Steinour^{/2/} az ülepedés félempirikus sebesség összefüggését mikroszkópikus méretű egyforma üveggömbök szuszpenzióján végzett ülepedésvizsgálatokkal nyerte.

Az említett sebesség formulák alkalmazását nehezíti, hogy az ülepedési sebességet nem közvetlenül a szilárdanyag koncentráció függvényeként adják meg, hanem azt csak implicit módon tartalmazzák. Richardson és Zaki^{/3/} egyforma méretű, különböző alakú szemcsékkel végzett ülepitési és fluidizációs kísérleteik alapján adták meg az ülepedési sebességet a szuszpenzió relatív szilárdanyag koncentrációjának függvényeként:

$$u_c = u_0 \varepsilon^n = u_0 (1 - \phi)^n \quad /3/$$

ahol ε a szuszpenzió porozitása,

ϕ a szuszpenzió relatív szilárdanyag koncentrációja,

u_0 a Stokes sebesség,

n a Reynolds számtól függő, kísérleti uton meghatározott tényező:

$$n=4.65, \text{ ha } Re < 0.2,$$

$$n=4.35 \cdot Re^{-0.03}, \text{ ha } 0.2 < Re < 1,$$

$$n=4.45 \cdot Re^{-0.1}, \text{ ha } 1 < Re < 500,$$

$$n=2.39, \text{ ha } 500 < Re < 7000.$$

A méréseket $1.2-7.4 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű szilárd részecskékkel és $0.9-1.25 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű $0.7-400 \text{ mPa.s}$ viszkozitású folyadékokkal végezték.

Az ülepedési sebesség formulák közös tulajdonsága, hogy az átrendezésükkel nyerhető relatív sebesség a szemcsék átmérőjétől függetlennek adódik. Például a /3/ összefüggésből a relatív sebesség:

$$u_r = \frac{u_c}{u_o} = (1 - \Phi)^n \quad /4/$$

A kísérletek eredményei ennek ellentmondanak, ugyanis a szemcsék méreteinek csökkenésével a relatív sebesség is csökken. Steinour^{/4/} szerint a relatív sebesség szemcseméret függését a felülethez tapadt nem mobilizálható folyadékréteg okozza, melynek mennyisége a felület nagyságától függ. Ward és Whitmore^{/5/} kísérletileg is kimutatták, hogy a tapadó folyadékréteg a szemcse felületével arányos, és megváltoztatja a szemcse effektív tömegét.

Az ülepedés dinamikai tárgyalásához megvizsgálták azt is, hogy az erőegyensúly kifejezésében, a részecskére ható felhajtóerőnél a tiszta folyadék vagy a szuszpenzió sűrűsége a meghatározó. Richardson és Meikle^{/6/} kétkomponensű szilárd fázissal /üveg és poliészter golyócskák/ végzett ülepitési kísérletei a szuszpenzió-sűrűség hatását igazolták.

Brauer és Kriegel^{/7/} elméleti vizsgálatai szerint a szomszédos szemcsék kölcsönhatásának, az impulzuscserének gyakorisága nő a koncentráció növekedésével. Ezért az ülepedési sebesség egyre inkább függetlenné válik az

egyes szemcsék egyedi Stokes sebességétől; megszűnik a szemcseméret szerinti szétválás, a szemcsék egyedi ülepedése helyett a szilárd fázis kollektív ülepedése lép előtérbe.

A felsorolt kutatási eredmények, a szabályos alakú merev szemcsék alkotta ideális szuszpenziókra vonatkoznak. A sebességformulák elvi szempontból rendkívül lényegesek, de közvetlenül nem alkalmasak az ülepitők működésének leírására. A valóságos ülepitőben az alapvető cél a szilárdanyag koncentrációja. Bennük reális szuszpenziókat ülepitenek, melyek gyakran hoznak létre kisebb nagyobb aggregátumokat, flokkulumokat, sőt legtöbbször különböző flokkulánsok adagolásával magunk segítjük elő a flokkulációt. A szakirodalom szerint az ülepedő pelyhek komprimálódása miatt létrejövő konzisztencia változásnak szintén lényeges szerepe van a tömörödésben.

1.3. Az ülepedés és tömörödés kinetikája

Az ülepedés és tömörödés kinetikájának elvi alapokra helyezett tárgyalása Kynch^{/8/} elméleti munkájával kezdődik. Kiindulásként feltételezte, hogy a statikus ülepitőben a szuszpenzió bármely pontjában az ülepedési sebesség kizárólag a helyi szilárdanyag koncentrációtól függ, aminek következménye, hogy a koncentráció és a sebesség szorzatából képzett szilárdanyag-fluxus is csak a koncentráció függvénye:

$$S = S(c) = c \cdot u \quad /5/$$

ahol S a fluxus, azaz a sztatikus ülepitő
egységnyi horizontális felületén idő-
egység alatt átáramló szilárdanyag
mennyisége, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{ó}$,

c a szilárdanyag koncentráció az adott
keresztmetszeten, kg/m^3 ,

u a c koncentrációju réteg szemcséinek üle-
pedési sebessége, m/ó .

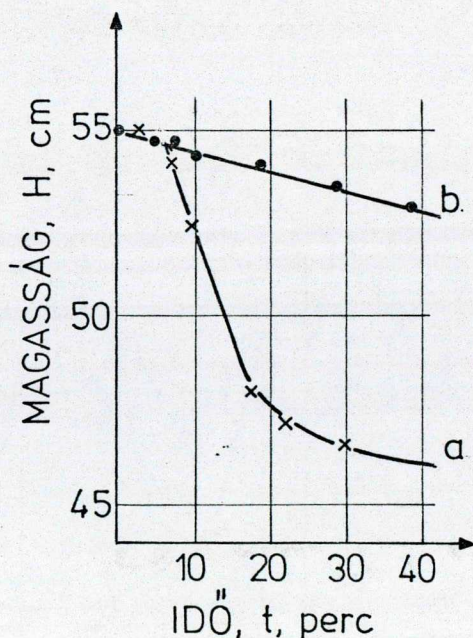
Az ideális inkompresszibilis szuszpenzió fluxus-
diagrammja, az S/c függvény, a szuszpenzió összes üle-
pedési és tömörödési tulajdonságát tartalmazza, a szusz-
penzió ülepedését egyértelműen jellemzi.

Kynch elmélete a szuszpenziók ülepedési folyamatát
ugy tárgyalja, mint folytonos és ugrásszerű sűrűségvál-
tozások /kis és nagy diszkontinuitások/ állandó sebessé-
gű terjedését, továbbá számot ad a diszkontinuitások
stabilitásáról is.

A Kynch által bevezetett diszkontinuitások létezésé-
nek szigorú elméleti bizonyítását Grassman és Strauman^{/9,10/}
végezték el, és a szuszpenzióban kialakult koncentráció-
ingadozások viselkedésének részletes elemzésével fejleszt-
ették tovább az elméletet.

Hig szuszpenziókban az a típusu ülepedési diagramot mérhetjük, amelynél az ülepedés kezdeti szakaszát a kezdeti szilárdanyag-koncentrációtól függő meredekségű egyenes írja le, majd a P kritikus ponttól kezdve a görbe előbb gyorsan, majd lassabban csökkenő meredekségű. A H-t diagram érintőjének iránytangense minden időpontban az iszapnivó ülepedési sebességét adja meg. Tehát hig szuszpenziókban kezdetben /a P pontig/ állandó az ülepedési sebesség, majd folyamatosan csökken. A csökkenő nivósüllyedési sebesség jelzi, hogy e szakaszban nemcsak az üledék koncentrációja, hanem az iszap felső rétegeinek koncentrációja is változik.

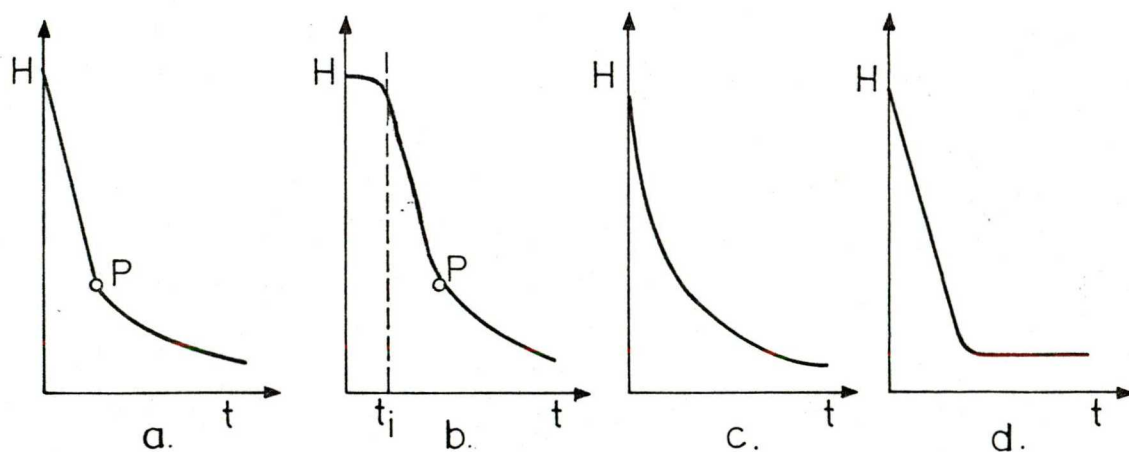
A b típusu görbék abban különböznek az előzőtől, hogy a H-t diagram egyenes szakasza bizonyos t_i "indukciós periódus" után kezdődik. Az indukciós periódusban lezajló folyamatokra több lehetséges magyarázat adható.



2. ábra Scott ülepedési görbéi kevert /b/ és nem kevert /a/ szuszpenziókban

1.4. A szuszpenziók ülepedésének kísérleti vizsgálata

A sztatikus ülepedési fluxust és ehhez a szuszpenziók ülepedési sebességét kísérletileg kell meghatározni a koncentráció függvényében, mert a sebesség formulák bizonyos adatai specifikusak. Az ülepedési sebesség klasszikus mérési módszere az ülepitőcső-sorozatos vizsgálat. Az általában üvegből készült és skálaosztással ellátott ülepitőhengerekbe töltik a különböző kezdeti szilárdanyag koncentrációju vizsgálandó szuszpenziókat és a gravitáció hatása alatt hagyják ülepedni. Az idő függvényében ábrázolva az iszapnivó helyzetét az ülepedési diagramokhoz /H-t diagramok/ jutunk. /1. ábra/ /10,11,12/



1. ábra Ülepedési diagram változatok.

Az ilyen ülepedést mutató intermedier szuszpenziók viselkedését Scott^{/13/} az ülepedés közben kialakuló csatorna-képződéssel magyarázza. A 2. ábrán a szuszpenzió óvatos keverésével /b/ és anélkül /a/ kapott ülepedési görbéit mutatjuk be. Nem kevert szuszpenzióban /a/ t_i idő alatt csatornák alakulnak ki a folyadék feláramlása számára, az ülepedés meggyorsul és a továbbiakban az 1. ábra a típusu görbéjének megfelelően zajlik. Ha keveréssel meggátolta a csatorna képződést, akkor a 2. ábra b görbéjét nyerte.

Michaels és Bolger^{/14/} az indukciós periódust azzal magyarázták, hogy t_i idő alatt alakulnak ki az ülepedés körülményeinek megfelelő optimális szemcseaggregátumok /koagulációval, vagy flokkulációval/ és kialakulásuk után e nagyobb részecskéknek megfelelő nagyobb sebességgel folyik az ülepedés.

Az 1. ábra c típusu H-t diagramján nem találunk kezdeti egyenes szakaszt, az iszapnívó ülepedési sebessége minden időpontban más és más. Ez azt jelenti, hogy e szuszpenzió ülepedésében nem választható külön az ülepedési és tömörödési tartomány, az iszap teljes térfogatában folyamatosan tömörödik. Így ülepednek a flokkulált szuszpenziók, ha a c_0 kiindulási szilárdanyag koncentráció elegendően nagy.

A d típus lineárisan eső, majd gyors átmenet után vízszintesen folytatódó ülepedési görbe, az egyforma méretű szilárd szemcséket tartalmazó ideális szuszpenziók jellegzetes ülepedési görbéje. Az ülepitő alján azonnal a maximális tértöltésnek megfelelő szilárdanyag koncentráció alakul ki,



szemben a reális szuszpenziókkal, melyek tömörödése igen lassan folyadékfelszabadulás közben következik be.

Talmage és Fitch^{/15/} egyszerű módszert ajánlott a különböző szilárdanyag-koncentrációhoz tartozó ülepedési sebesség meghatározására, egyetlen hig szuszpenzió ülepedésének mérése alapján. Az iszapnivó szintjének időbeli súlyledését ábrázoló ülepedési görbének a P kritikus pont elérése előtti kezdeti szakaszán a kezdeti c_0 koncentrációjú szuszpenzió u_0 sebességgel ülepedik. A kritikus pont után egyre csökkenő iránytangens az iszapnivó csökkenő sebességét mutatja, ami annak a következménye, hogy a felszínen egyre nagyobb a koncentráció. Az ülepedési sebesség bármely pontra érintőszerkesztéssel határozható meg. A fluxus meghatározásához azonban szükség van a felszíni iszapréteg szilárdanyag koncentrációjának ismeretére is. Ezt a Kynch szerinti lineárisan felfelé haladó rétegvándorlás feltételezésével számítják ki:

$$c_2 = c_1 \cdot \frac{H}{z_1} \quad /6/$$

ahol c_1 a szuszpenzió kezdeti szilárdanyag-koncentrációja,
 H a szuszpenzióoszlop magassága $t=0$ időpontban,
 z_1 a vizsgált pontban szerkesztett érintő függőleges tengelymetszete,
 c_2 a pillanatnyi felszíni szilárdanyag-koncentráció.

Az ideális és a reális szuszpenziók ülepedési sajátosságainak meghatározására számos kísérletet végeztek. Shannon és munkatársai ideális szuszpenzióval /17,18/, vízben ülepitett üveggolyókkal a Kynchelmélete alapján várt fluxusdiagramot nyerték, és a $H-t$ diagram mérésén kívül a szuszpenzió belsejében mért sűrűség profilokkal is igazolták az elmélet helyességét. További vizsgálataikkal /19,20/ azonban kimutatták, hogy a reális szuszpenziók esetén nagyobb iszapnyomások tartományában, tehát a kompressziós zónában, a szuszpenziók viselkedése eltér a Kynch által feltételezett ülepedési jelenségektől. Az ülepedési sebesség szerintük itt már nem kizárólag a helyi szilárdanyag-koncentráció függvénye. Megerősítették Roberts^{/21/} korábbi eredményét, aki a teljesen leülepedett reális szuszpenzió koncentrációjára a magasság függvényében exponenciális eloszlást kapott, szemben a Kynch által tárgyalt ideális szuszpenziókkal, amelyek a végső leülepedett állapotban homogén koncentráció eloszlást mutatnak.

Az ülepitőcső-sorozatos ülepedésvizsgálat legnagyobb hiányossága, hogy csak az iszap legfelső rétegének koncentráció és ülepedési sebesség adatait lehet meghatározni. Itt természetesen sohasem jelentkezik az iszapnyomás hatása, szemben a hasonló koncentrációju réteg iszapnivó alatti helyzetével.

A Gaudin és Fuerstenau^{/22/} által elsőként alkalmazott sugárabzorpciós koncentrációmérési módszer tette lehetővé

a szuszpenziók belsejében fellépő helyi szilárdanyag-koncentrációk érintésmentes mérését és az ülepedés közben létrejövő tömörödés időbeli vizsgálatát. A mérési eredmények értelmezésére az ülepités szűrőmodelljét vezették be /23,24/. E modell szerint az ülepedő szilárd szemcsék között lévő csatornákon keresztül szűrődik a feláramló folyadék, majd a tömörödés során elzáródó csatornák szerepét a pehelyszerkezet nagyobb áramlási ellenállású pórusai veszik át. Megállapították, hogy a kisebb és nagyobb töménységű szuszpenziók ülepedési-sebesség adatai elméletileg jól követhetők a csatornák, illetve porusok feltételezésével.

Flokkulált kaolinit szuszpenziók ülepedési sajátosságait vizsgálva Michaels és Bolger^{/14/} feltételezték, hogy a szuszpenzióban, a primer szemcsék rögökké kapcsolódnak, melyekből az ülepedés során nagyobb egységek, pelyhek képződnek¹. A pelyhek ülepednek, majd a tömörödési tartományban faltól falig terjedő térhálónak alakulva tömörödik az üledék. Megállapították, hogy a Richardson-Zaki formulával analóg egyenlet érvényes az ülepedési-sebesség koncentráció függésére, ha a szilárdanyag térbetöltés helyett a rögök, illetve pelyhek térbetöltését veszik figyelembe

$$u_f = u_0 \cdot /1 - \alpha \phi/^{4.65} \quad /7/$$

egyenlettel fejezhető ki a flokkulumok ülepedési sebessége, ahol u_f a c kezdeti szilárdanyag-koncentrációjú zagy felszínének ülepedési sebessége, m/ó,

1. Michaels és Bolger a rögöt flokkulumnak, a pelyhet aggregátumnak nevezik.

u_0 flokkulumok Stokes sebessége,

ϕ a szilárdanyag térfogati koncentrációja
/térbetöltése/,

$\alpha = V/v$, ahol a V a pehely, ill. rög térfogata, v az
ebben található szilárdanyag térfogata, vagyis az egy-
ségnyi térfogatu szilárdanyag alkotta pehely tér-
fogata.

A szerzők tehát az ülepedés folyamatát részben pehely model-
lel, részben faltól falig terjedő térhálóval írják le.

Scott^{/13, 25-27/} széleskörű kísérleti munkásságot vég-
zett az ülepedési formulák és ülepitő-tervezési módszerek
ellenőrzésére. Saját és más szerzők tapasztalatait összegez-
ve három ülepedési módot különböztetett meg:

1. Híg szuszpenziókat, amelyekben a flokkulált pelyhek
individuálisan ülepednek /ideális szuszpenziók/,
2. Közepes koncentrációjuakat, amelyeket a szemcsék
közötti csatornaképződés jellemez /az elméleti
ülepedési sebességhez képest abnormisan nagy
ülepedési sebesség/,
3. Tömör szuszpenziót, amelyben a pehelyszerkezet
széttöredezik /mechanikus kompresszió/.

Az ülepedés kezdeti szakaszában /híg szuszpenzió/ a pehely-
modellt tartja alkalmasnak, az intermediér és a tömör szusz-
penziókban a folyamat leírásához a szűrési modellt is felhasz-
nálja. A tömörödő zónát háromdimenziós hálózatnak képzelte,
ez azáltal válik permeábilissabbá, hogy a pelyhek kezdeti szer-
kezeti szilárdságát meghaladó nyiró-erőket tételez fel és ezek

az egymásra rétegződő pelyhek nyomása miatt kiszoruló folyadék feláramlásának következményei. A szűrési folyamat követésére a Kozeny-Carman egyenletet használta, amelyből a felhasznált szilárdanyag ismert szemcseméretéhez közeli szemcseméret adatokat tudott kiszámítani.

Vitába szállt Fitch azon megállapításával /16/, hogy a szemcsék a teljesen leülepedett állapotban hidrodinamikai egyensúlyban vannak, tehát nem lép fel kompresszió. Scott szerint a tömör rétegekben fellép a kompresszió, de ettől függetlenül minden zónában a helyi permeabilitás kontrollálja az ülepedési folyamatot.

A szakirodalom áttekintéséből kitűnik, hogy a szuszpenziók ülepedési részjelenségei többé-kevésbé fel vannak tárva, de ezeket egységes elméleti tárgyalással még nem sikerült leírni. Az egyetlen átfogó elméleti koncepció a szuszpenziók ülepedésének a fluxusdiagrammal való jellemzése azonban használhatónak tűnik, annak ellenére, hogy csak ideális szuszpenziókra van kidolgozva.

Az egyszerű ülepítőcsöves vizsgálat iszapnívó-süllyedést leíró ülepedési görbéinél sokkal több információt adnak azon vizsgálatok, amellyel a tömörödő szuszpenzió belsejében a szilárdanyag-koncentráció eloszlását, illetve annak időbeli változását lehet meghatározni. Az ülepedés folyamatainak megzavarása nélkül a helyi szilárdanyag-koncentrációt nagy áthatoló képességű sugárzás abszorpciójának mérésével határozhatjuk meg.

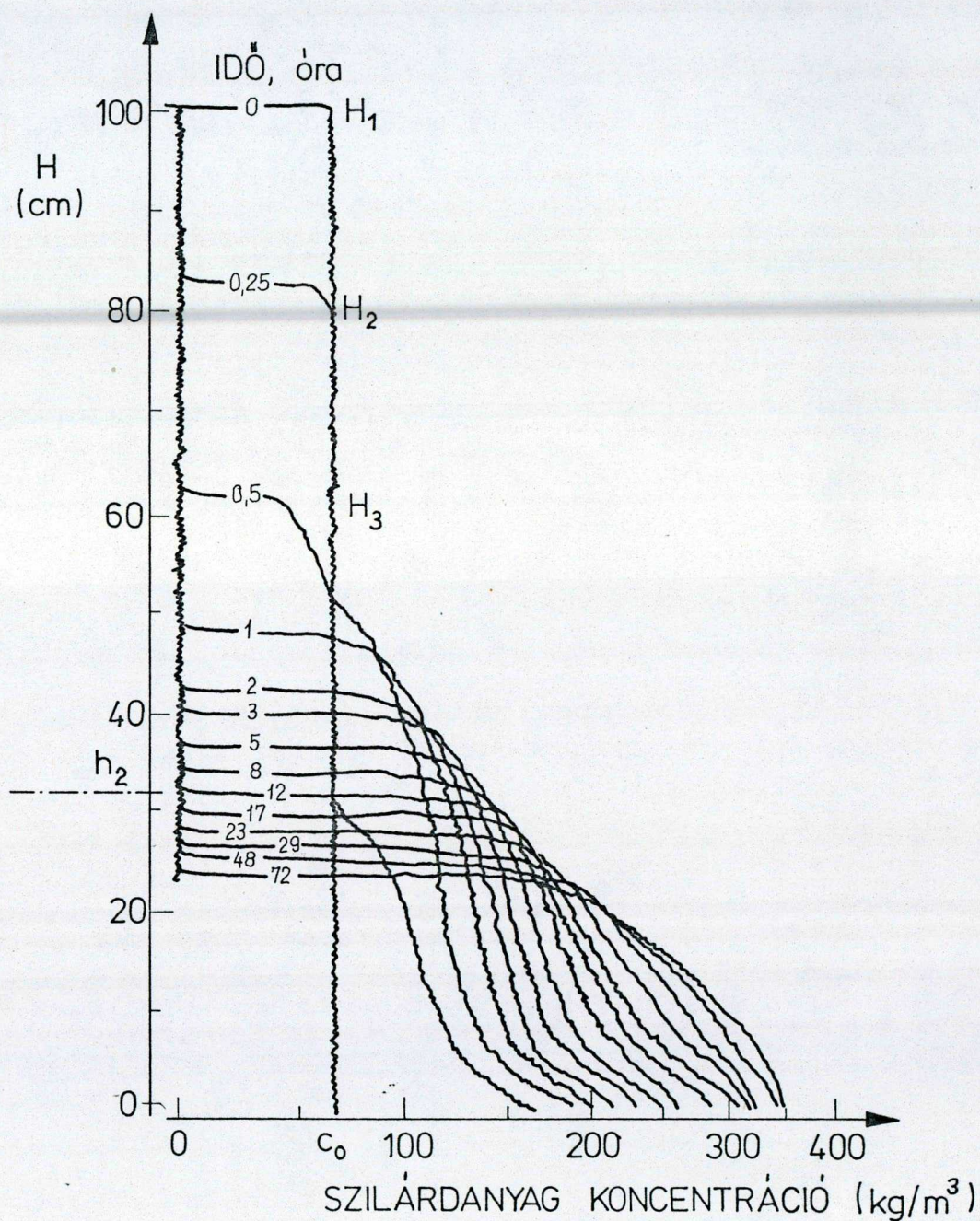
1.5. Vörösiszapok ülepedésének vizsgálata

A Bayer eljárás során keletkező vörösiszapok vizsgálatáról viszonylag kevés közlemény jelent meg. A hagyományos módszer az üvegcsövekben végzett sztatikus ülepedésvizsgálat, amellyel a kezdeti iszapnívó süllyedési sebességét határozták meg. Az eredmények azt mutatták /28-30/, hogy az iszapnívó süllyedési görbéje a többi szuszpenzióhoz hasonló futásu, amelyet a bauxit tipusa, a feltárás körülményei, az ülepitőszerek, az ülepitő folyadék összetétele, hőmérséklete nagymértékben befolyásol. A vörösiszapok tömörödőképességére a nivógörbe futása alapján csak kvalitatív összehasonlítást végeztek. Winkhaus^{/31/} és Bujdosó^{/32/} számoltak be a vörösiszap szuszpenziók sugárabszorpciós sűrűségmérésének megvalósításáról és a sztatikus ülepedés során kialakuló sűrűségprofilokat mutatnak be.

1.5.1. A vörösiszap ülepedésének sugárabszorpciós vizsgálata

Az ALUTERV-FKI-ban kidolgoztak egy gamma sugárabszorpciós ülepedésvizsgáló berendezést /10,33,34/ és az ezzel végzett nagyszámu vörösiszap ülepités eredményeként kidolgoztak egy modellt a vörösiszapok ülepedésének leírására /35-37/.

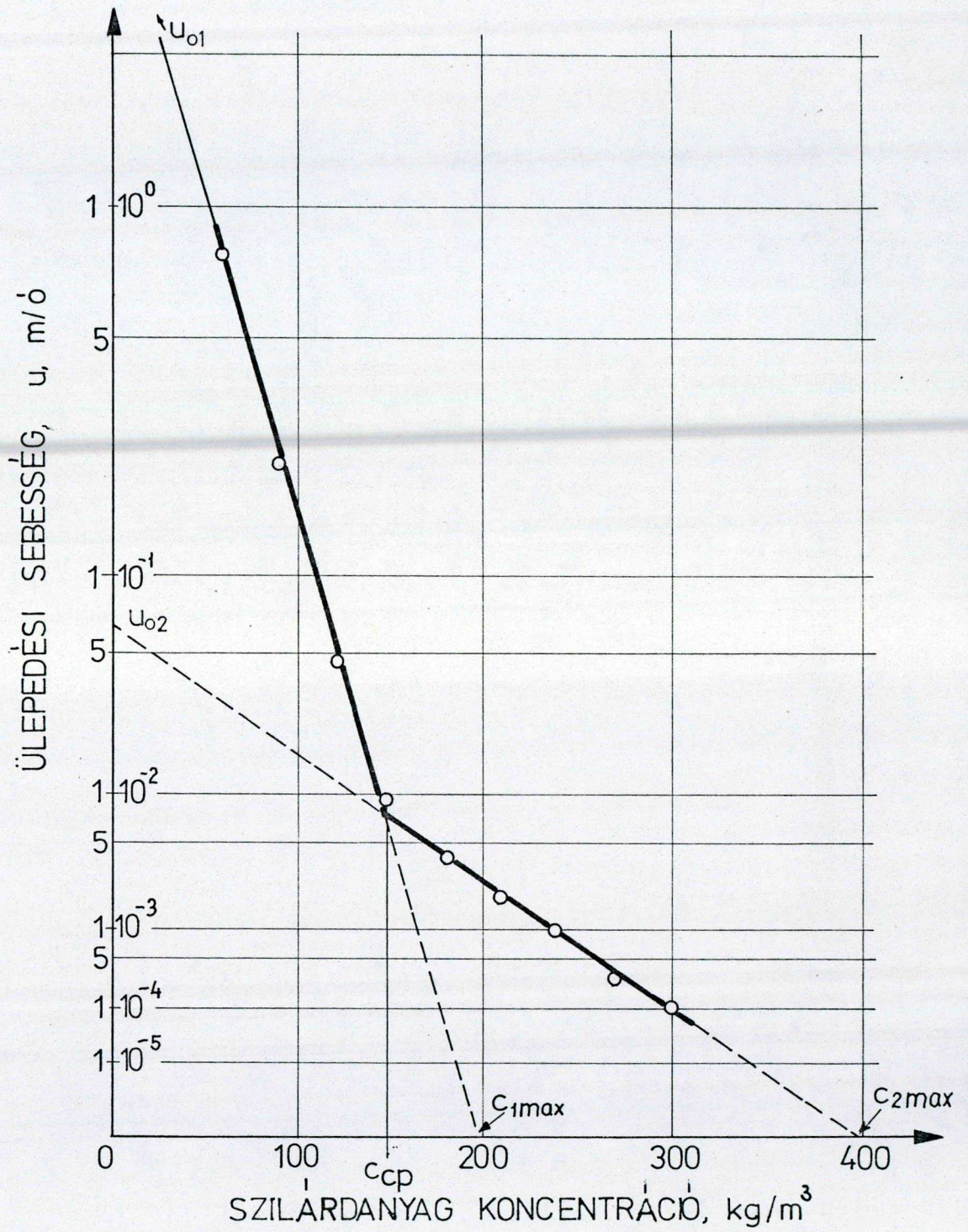
Egy tipikus koncentrációprofil sorozatot mutat be a 3. ábra. Ilyen koncentrációprofil sorozatokból meghatározható az ülepitőcsőhöz rögzített koordináta-rendszerben az u ülepedési sebesség és az $S=C \cdot u$ szilárdanyagfluxus a koncentráció függvényében.



3. ábra Sugárabszorpciós modell ülepedésvizsgáló berendezéssel regisztrált koncentrációprofilok 72 órás sztatikus ülepedésvizsgálat során

Alkalmazták a Michaels és Bolger által módosított

Richardson-Zaki formulát a mérési eredményekre és megállapították, hogy a mérési adatokra a $c^{-\frac{465}{\sqrt{U_c}}}$ koordinátarendszerben két egyenes szakasz illeszthető. Jellemző ülepedési-sebesség diagram látható a 4. ábrán. A sebességdiagramból mindkét egyenes szakaszra meghatározhatók az ülepedést jellemző paraméterek. A $c=0$ koncentrációhoz tartozó tengelymetszetekből az U_{01} és U_{02} Stokes-sebességek, az $U_c=0$ ülepedési sebességhez tartozó tengelymetszetekből pedig az α_1 és α_2 tényezők.



4. ábra Vörösiszap ülepedési sebesség diagramja

A mérési adatoknak a Richardson-Zaki egyenlethez való illeszkedéséből a szerzők azt a következtetést vonták le, hogy a vörösiszap-szuszpenziók kezdetben az adagolt flokkulánssal meghatározott méretű, viszonylag nagy pelyhekként ülepsznek, majd - a két egyenes szakasz metszéspontja után - megváltozik a pelyh méret. Ettől kezdve kisebb méretű, kevesebb kötött folyadékot tartalmazó, de egymástól független pelyhekkel modellezhető a szuszpenzió. A két szakaszra eltérő effektív pelyhátmérőket a /8/ egyenlet szerint adták meg:

$$d_{1,2} = \sqrt{\frac{18\eta_f u_{012} \alpha_{1,2}}{(g_{sz} - g_f) \cdot g}} \quad /8/$$

Más szerzőknek az iszap kompresszibilitására vonatkozó elképzeléseivel szemben tehát azt állapították meg, hogy az ülepedési sebesség diagram két szakaszának megfelelő tartomány mindegyikében az ülepedési sebesség kizárólag a helyi pelyh-tér betöltés, illetve a helyi szilárdanyag koncentráció függvénye.

A /8/ képletben szereplő α_1 , és α_2 tényezők a $c_{1 \max}$ és a $c_{2 \max}$ vízszintes tengely metszetekből az

$$\alpha_{1,2} = \frac{g_{sz}}{c_{\max}} \quad /9/$$

összefüggés alapján adódnak.

Az iszap komprimálódását az is cáfolja, hogy a végső leülepedett állapotban a második egyenes szakasszal meghatározott α_2 tényezővel számítható pehely-térbetöltés 0,7-0,8 közötti értéke jelentkezik a radiometrikus mérések szerint és ez azt jelenti, hogy az ülepítőcső fenekén ilyenkor a gömbalaku - kisebb méretű - pelyhek optimális elrendeződése áll fenn.

Az eredeti pehelyszerkezet átalakulása ezek szerint nem az ülepítőcső alján, a felső iszaprétegek nyomása miatt, hanem a két egyenes metszéspontja által megszabott C_{cp} kollapszusponthi koncentráció elérésekor következik be.

Az ALUTERV-FKI-ban kidolgozott pehelymodell szerint a jól flokkulált vörösiszap szuszpenziók gravitációs ülepedése kinetikájának leírásához öt paraméter, az U_{01} és U_{02} Stokes-sebességek, az α_1 és α_2 immobilizációs tényezők és a C_{cp} kollapszusponthi koncentráció meghatározására van szükség. Ezek ismeretében az ülepedési sebesség minden koncentrációnál a Richardson-Zaki egyenlettel számítható.

A pehelyszerkezet kollapszusponthi összeomlása, illetve más méretű specieszekké való átalakulása viszonylag szűk/az első egyenes szakasszal megszabott/térbetöltési tényező intervallumban következik be, a flokkuláns minőségtől és adagolásától függően $0,63 \pm 0,1$ pehely-térbetöltésnél. A sztatikus ülepedésnél

feláramló folyadék számára ilyenkor a gömbalakúnak képzelt pelyhek között csak rendkívül kis átmérőjű csatornák állnak rendelkezésre, ezért a modell kidolgozói az áramlási nyiróerőknek tulajdonították a szerkezet átalakulását.

Dolgozatomban reológiai mérésekkel kívántam megvizsgálni e feltételezés helyességét.

1.6. Flokkuláció, flokkulánsok

Az ülepedés gyorsítására napjainkban igen elterjedt nagy polimerizációfoku szerves anyagok adagolása. A szuszpenziókban ilyenkor viszonylag gyors koagulálás következik be, amelynek során rendszerint makroszkopikus, laza szerkezetű aggregátumok jönnek létre. Ezek aránylag gyorsan ülepednek és a folyadékfázis kitisztul. A jelenséget flokkulációnak, az előidéző adalékot flokkulánsnak vagy ülepitőszernak nevezik. A Bayer technológiai sorban használt ülepitőkben szerves makromolekulákat, korábban kizárólag rozslisztet, ma egyre elterjedtebben szintetikus polimereket használnak.

1.6.1. Flokkuláns-változatok

A flokkuláns szerves makromolekulák több szempont szerint csoportosíthatók. Kitchener^{/38/} jól áttekinthető táblázata eredetük és ionosságuk szerint sorolja fel a legfontosabbakat.

1. táblázat

Flokkuláns változatok

/Kitchener szerint/

eredet	nem ionos	anionos	kationos	amfoter
természetes	kaucsuk liszt			zselatinok pl. albumin
természetes anyagok származéka	dextrin /keményítő/	foszfatált liszt nátrium- -carboxi- -metilcel- lulóz		feldolgozott zselatin, aminált tannin
szintetikus szerek	polyakril- amid polyetilén- oxid polyvinil- alkohol	hidrolizált polyakril- amid	polyetilén- imin vinil piri- din-akril- amyd-kopo- limer	

A lineáris vagy elágazó polimer molekulák térbeli alakja és disszociációja a kémiai környezetük függvénye /40/.

Adott hőmérsékletű tiszta elektrolitban a polimer molekula konfigurációja függ a polimer láncon lévő töltött helyek számától, e töltések nagyságától, valamint az oldat ionerősségétől.

1.6.2. A flokkulánsok hatásmechanizmusa

A polimer molekulák egy vagy több helyen kapcsolódnak a szuszpendált részecskék felületéhez, a lánc egy része pedig benyulik a folyadékfázisba. Ezek a kinyújtott szegmensek szabad adszorpciós hellyel kerülnek kapcsolatba valamely másik részecskén és hidat képeznek a két részecske között. Ez az összekapcsolódás mindaddig folytatódik, amíg egyrészt a makromolekula rendelkezik aktív szegmensekkel, másrészt amíg a rendszer nyirási tulajdonságai megengedik a részecske halmazok növekedését /38/.

Szorbeált állapotban a polimer molekula konfigurációja a molekula méretétől, szerkezetétől és a molekula-adszorbens közötti kölcsönhatási energiától függ. A Simha, Frisch, Erich^{/40/} elmélet szerint gyenge polimer-felület kölcsönhatás esetén az adszorbeált szegmensek száma a molekulasúly gyökével, erős kölcsönhatásnál pedig a molekulasúllyal egyenesen arányos.

Warkentin és Miller^{/41/} kimutatták, hogy a hosszú láncu polimer hatásosabb a hidképzésben. Agyagásvány szuszpenziókon azt tapasztalták, hogy a szilárdanyag-koncentráció növekedésével a hidképzés mértéke szintén javul. Többen megfigyelték /42-44/, hogy szélsőségesen nagy mennyiségű polimernek a részecskék felületén történő adszorbeálódásakor a rendszer újra stabilizálódása

következik be. Ha ugyanis túl sok adszorpciós helyet foglal le egy szemcsén a flokkuláns /tuladagolás esetén/ a hidképződés lehetetlenné válhat, ellenkező esetben /kevés flokkuláns adagolása/ a szemcsék között kis számú hid képződik, a szemcsék közti kötés gyenge.

Kragh és Langston^{/45/} arra a következtetésre jutott, hogy a szuszpenzió erélyes keverése szétbontja a polimer hidakat és a polimer átrendeződik az adsorbens felületén. Birkner és Morgan^{/46/} közvetett kísérleti bizonyítékkal szolgáltak arra vonatkozóan, hogy a hidrodinamikai erők korlátozhatják a polimer adszorpciót.

A polimerek destabilizáló hatásának kinetikáját két sebesség-folyamatra lehet osztani /40/:

1. a polimer felületi adszorpciója egy-egy részecskén,
2. az elsődleges kolloidális részecskék aggregációja többszörös részecske-aggregátumokká /flokkulumok, pelyhek/.

Azt találták, hogy az ülepitőszerszám maximálisan hatásos mennyisége egy meghatározott szűk intervallumba esik, így többet adagolva jóval kisebb a hatás, szélsőséges esetben a rendszer újra stabilizálódhat. Csak az optimális polimer adagolásnál tudták a folyadék kitisztulását elsőrendű reakciókinetikával leírni. Azt is kimu-

tatták /38/, hogy a szintetikus flokkulánsok adszorpciója irreverzibilis és gyakorlatilag teljes.

1.6.3. A vörösiszap ülepitéséhez használt flokkulánsok

A timföldgyártás Bayer-technológiájában hagyományosan rozslisztet használtak ülepitésre. Az alkalmazás körülményei közt /kb 90°C, erősen lugos közeg/ a liszt keményítő tartalma részben feltáródik. A tiszta keményítővel végzett ülepitési kísérletek a lisztnél rosszabb eredményeket mutattak, tehát a keményítőn kívül a liszt feltárt temékei között más hatásos ülepedésgyorsító anyagok is vannak. A liszt ülepitésgyorsító hatásának vizsgálatakor /30,48/ azt tapasztalták, hogy még optimális adagolás esetén is marad lisztből származó szerves anyag a folyadékfázisban, azaz a liszt növeli az aluminátlug technológiai szempontból amúgy is kritikus, szerves anyag szintjét.

A napjainkban e technológiában is egyre elterjedtebben használt szintetikus flokkulánsok ezt a problémát megszüntetik, viszont - míg a liszt adagolás mellett a több lépcsős ülepitő és mosósoron csak egyszer kellett flokkulánst adagolni - addig a szintetikus ülepitőszerek használatakor ezt minden egyes mosási lépcsőben meg kell tenni /47/.

A használatos szintetikus ülepitőszerek összetételére az irodalomban csak tájékoztató adatokat közölnek, mert a készítmények összetétele gyártási titok. Saját



tapasztalatból és néhány nem publikált közlésből kiderült, hogy ezek általában $0,5 \cdot 10^6$ - $12 \cdot 10^6$ molekula súlyu poliakril - vagy polimetakrilsav és poliakrilamid kopolimerek.

1.7. A szuszpenziók reológiai tulajdonságai

A szuszpenziók, köztük a vörösiszap-szuszpénziók, reológiai tulajdonságainak vizsgálata elméleti és gyakorlati szempontból is fontos. A reológiai adatok determinálják az ipari zagyok szállíthatóságát, stabilitási és egyéb tulajdonságait, belőlük következtetni lehet a szuszpenziók szerkezetére. A szuszpenziók reológiai tulajdonságainak, a különféle viszkozitásadatoknak, folyáshatároknak, a hiszterézisnek és a relaxációnak a mérésére különféle viszkoziméterek használatosak. A mért paramétereknek megfelelően lehet az egyes szuszpenziókat reológiai csoportokba sorolni.

A különféle reológiai tulajdonságok mérésére viszkozimétereket, reométereket használnak. Szuszpenziók vizsgálatára elterjedtek a rotációs viszkoziméterek, amelyekben a D nyirási sebesség változtatásával a reológiai rendszerben fellépő τ nyirófeszültség értékek mérhetők.

A viszkozitásformulák közös alakja:

$$\eta = \frac{(\tau - \tau_f)^n}{D} \quad /10/$$

ahol τ a deformációkor ébredő nyirófeszültség, N/m^2 ,

τ_f a folyáshatár, N/m^2 ,

n állandó a folyástípus függvénye,

η a viszkozitás, Pa.s,

D a nyirási sebesség, $1/s$.

A 11. egyenlet megfelelő peremfeltételekkel szolgáltatja a jellegzetes folyástípusok tulajdonságait /57/:

1. Ideálisan viszkózus a folyás /Newton-féle folyadék/, ha $\tau_f = 0$, $n=1$ és η állandó.

2. Kváziviszkózus folyásnál a viszkozitás függ a nyirófeszültségtől, de $\tau_f = 0$, vagyis itt sincsen folyáshatár. Szerkezeti belső surlódást mutat a rendszer, ha $n > 1$, vagyis a viszkozitás csökken növekvő nyirófeszültségnél.

Dilatáns a rendszer, ha $n < 1$, vagyis a viszkozitás nő növekvő nyirófeszültségnél.

3. Ideálisan plasztikus a folyás /Bingham-féle test/, ha $\tau_f > 0$ és $n = 1$. Az ilyen rendszer $\tau = \tau_f$ nyirófeszültségig nem folyik, úgy viselkedik, mint egy merev test, nagyobb nyirófeszültség fellépésekor viszont ideálisan viszkózus folyást mutat.

4. Kváziplasztikus folyásról beszélünk, ha van folyáshatár és előlött a viszkozitás függ a nyírófeszültségtől is. Ekkor $\tau_f > 0$ és $n \neq 1$. A kváziplasztikus rendszerek gyakran rugalmas deformációt mutatnak a folyás előtt. A 10. egyenlet szerinti folyásgörbe a kitevő számértékének megfelelő görbülettel indul és gyakran lineáris szakaszba megy át. Ilyen esetekben a lineáris szakasz extrapolációjával definiálható a rendszer Bingham-féle folyáshatára.

1.7.1. A szilárdanyag koncentráció hatása a szuszpenziók reológiai tulajdonságaira

Hig diszperz rendszerek u.n. newtoni folyására Einstein adott összefüggést idealizált modell alapján. Rideg, gömb alakú, kölcsönhatás mentes diszperz részecskéket tartalmazó szuszpenziókra vonatkozó viszkozitásformulája:

$$\eta = \eta_f (1 + 2,5\phi) \quad /12/$$

ahol η a szuszpenzió viszkozitása /pa.s./;

η_f az ideális newtoni viselkedésű folyadék viszkozitása /Pa.s./,

ϕ a diszperz rész relatív térbetöltése /térfogattörtje/

Az egyenlet átrendezésével az η_r relatív viszkozitás :

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_f} = 1 + 2,5\phi \quad /13/$$

Az Einstein-egyenlet szigorúan csak 0.03 szilárd-anyag térbetöltésig érvényes. A töményebb szuszpenziók nem-newtoni viselkedésűek, szerkezeti viszkozitást mutatnak. A viszkozitás koncentrációfüggésének leírására a diszperz fázis részecskéinek egymás közötti és a folyadékkal való kölcsönhatásait is figyelembe kell venni /49,50,56/. A részecskekölcsönhatások miatt aggregátumok képződhetnek és a bezárt folyadék miatt a tényleges térbetöltés megváltozik. E kölcsönhatások figyelembevételével talált összefüggésekben a relatív viszkozitás a diszperz részek koncentrációjának valamilyen hatványával egyenesen, a diszperziós közeg relatív mennyiségének valamilyen hatványával fordítottan arányos. Ez értelemszerűen arra vezet, hogy monodiszperz rendszereknél $\phi \rightarrow 0.74$ térbetöltés, illetve polidiszperz rendszereknél

$\phi \rightarrow 1$ esetén a relatív viszkozitás végtelenhez tart. A nagyobb koncentrációju, részben kölcsönható diszperz fázist tartalmazó rendszerek relatív viszkozitásának koncentrációfüggését többen empirikus összefüggéssel írják le.

Eilers^{/52/} összefüggése szerint a relatív viszkozitás a diszperz rész térbetöltésétől a /11/ egyenlet szerint függ.

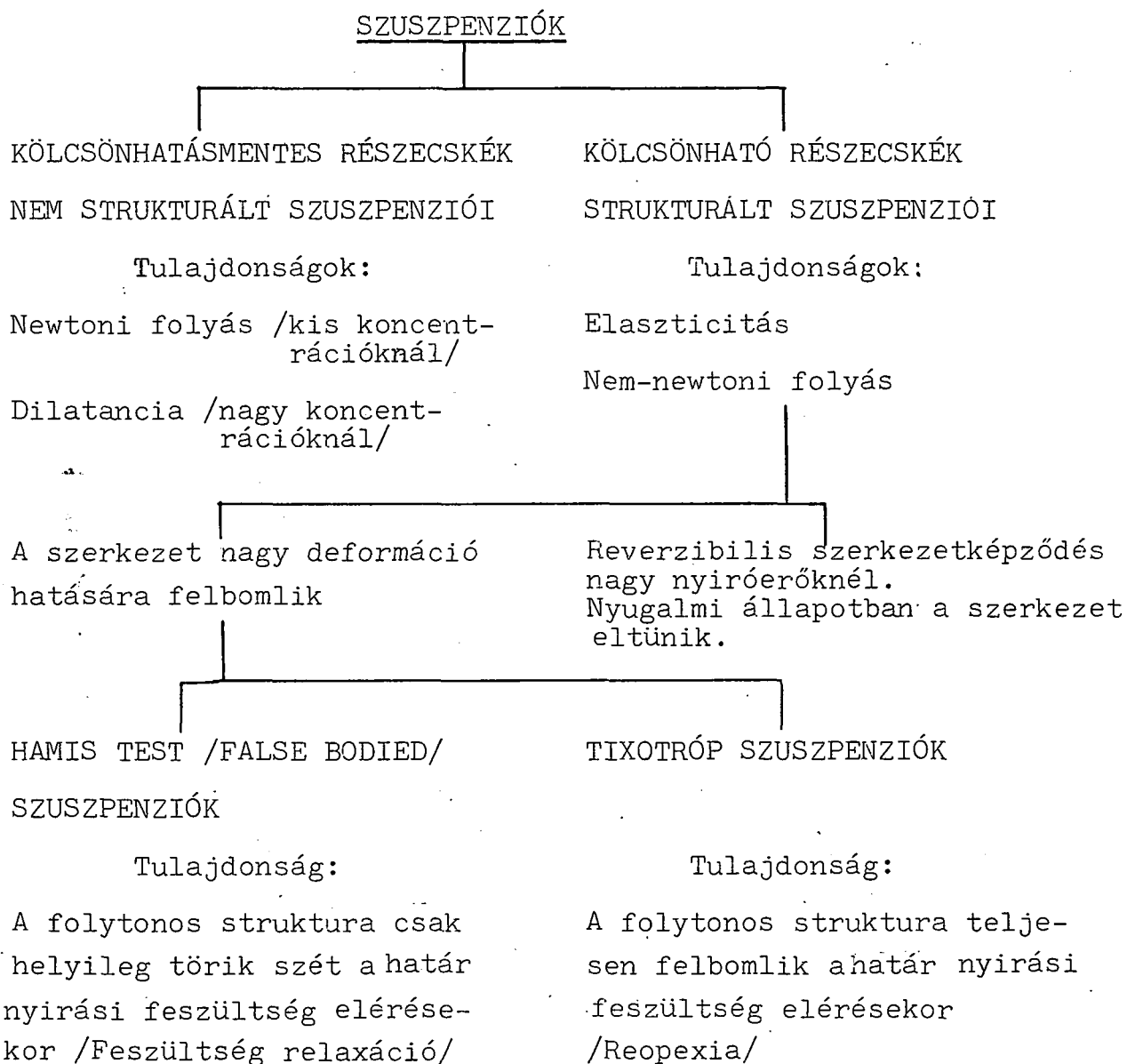
$$\eta_r = \left(1 + \frac{1,25\Phi}{1 - k\Phi}\right)^2 \quad /11/$$

ahol $k = \frac{1}{\Phi_m}$

Φ_m az adott rendszerben előálló maximális
térbetöltés.

A kölcsönható részecskéket tartalmazó szuszpenziók tulajdonságai közt megjelennek a rugalmas /plastikus/ tulajdonságok is. A plastikus-viszkózus testek, így a tömény szuszpenziók reológiai viselkedésével először Bingham és Green foglalkoztak. Green és Weltman vezették be Freundlich nyomán a rotációs reogramok felmenő és lemenő ágának és a kialakuló hiszterézishuroknak vizsgálatát. Rámutattak az időfüggésre és ezzel a relaxáció jelentőségére.

Roscoe^{/50/} a részecske strukturák nyirás hatására bekövetkező lebomlásának energetikai alapjait tárgyalja. Összefoglaló munkájának célja a folyási relaxáció kvalitatív értékelése. A szuszpenziókat szerkezetük és ebből következő folyási sajátságaik alapján a következő módon rendszerezzi:



Megjósolta, hogy az összefüggő szerkezet teljesen szét-esik nagy nyirási sebességeknél, és a keletkezett szuszpenzió úgy viselkedik, mintha vonzásmentes részecskéket tartalmazna.

Michaels és Bolger^{/53/} jelentős elméleti és kísérleti eredményeket értek el a Roscoe által kidolgozott alapokat figyelembevételével. Tovább fejlesztették a szuszpenziók részecs-

ke-strukturája nyírásra bekövetkező változásának energetikai tárgyalását, az ülepedésvizsgálataik eredményeként felállított szerkezeti modelljük igazolására. A τ_y maradó folyáshatárra és a τ_b Bingham-féle folyáshatárra olyan összefüggést vezettek le, amely tartalmazza azt a tényt, hogy a szuszpenzió folyáshatára csak az összefüggő térháló felépítésére elegendő minimális koncentrációnál jelenik meg.

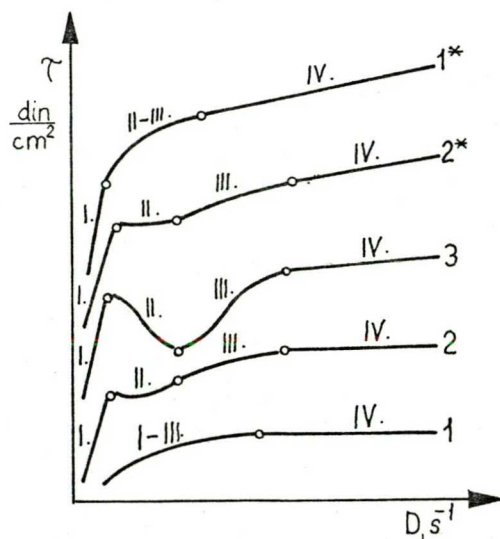
Összefüggéseikben a szuszpenziók ülepedési és reológiai sajátosságait csak két szerkezeti paraméterrel a flokkulum térfogati koeficiensével /inmobilizációs tényező/ és a flokkulumok közti kötés erősségével írják le. Legfontosabb megállapításuk az, hogy nem a primér részecskék, hanem a primér részecskékből felépülő rideg gömböcknek tekinthető rögök a folyásegységek mind a lamináris Couette-folyásnál, mind az ülepedésnél.

Szántó és munkatársai^{/51/} rendszeres vizsgálatokat végeztek szerves közegű szuszpenziók reológiai viselkedésének meghatározására és kvalitatív magyarázatot adtak a szuszpenziók viselkedésére /54,55,56/. Részletesen tárgyalták az irodalomban leírt és az általuk talált folyásgörbék öt típusát. A 4.a ábra összefoglalva mutatja be a szerzők által tárgyalt folyásgörbe típusokat. Az 1. és 1^{*}; illetve a 2. és 2^{*} jelölések bevezetését az indokolja, hogy a görbetípusok lefutása megegyező, de fizikai tartalmukban lényeges eltérés van. Míg az 1. és 2. típusu görbék mindig kis szilárdanyag-térbetöltésű, vagy jól nedvesedő rendszerekhez

tartoznak, az 1^* és 2^* görbék nagy szilárdanyag-térbetöltésű vagy nagy adhézióju /erősen szerkezetképző/ rendszerekre jellemzők. Közepes adhézió és térbetöltés esetén maximumon és minimumon áthaladó egyensúlyi folyásgörbét kaptak. /3. görbe/

Megadták a folyás szakaszainak kvalitatív értelmezését, a folyást jellemző mennyiségek, a Bingham-féle folyáshatár, a folyásgörbék maximumához tartozó határnyirófeszültség, a szuszpenzióbeli szilárdanyag-térbetöltés és az adhéziós viszonyok közti összefüggést. Empirikus egyenletet állítottak fel a szuszpenziók Bingham-féle folyáshatára, plasztikus viszkozitása és plaszticitása koncentrációfüggésére.

A szuszpenziók reológiai viselkedése a szilárdanyag-koncentráción kívül a szilárd- és folyadékfázis fizikai és kémiai sajátosságaitól függ, a szerkezet tehát anyag specifikus. Dolgozatomban a vörösiszap-suszpenziókkal foglalkozom.



4.a ábra Folyásgörbe típusok

2. KISÉRLETI MÓDSZEREK

Az ALUTERV-FKI Radioaktív Izotóplaboratóriumában több éve folyik rutinszerűen különböző bauxitokból többfajta technológiával előállított vörösiszapok ülepedésének vizsgálata. Nem történtek azonban szisztematikus mérések a különböző ülepitőszerekkel flokkulált vörösiszapszuszpenziók ülepedési sajátságainak vizsgálatára. A korábbi tapasztalatok szerint a bauxit fajtája és a feltárástechnológiája nagy mértékben befolyásolja a keletkező vörösiszap ülepedési sajátságait, ezért az ülepitőszerek hatásának összehasonlítását célszerűen, azonos alapanyagból, azonos technológiával nyert szuszpenziókon vizsgáltam.

Mivel intézetünk ipari kutatóintézet, ezért vizsgálataimat az ipari vörösiszapszuszpenziókkal lehetőleg azonos iszapokon végeztem. Ez a tény részben megnehezíti a vizsgálatokat és a jelenségek értelmezését, de feltétlen előnyük, hogy a timföldgyártás folyamatában közvetlenül felhasználható eredményeket szolgáltatnak.

2.1. Vörösiszapszuszpenziók előállítása

A vörösiszapszuszpenziót a timföldgyártásban használatos technológiának megfelelő módon állítottuk elő laboratóriumi körülmények között. Mindig frissen készített vörösiszapszuszpenziót használtunk vizsgálatainkhoz. Az alapanyag a 2. táblázatban feltüntetett összetételű iszkaszentgyörgyi és halimbai bauxit volt.

2. táblázat

Laboratóriumi feltárásokhoz használt bauxitok kémiai és fázisösszetétele

Alkotó	súly %	
	Iszkai.átlag bauxit	Halimbai átlag bauxit
Al_2O_3	51.1	50.1
kaolinitben	5.4	5.9
diaszporban	2.2	0.2
bömitben	28.3	42.7
gibbsitben	14.8	0.6
götitben	0.3	0.5
hematitban	0.1	0.2
Fe_2O_3	19.9	23.7
götitben	6.6	3.0
hematitban	13.3	20.7
TiO_2	2.6	2.6
anatázban	1.5	1.9
rutilban	1.1	0.7
SiO_2	6.3	6.9
kvarcban	0.3	-
kaolinitben	6.0	6.9
CaO	0.6	1.2
kalcitban		0.8
dolomitban	0.6	0.4
MgO dolomitban	0.4	0.65
izzitási veszteség	17.6	13.0

4. táblázat

Az ülepitett vörösiszapok jellemző kémiai és fázisösszetétele

Alkotó	súly %	
	iszkaszentgyörgyi átlag bauxit vörösiszapja	halimbai átlag bauxit vörösiszapja
Al ₂ O ₃	16.30	15.90
kankrinitben	5.10	5.50
szodalitokban	6.34	2.70
gőtitben	-	0.80
diaszporban	4.86	-
bömitben	-	0.30
gibbsitben	-	0.50
Ca-Al szilikátban	-	5.10
Fe ₂ O ₃	41.90	40.90
hematitban	21.64	38.00
gőtitben	14.74	2.90
ilmenitben	4.43	-
magnetitben	1.09	-
SiO ₂	13.46	13.10
kankrinitben	6.00	7.50
szodalitokban	7.46	3.80
Mg-Al szilikátban	-	0.80
TiO ₂	5.00	4.40
Na-titanátban	0.56	-
ilmenitben	4.44	-
perovszkitben	-	4.40
CaO	1.54	9.10
kalcitban	-	6.00
dolomitban	1.54	-
perovszkitben	-	3.10
MgO	1.10	1.00
dolomitban	1.10	-
Mg-Al szilikátban	-	1.00
Na ₂ O	9.70	7.80
kankrinitben	4.13	5.20
szodalitban	5.14	2.60
Na-titanátban	0.43	-
izzitási veszteség	7.40	7.00

A feltáró lugot az almásfüzitői üzemből származó sűrűlugból készítettük higitással. A feltárólug összetételét a 3. táblázat tartalmazza. A bauxit bemérést úgy választottuk meg, hogy a kívánt - az üzemihez közelálló - ülepitő lug desztillált vizes higitással előállítható legyen.

3. táblázat

A feltáráshoz használt lug összetétele

a feltárás kód- száma	aktiv Na g $\text{Na}_2\text{O}/\text{l}$	aluminium g $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{l}$
344 - 347	200.0	94.0
348 - 401	203.4	94.0
402 - 407	202.6	94.8
408 - 416	208.7	97.3
417 - 420	204.7	94.0
436 - 455	199.5	93.0
456 - 514	199.6	94.2
515 - 528	201.3	100.0

A feltárást minden esetben 19-20 órás kovasavtalanítás előzte meg 90°C -on. A feltárást 4 literes laboratóriumi autoklávban végeztük 225°C vagy 240°C -on 1 óráig. A feltárás után a zagyot forró desztillált vízzel higitottuk, ezzel egyben a szuszpenzió szilárdanyagtartalmát is közel azonosra állítottuk be. A kezdeti szilárdanyagkoncentráció kb 70 kg/m^3 volt. A vörösiszap kémiai és fázisösszetételét a 4. táblázat tartalmazza.

A vörösiszapszuszpenzióból minder esetben kétszer 200 ml mintát vettünk a szilárdanyagtartalom meghatározásához. A mintákat centrifugáltuk, majd az üledéket forró 40 g NaOH/l koncentrációju higitott feltároluggal kétszer, desztillált vízzel egyszer ujjazagyolva, majd centrifugálva mostuk. Az utolsó mosás után az üledéket szárítószekrényben 110°C-on 24 óráig szárítottuk. A kiszáritott iszap tömegét mérve határoztuk meg a vörösiszapszuszpenzió kiindulási szilárdanyagkoncentrációját.

A megfelelő ülepitőszert hozzáadása után 3.6 l-t ülepedés-vizsgáló berendezésbe töltöttük és 24-48 óráig ülepitettük 95°C-on addig, amig az iszapnivó süllyedése már gyakorlatilag megszűnt.

Az ülepitőszert előkészítése

Kísérleteimhez rozslisztet és a Cyanamid, valamint az ALCLAR cég által készített szintetikus ülepitőszereket használtam. A rozsliszt adagolásának megfelelő mennyiséget közvetlenül a felhasználás előtt desztillált vízben felfőztük.

A szintetikus ülepitőszerek lugban oldódó készítmények, előkészítésük a következő módon történt:

1mól/l koncentrációju NaOH oldószertel 0.1 g/100ml koncentrációju törzsoldatot készítettünk, úgy, hogy a por alaku ülepitőszert a lugoldatban mágneses keverővel addig kevertük, mig a látható inhomogenitások megszűntek. Ez a törzsoldat 3-4 napig károsodás nélkül tárolható és felhasználható. Az ülepitőszert adagolását két módon végeztük. Kezdetben a gyártó

leírása szerint a törzsoldat az adagolásnak megfelelő mennyiségét 0.025 %-osra hígítottuk 1mól/l koncentrációju NaOH oldattal és ezt az oldatot öntöttük a vörösiszapszuszpenzióhoz. Az eljárás hátránya az, hogy bár kis mértékben, de megváltoztatja az ülepitőlug összetételét és a zagy kezdeti szilárdanyagtartalmát. Ezt elkerülendő a törzsoldatot nem oldószerével, hanem az ülepitő luggal hígítottuk, úgy, hogy 200 ml zagy /a szilárdanyagkoncentráció meghatározásához vett minta/ centrifugálásából nyert ülepitő lughoz kevert szintetikus ülepitőszer elegy hozzáöntésével álljon elő az ülepitési lugösszetétel. Ezzel elértük, hogy esetenként maximálisan is csak 30ml 1mól/l koncentrációju NaOH oldatot vittünk a 3600 ml osztérfogatu rendszerbe, így ez a mennyiség lényegében már nem okoz mérésbefolyásoló felhigulást.

2.2. Sugárabszorpciós ülepedésvizsgálat

Az ülepedési folyamat megzavarása nélkül lehet meghatározni egy ülepedő szuszpenzióban a koncentrációeloszlást, illetve annak időbeli változásait, ha a helyi szilárdanyagkoncentrációt nagy áthatolóképességű sugárzás elnyelődésének meghatározásával végezzük el. Az ALUTERV-FKI izotóplaboratóriumában ilyen sugárabszorpciós modell ülepedésvizsgáló /SAMÜ/ berendezés állt rendelkezésemre /33/. A mérés azon alapszik, hogy a keskeny sugárnyalábbal átsugárzott ülepitőcsőben lévő

zagyoszlop által átengedett sugárzásintenzitás a helyi szilárdanyagkoncentráció exponenciális függvénye, feltéve, hogy a lugfázis összetétele és hőmérséklete közben változatlan. A sugárzásgyengülés:

$$I = I_0 \exp / -a \cdot c / \quad /12/$$

ahol I_0 a tiszta lugfázis átsugárzásakor adódó sugárintenzitás, pps,

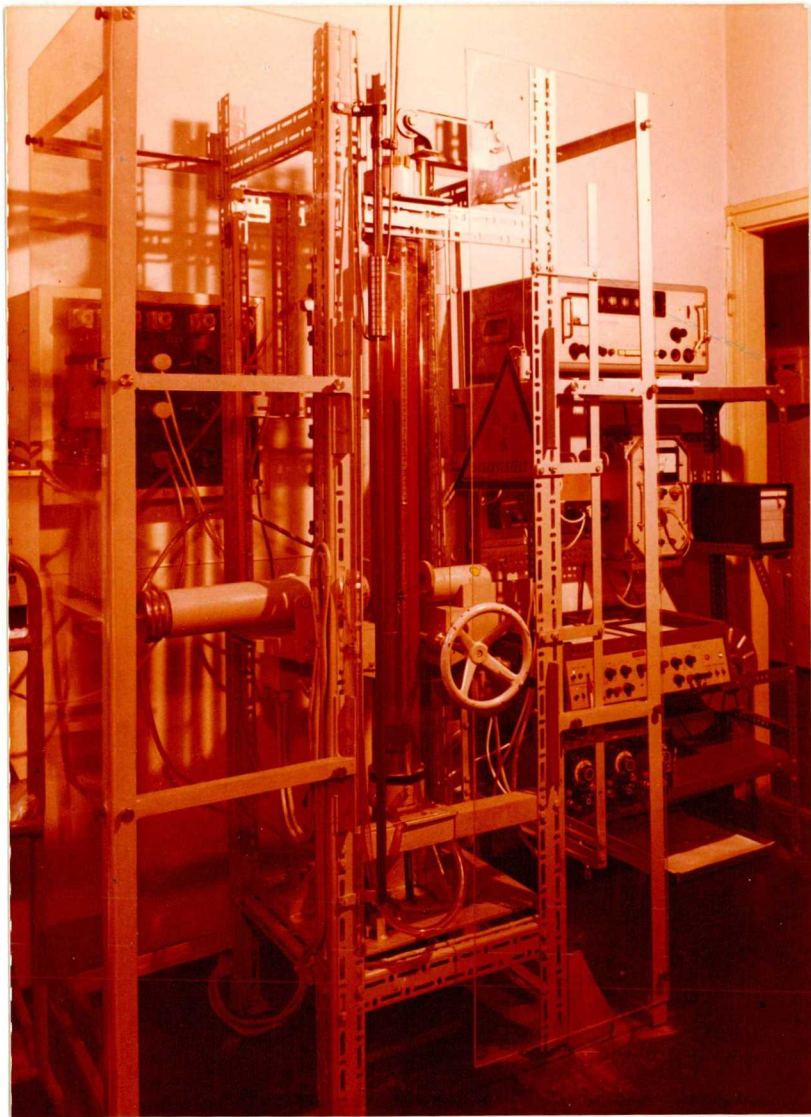
a a sugárzásgyengülési együttható, m^3/kg ,

I a c szilárdanyagkoncentrációju iszaprétegen átjutó sugárintenzitás, pps,

c a zagy szilárdanyagkoncentrációja, kg/m^3 ,

A vizsgálandó vörösiszapzagyot a SAMÜ berendezés temperált, függőleges tengelyű ülepitőcsövébe töltjük, amelyet két oldalról egy liftre szerelt sugárforrás és egy sugárzásdetektor fog közre /5. ábra/. A lift előre beállított időprogram szerinti felmenetelei során egy keskeny sugárnyaláb pásztázza végig a zagyoszlopot. A számlálási sebességet elektronikus mérőrendszer méri és a lift függőleges pozíciója függvényében regisztrálja. Ilyen koncentrációprofilok felrajzoltatásából /3. ábra/ áll a mérés, az ülepedés 24 óráig tartó vagy hosszabb megfigyelése alatt.

Az ülepedés folyamán a tiszta lugfázisból több alkalommal /betöltés után 1/2-1 órával és 24 óra után/ mintát vettünk. E minták Na és Al tartalmán kívül, mely a lug állandóságát jellemző mennyiségek, megmértük a lug sűrűségét és viszkozitását.



5. ábra

Az ALUTERV-FKI sugárabszorpciós modell ülepedésvizsgáló berendezésének fényképe

2.3. Reológiai vizsgálatok

A reológiai mérésekhez részben az ülepedésvizsgálatok során keletkező üledékekből vettünk mintát, részben e vizsgálatokhoz készítettünk a már ismertetett módon vörösiszapot. A méréseket egyrészt teljesen leülepedett szuszpenziókon végeztem, másrészt olyan koncentrációknál, ahol az ülepedési sebesség elegendően kicsi ahhoz, hogy a mérés ideje alatt ne következzen be lényeges változás a homogén koncentrációeloszlásban /a reológiai mérés időszükséglete 1/2-1 óra, az ülepedési sebesség: 10^{-3} , 10^{-4} m/ó/.

A kívánt koncentrációju mintákat a következő módon állítottuk elő: A c_0 kezdeti szilárdanyagkoncentrációju vörösiszapszuszpenziókat 12-24 óráig 90°C -on ülepitettük. A leülepedett iszap fölül annyi lugot szivattunk le, hogy a maradék zagy óvatos összekeverésével a kívánt koncentrációju szuszpenziót nyerjük. Ebből vettünk mintát a reológiai mérésekhez.

Az előkészített szuszpenziók folyásgörbéit két műszerrel, Epprecht típusu RHEOMAT-15 rotációs viszkoziméterrel és RHEOTEST-2 NDK gyártmányu rotációs viszkoziméterrel mértem.

A RHEOMAT-15 rotációs viszkoziméter motorjának fordulatszáma 15 fokozatban változtatható 5.61-352 l/min fordulatszámhatár között. A készülék közvetlen leolvasásu, a mérendő anyag viszkozitásával arányosan elforduló

szálra függesztett meghajtóegység elfordulását méri. Mérési tartománya $2.91 \cdot 10^{-4}$ Pa.s - $1.29 \cdot 10^4$ Pa.s. Nyirástartománya a különböző mérőösszeállításokban 0.22 - 1635 N/m². Méréseimet az MS-0 kétréses mérőedényben végeztem. Az álló rész keskeny réssé van kiképezve, ebbe illeszkedik a rotor. A rotor belső palástja és a sztátor temperált magja közt Cuette-, a rotor külső palástja és a sztátor fala közt Searle típusu folyás játszódik le.

A RHEOTEST-2 rotációs viszkoziméter mérési tartománya 0.1 - $1.8 \cdot 10^6$ Pa.s. A fordulatszám $5/18$ - 243 1/perc között változtatható 24 fokozatban, ami a különböző mérőrendszerekben 0.2 - $1.3 \cdot 10^3$ 1/s sebességgradiens tartományt jelent. A készülék 1.6 - $3 \cdot 10^3$ N/m² tartományban mér. A méréseket az NN jelű edényben végeztem, mely a RHEOMAT-15 MS-0 mérőrendszerével megegyező összeállítás.

A méréseket mindkét készülékben $90^{\circ}\text{C} \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten végeztem. A mérendő mintát előzőleg felmelegített mérőrendszerbe töltöttem, így csupán 2-3 percre volt szükség a temperáló folyadék és a hengerek hőegyensúlyának kialakulásához. Minden méréssorozatban meghatároztam az ülepitőlugból vett átlagminták viszkozitását is.

Növekvő sebesség gradienseknél minden nyirási sebességnél megvártam, amíg az egyensúly beáll és az

egyensúlyi nyirási feszültség értékeket határoztam meg. Az egyensúlyi folyásgörbe végső lineáris szakaszának meredekségéből kiszámítottam a plasztikus viszkozitást $/\eta_{pl}/$; e szakasz extrapolálásából pedig a τ_B Bingham-féle folyáshatárt. A folyásgörbe egyensúlyi felszálló ágának felvétele után minden esetben megmértem a nyírássebesség csökkentésével a folyásgörbe leszálló ágát.

3. KISÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

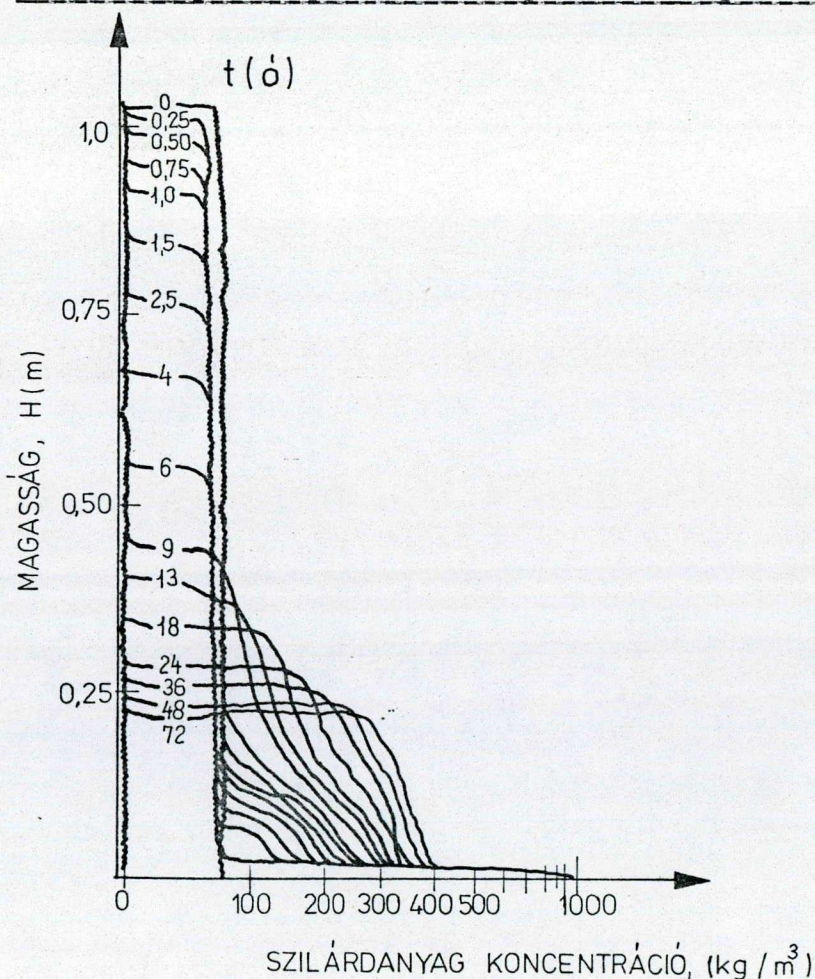
3.1. Ülepítési kísérletek

A sugárabszorpciós ülepítési kísérletek eredménye a 3. ábrán bemutatotthoz hasonló koncentráció profilgörbe sorozat. Az ülepítés kezdetén $t_1=0$ ó időpontban van regisztrálva az első profilgörbe. Ez függőlegesen halad H_1 iszapnivó magasságig és mutatja, hogy kezdetben homogén a szilárdanyag szuszpenzióbeli eloszlása, az ülepítőcsőben c_0 a szilárdanyag koncentráció. A H_1 magasságban - az iszapnivó magassága - a szilárdanyag-koncentráció ugrásszerűen zérusra csökken. A $t_2=0.25$ ó időpontban regisztrált 2. koncentrációprofil futása már mutatja a tömörödési zóna kialakulását. Az ülepítőcső alján a szilárdanyag-koncentráció már jóval nagyobb c_0 értékénél, majd fokozatosan csökken a kezdeti értékig $/h_2$ magasságig/. Ettől kezdve, egészen a H_2 magasságig a kezdeti szilárdanyag-koncentráció mérhető. H_2 az iszapnivó magassága. A h_2 magasságig terjedő alsó rész a tömörödési zóna, ezt követi h_2-H_2 intervallumban az u.n. gátolt ülepedés zónája, majd H_2 magasság fölött a tiszta folyadék zónája található.

Az ülepedési idő előrehaladtával az ülepedési-tömörödési folyamat is előrehalad. Az ülepítőcső alján nő az iszap tömörsége, megnő a tömörödési zóna kiterjedése, a koncentrációállapotok fölfelé haladnak. A gátolt

üledés zónája egyre kisebb, nő a tiszta zóna kiterjedése. Amikor az egyre csökkenő kiterjedésű gátolt üledés zónájának a tiszta folyadékkal alkotott határfeülete eléri a tömörödési zóna határát, azaz elfogy a gátolt üledés zónája, megszűnik a szilárdanyag betáplálás a tömörödési zónába $/H_3$ magasságban/. Ettől kezdve csökken a tömörödési zóna kiterjedése is, a gravitációs üledés által meghatározott végállapotig.

3.1.1. Vörösiszapszuszpenziók üledése ülepítőszernélkül



6. ábra Sugárabszorpciós modell üledésvizsgáló berendezéssel regisztrált koncentrációprofilok 72 órás sztatikus üledésvizsgálat során

Az ülepitőszer nélkül ülepedő vörösiszap-suszpenzió profilgörbéinek /6. ábra/ legszembeötlőbb jellegzetessége, hogy az ülepedés kezdetén a vörösiszap durva frakciója gyorsan kiülepszik.

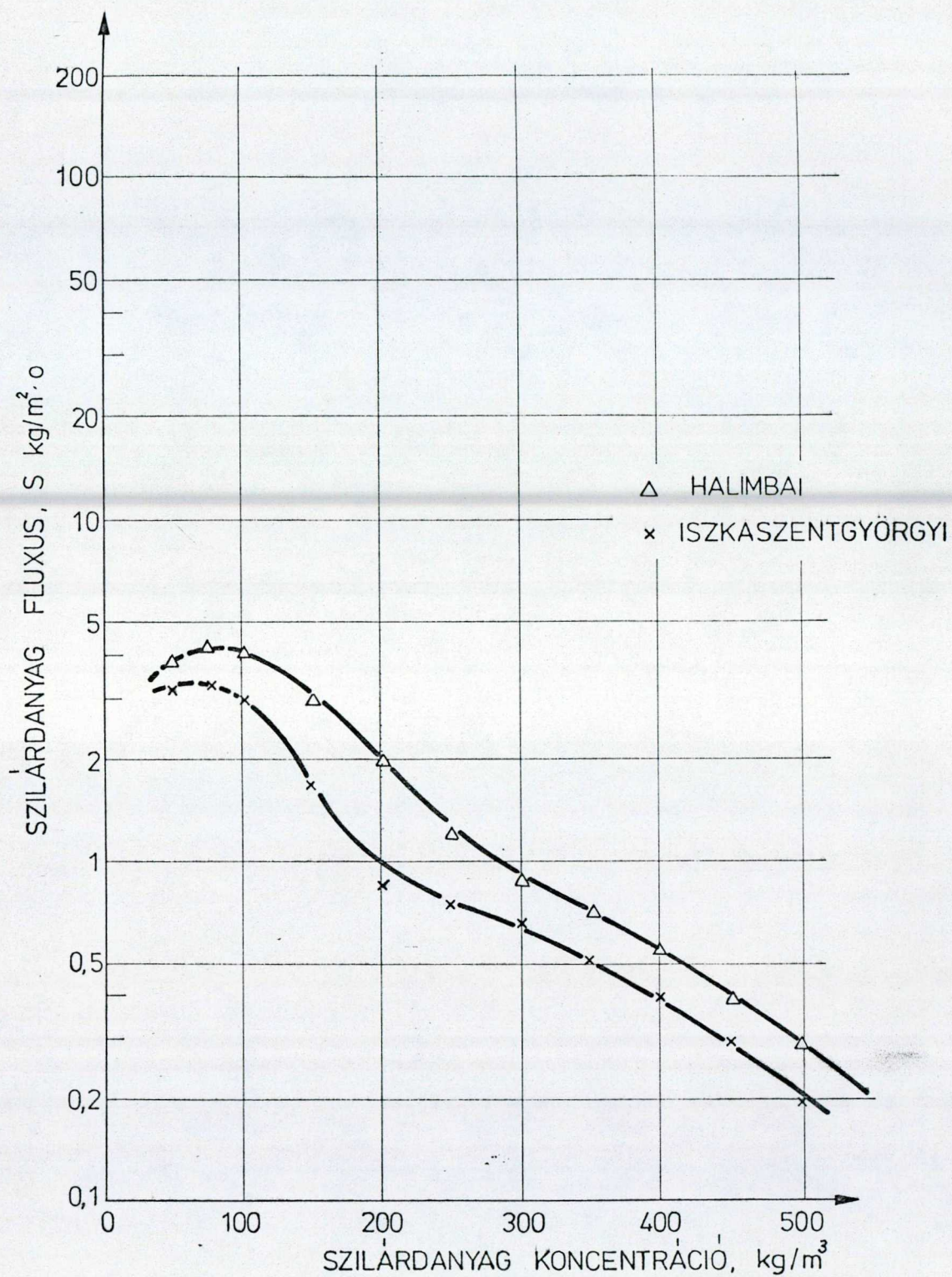
Az ülepedés 15. percében regisztrált 2. profilgörbe kisebb, de homogén koncentrációeloszlású a gátolt zónában, és kialakul az ülepitő alján egy nagy szilárdanyagkoncentrációjú tömör réteg, amely az ülepedés során változatlan marad. A koncentrációprofilok ezen eltéréstől eltekintve hasonlóak a 3. ábra szerinti profilgörbékhez.

A koncentrációprofilok kiértékelését számítógéppel végeztem, meghatároztam a szilárdanyag statikus ülepedési fluxusgörbéjét a szilárdanyagkoncentráció függvényében. /Részletesebben a függelékben/

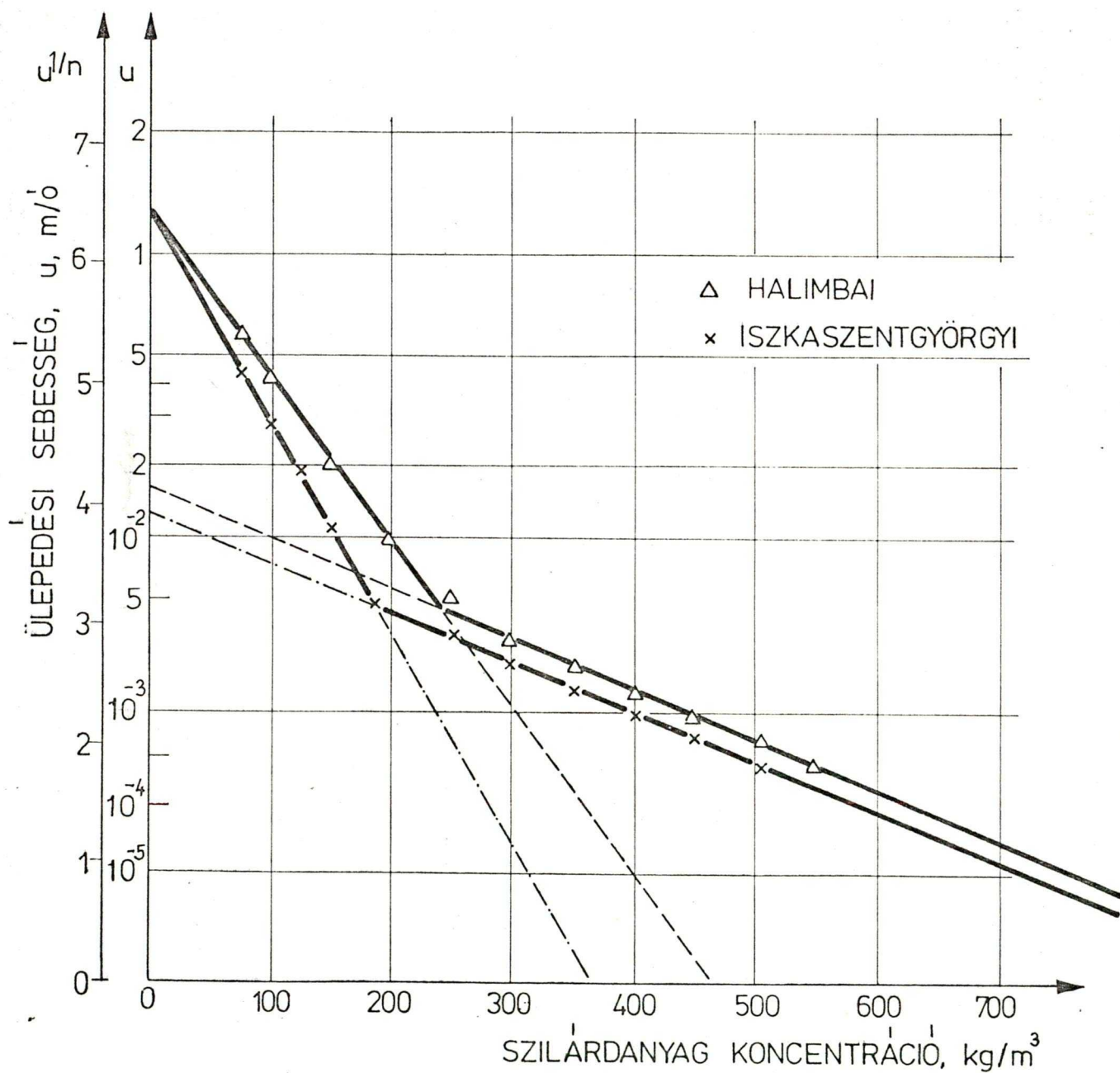
Az ülepitőszer nélkül ülepedő vörösiszap-suszpenziók- és hasonló fajtázódó szuszpenziók profilgörbéinek kiértékelésekor - figyelmen kívül hagytam a kihullott fázist, mert ez az ülepedés első perceitől eltekintve nem vesz részt a folyamatban.

A 7. ábrán az iszkászentgyörgyi és a halimbai bauxit azonos feltárásával nyert vörösiszap-suszpenziók ülepedési fluxusdiagramjai láthatók.

A fluxusdiagramból az /5/ egyenlet szerint meghatározható az ülepedő vörösiszap különböző koncentrációállapotaihoz tartozó ülepedési sebesség.



7. ábra Iszkaszentgyörgyi és halimbai bauxitból feltárt
vörösiszapok sztatikus ülepedési fluxusdiagramja
ülepitőszer nélkül



8. ábra Iszkaszentgyörgyi és halimbai bauxitból feltárt
vörösiszapok ülepedési-sebesség diagramja, ülepitőszernélkül

5. táblázat

Ülepitőszer nélkül ülepitett vörösiszapszuszpenziók hely-
paraméterei

kód	u_{01} m/ó	d_1 μm	u_{02} m/ó	d_2 μm	α_1	α_2	C_{cp} kg/m ³
540	0.13	18	0.013	3.60	8.5	3.3	180
515	0.13	14	0.017	5.0	6.3	3.2	249

ahol 540 Iszkaszentgyörgyi bauxit 240° C-on kavasavtalanítás után 1.9 % CaO adalékkal feltárt vörösiszapja,

515 Halimbai bauxit 240° C-on kavasavtalanítás után 3 % CaO adalékkal feltárt vörösiszapja.

A 8. ábrán látható a két vörösiszapszuszpenzió koncentráció-ülepedési-sebesség diagramja. Az ülepedési sebesség 1/4.65-ik hatványát ábrázoltam a szilárdanyag-koncentráció függvényében. A mérési pontokra két egyenes illeszthető mindegyik iszapnál. Egy a kisebb szilárdanyag-koncentrációhoz tartozó adatokra, egy pedig egy átmeneti tartomány után a nagy szilárdanyag-koncentrációhoz tartozó adatokra. A tengelymetszetekből meghatároztam mindkét egyenesre a Stokes-féle ülepedési sebességet $/u_0/$, ebből az ülepedő specieszek átlagos átmérőjét $/d/$ és az $u=0$ tengelymetszetből az α folyadék immobilizálási tényezőt, valamint a sebességdiagram két egyenes szakaszának metszéspont-

jával kijelölt C_{cp} kollapszuspon-ti szilárdanyag-koncentrációt. Az adatok az 5. táblázatban találhatók.

Az adatokból kitűnik, hogy bár a rendszerhez ülepítőszert nem adtunk, az ülepedés első szakaszára meghatározott ülepedő egységek átmérője legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint a vörösiszapszuszpenziók finom frakciójának átlagos μm -körüli, vagy kisebb/ szemcsemérete. Ez azt jelenti, hogy a durva frakciótól eltekintve a szuszpenzióban a primer szemcsék rögökbe egyesülve mozognak. A kialakuló rögök /a továbbiakban az ilyen módon kialakult szemcse-csoportosulást "rög"-nek nevezem/, folyadékot zárnak magukba. A bezárt és a primér szemcsékhez adszorptíven kötött folyadék mennyiségét jellemző számszerű érték az α tényező, amely az egységnyi térfogatu szilárdanyagot tartalmazó rög térfogata. Látható, hogy az ülepítőszer nélkül ülepített vörösiszapszuszpenzió ülepedésének első szakaszában a rögök 6-8-szor nagyobb térfogatu folyadékot tartalmaznak, mint a bennük foglalt szilárdanyag térfogata. Az ülepedés második tartományában /a nagy szilárdanyag-koncentrációju tömörödési tartományban/ is két-háromszor nagyobb a rögbeli folyadéktérfogat a szilárdanyag térfogatnál. A rögök mérete is többszöröse a primér szemcsék átmérőjének.

A végső leülepedett állapotban az üledék szilárdanyag-koncentrációja $300-600 \text{ kg/m}^3$ közötti tartományba esett. Az ehhez tartozó átlagos szilárdanyag térbetöltés $\phi = 0.1-0.2$ körüli. Az $\alpha_2 = 3.2-3.3$ tényezővel számolva az ülepitőcső fenekén mindkét bauxit vörösiszapjára a rögök térbetöltése 0.74-nek adódott. Azonos méretű gömbökből álló szuszpenzióknál ez éppen a maximálisan elérhető térbetöltés. Ez arra utal, hogy a végső állapotot megelőző ülepedés közben a rögök stabilitása nagyobb, mint az ülepedés miatti folyadékfeláramlás során fellépő nyirófeszültségek. Ellenkező esetben, ugyanis, ha tudniillik a rögök stabilitása kisebb volna, és így azok szétbomlásával a primér vörösiszapszemcsék jelentenék az ülepedő egységet, ezek 0.1-0.2 térbetöltése miatt további ülepedés jöhetne létre. A rögök tehát a végső leülepedett állapotban is jelentős mennyiségű folyadékot tartalmaznak bezárva. Azt, hogy e rögök nem a primér szemcsék, bizonyítja az is, hogy centrifugálással kétháromezer g-s gyorsulásnál a leülepedett iszap további ülepedésre birható. A centrifugálással előállított üledék kiszáritással meghatározott folyadéktartalma 2 körüli α tényezőnek felelnek meg. Ez a folyadékmennyiség valószínűleg már adszorptív kötéssel, illetve a szolvatált primér szemcsék alkotta szerkezet hézagaiban helyezkedik el, a szemcsékről csak szárítással távolítható el.

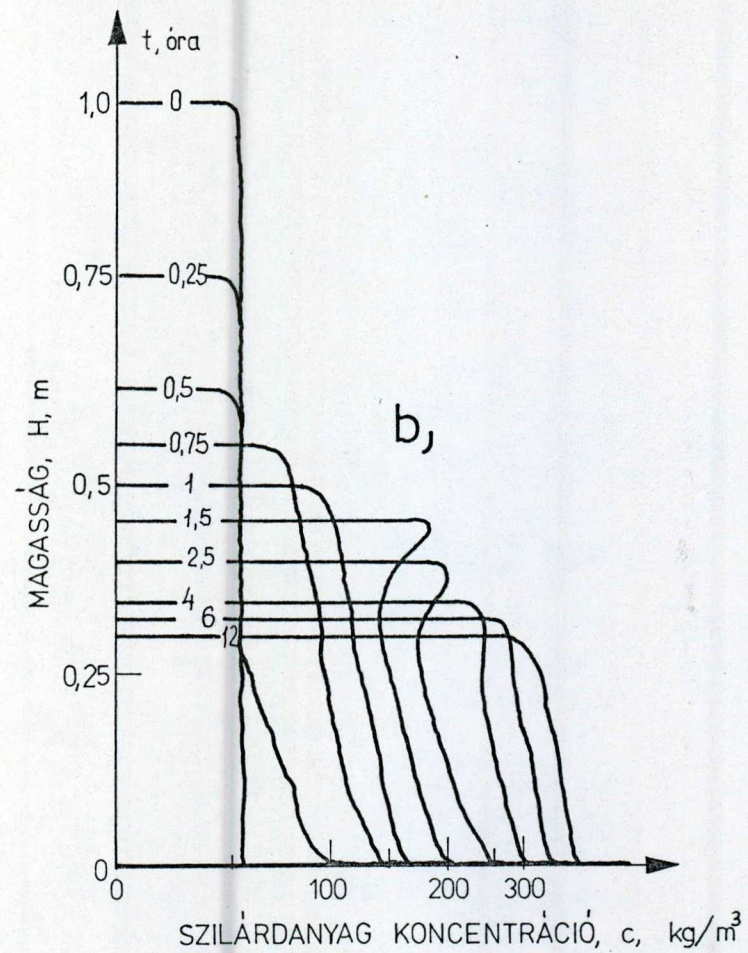
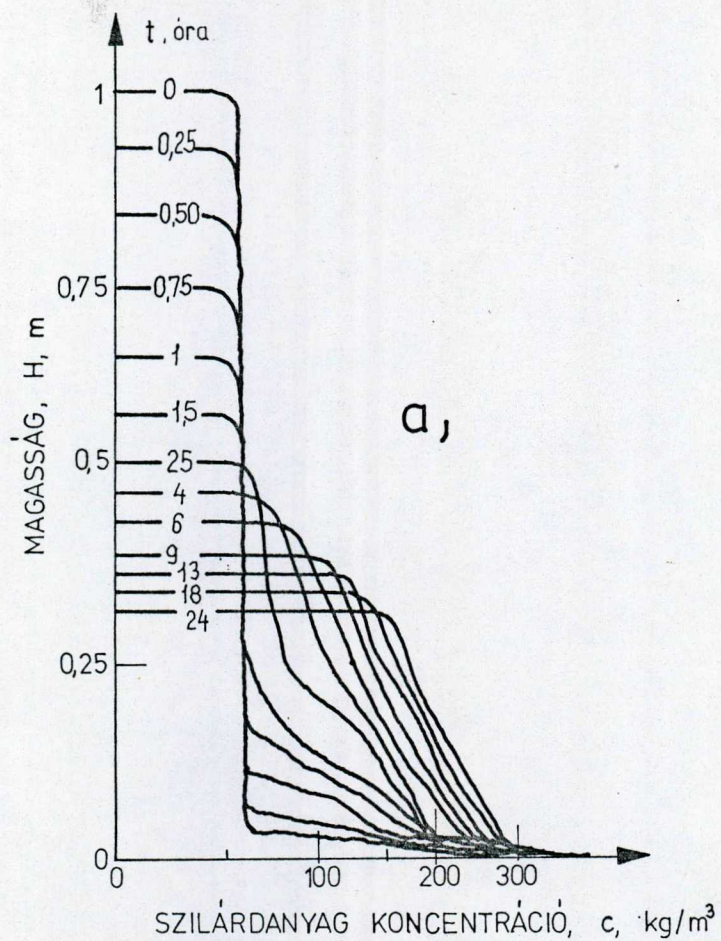
3.1.2. Az ülepitőszerek hatása a vörösiszapszuszpenzió üle-
désére

Ha elegendő mennyiségű ülepitőszert adagolunk a vörösiszapszuszpenzióhoz, akkor a 3. ábrán látható típusú profilgörbesorozatot mérjük. Nem jelentkezik szegregáció, és gyorsabb a kezdeti ülepedés is, mint ülepitőszer nélkül. A szuszpenzió éles határfelülettel ülepszik. Az ülepedés kezdeti szakaszában, rövidebb-hosszabb ideig van egy olyan tartománya az ülepedő szuszpenziónak, ahol a szilárdanyagkoncentráció állandó, kollektív ülepedés zajlik. A kollektív ülepedésben résztvevő különböző méretű részecskék között az ütközések révén folytonos impulzuscsere zajlik, a "lemaradó" kisebb szemcsék a nagyobbakkal ütközve felgyorsulnak, miközben a nagyobb szemcsék veszítenek a sebességükből. Így nem jöhet létre fajtázódás. Ugy tekinthető tehát az ülepedés, hogy egyforma méretű specieszek süllyednek a folyadékban.

A fajtázódás megszűnése azt is jelzi, hogy az ülepitőszer összekapcsolja a szilárdanyag durva és finomabb frakcióját.

A fent leírt esettől eltérő típusú profilgörbesorozatokat is mértünk /9.a.,b. ábra/. A 9.a. ábrán bemutatott ülepedési koncentrációprofilok hasonlóak az ülepitőszer nélkül ülepitett szuszpenziókhoz: ez





9. ábra

Nem jól flokkulált szuszpenziók koncentrációprofiljai

a./ kevés ülepitőszerral adagolt iszap profiljai

b./ tuladagolásakor létrejövő irreguláris koncentrációprofilok

azt jelenti, hogy az adagolt ülepitőszer nem volt elegendő a szegregáció teljes megszüntetéséhez, azaz a jó flokkulációhoz.

A 9b. ábrán látható profilgörbék közül egyeseken az iszapnivó alatt van egy olyan réteg, melyben a szilárdanyag-koncentráció nagyobb, mint a mélyebben lévő rétegekben, szélsőséges esetben a fenéken mérhető koncentrációt is eléri. A gyakorlati tapasztalat az, hogy ilyen típusu görbék az ülepitőszer túlada-golás következményeként jönnek létre. Ebben az esetben nagy méretű laza pelyhek keletkeznek. Ezek a pelyhek igen gyorsan ülepednek. Az ülepitőcső aljáról kiszoruló és feláramló folyadékhoz viszonyított nagy relatív sebességgel mozgó pelyhek felületén ható nyíróerők hatására megváltozik az iszap szerkezete. E jelenség éppen az iszapfelszín közelében a legnagyobb mértékű, itt a legnagyobb a relatív sebesség, mert legnagyobb a folyadék feláramlás térfogati fluxusa. A létrejött kisebb méretű, kisebb α tényezőjű pelyhekből így nagyobb szilárdanyag-koncentráció jön létre. Az üledék rendkívül éles határfelülettel ülepszik. Ez a nagy szilárdanyag-koncentrációju réteg az ülepedés során mindvégig megmarad az ülepedő iszap felszínén, és ez az irregularitás az alsóbb rétegek később bekövetkező szerkezet átalakulásával szűnik meg.

A koncentrácioprofilok e három típus valamelyikébe történő sorolásával, már a profilgörbék lefutásából közelítőleg megállapítható, hogy az alkalmazott ülepítőszer elegendő mennyiségű-e az iszap jó flokkulálásához.

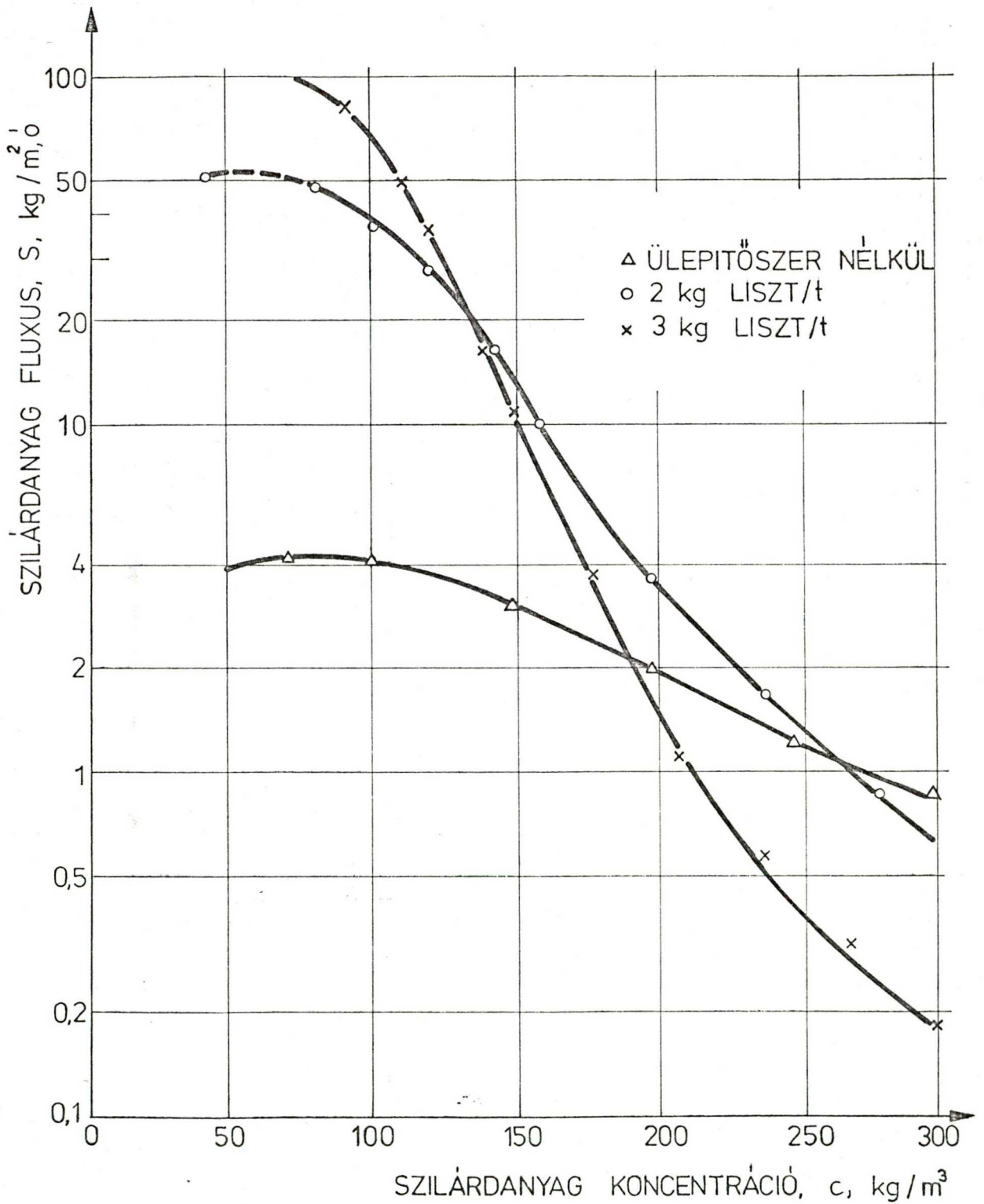
3.1.3. Az ülepítőszer mennyiségének hatása az ülepedési fluxusra és az ülepedést jellemző mennyiségekre

A 10-12. ábrákon azonos ülepítőszer különböző mennyiségével flokkulált szuszpenziók ülepedési fluxusdiagramjai hasonlíthatók össze. Látható, ha növekszik az ülepítőszer mennyisége, akkor a kisebb szilárdanyag-koncentrációk tartományában nő az ülepedési fluxus.

Ezzel párhuzamosan azonban a nagyobb koncentrációknál, azaz a tömörödési tartományban, kisebb lesz az ülepedési fluxus. Az üzemi ülepítőben a tapasztalatok szerint egyensúlyi üzemben 200 kg/m^3 körüli, és ennél nagyobb szilárdanyag-koncentrációk mérhetők.

Egy ülepítőszer optimális mennyiségének megválasztásához tehát nem elegendő a kezdeti ülepedési sebesség meghatározása, hanem meg kell határozni a szuszpenzió tömörödési tulajdonságait is.

A 10. ábrán halimbai bauxit egyforma feltárásával nyert vörösiszapszuszpenziók különböző mennyiségű liszttel történt ülepítésének fluxusdiagramjai láthatók.



10. ábra

Lisztadagolás hatása halimbai bauxit vörösiszapjának sztatikus ülepedési fluxusdiagramjára

6. táblázat

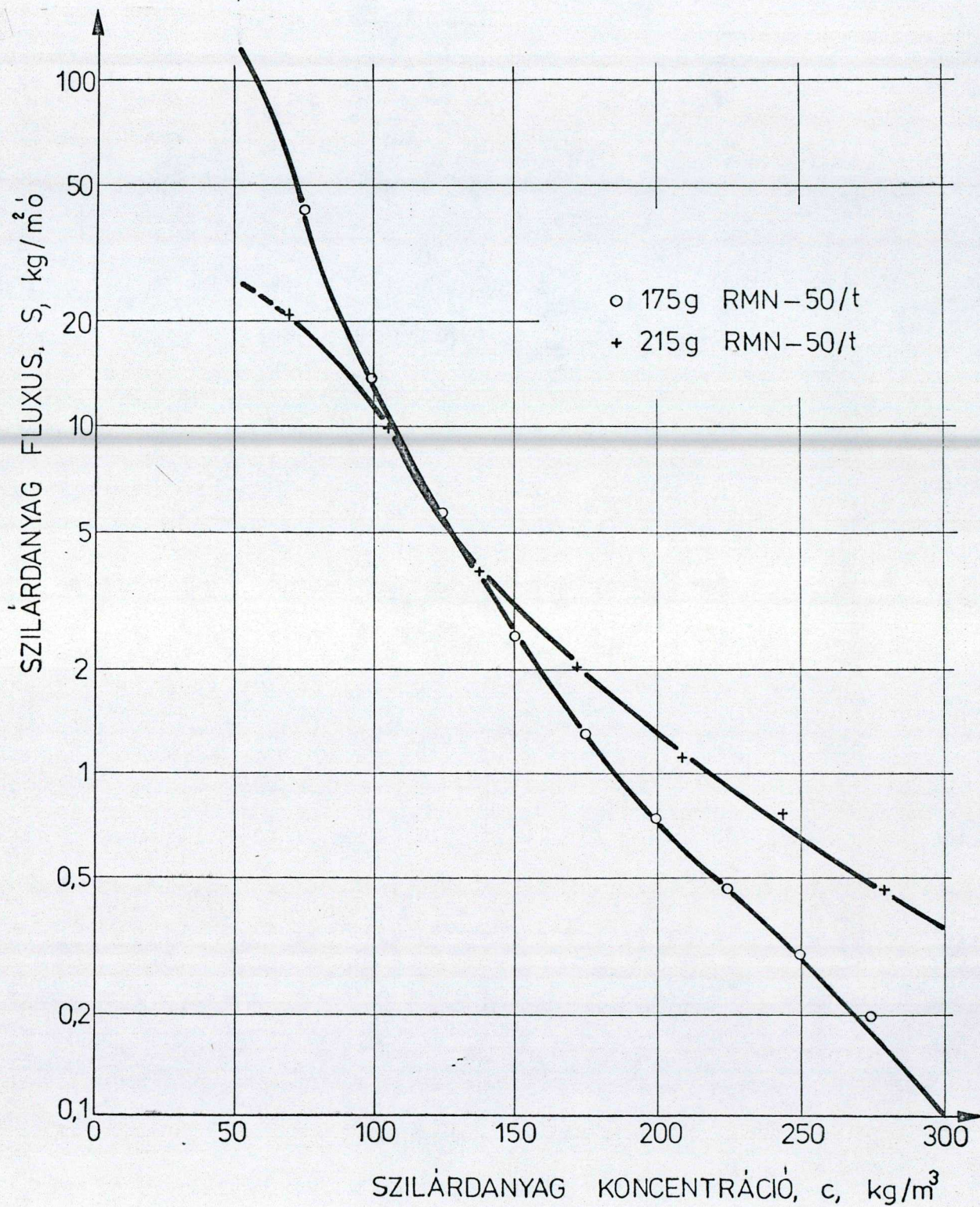
Halimbai bauxit 240°C-on kovasavtalanítás után 3 % CaO adalék-
kal feltárt iszapjának pehelyparaméterei liszt ülepitőszer
esetén

kód	ülepi- tőszer	adag g/t _i	u ₀₁ m/ó	d ₁ μm	u ₀₂ m/ó	d ₂ μm	α ₁	α ₂	C _{cp} kg/m ³
515			0.13	14	0.017	5	6.3	3.2	249
526	liszt	2000	2.47	99	0.070	12	9.9	5.2	215
516	liszt	3000	5.02	180	0.100	18	11.5	6.8	192

Az 526. sorszámú ülepedés koncentrácioprofiljai a 9.a. ábrán bemutatotthoz hasonló. Tehát a 2000 g liszt vörösiszap tonnánként nem elegendő az iszap teljes flokkulációjához, az ülepedő szuszpenzió részben fajtázódik. A 6. táblázat tartalmazza a halimbai bauxit iszapjának lisztes ülepitését jellemző paramétereket. A liszttel ülepitett szuszpenziók ülepedésének második szakaszára meghatározott átlagos pehelyátmérők és immobilizációs tényezők körülbelül az ülepitőszer nélkül ülepitett iszap első szakaszára talált értékeknek felelnek meg. Ez a tény alátámasztja azt az elképzelést, hogy az ülepitőszer nem a primér szemcséket kapcsolja pelyhekké, hanem az ezekből már előbb képződött rögöket. A kollapszusponthi koncentrációnál bekövetkező átalakulás lehetséges magyarázata az, hogy a kezdeti d₁ átlagos átmérőjű pelyhek d₂ átmérőjűvé töredeznek szét és közben, mint azt az α tényező csökkenése mutatja, jelentős mennyiségű bezárt folyadék szabadul ki a pelyhekből. Érdekes

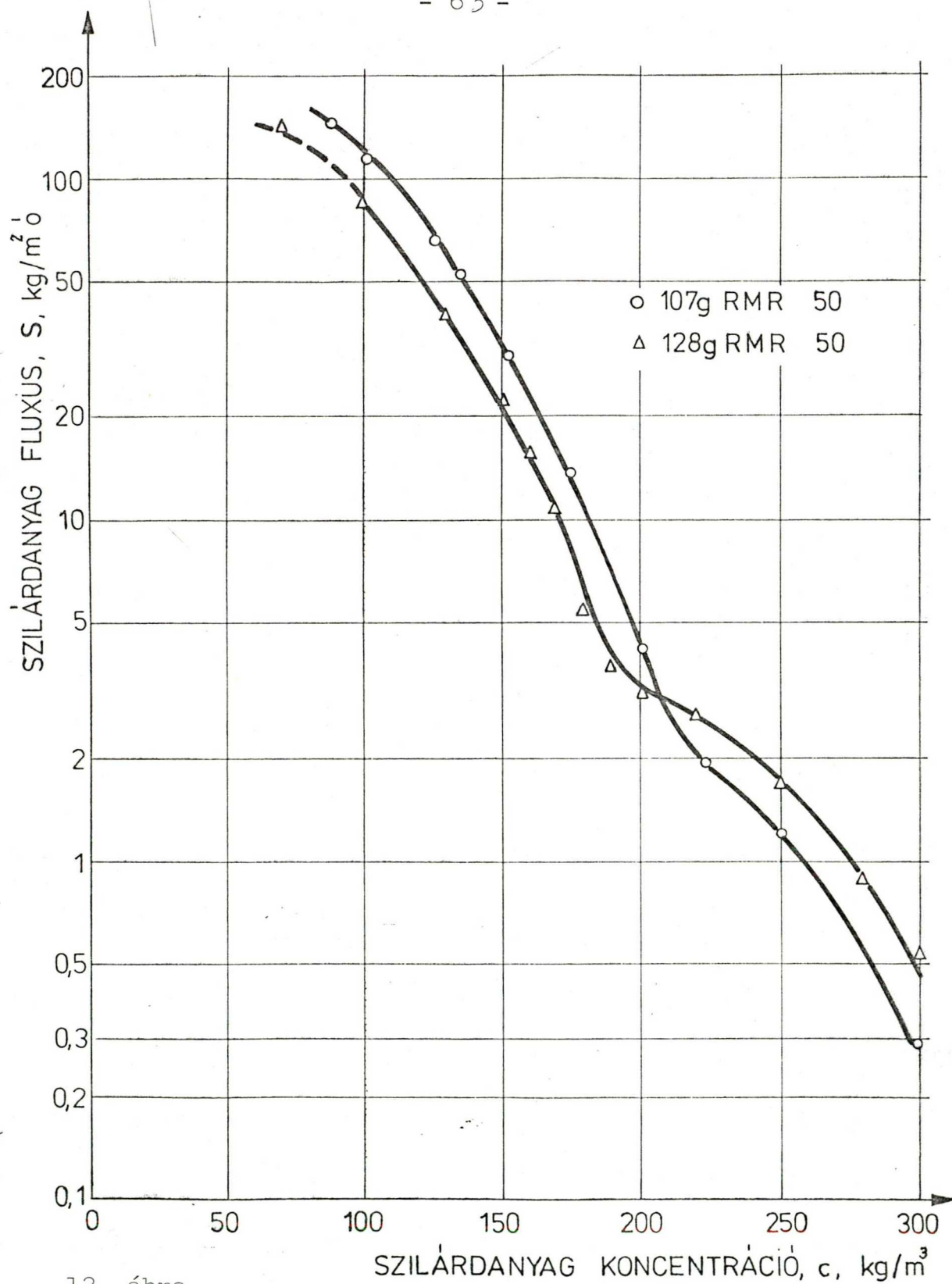
megvizsgálni, hogyan alakul a pelyhekre vonatkoztatott térbetöltés a kollapszuspontban. A 2000 g liszt/t iszap flokkuláns adagolás esetén a pelyhek kollapszuspontbeli térbetöltése 0.71, az iszap tonnánkénti 3000 g liszt adagoláskor 0.74. A kollapszusponti térbetöltés tehát növekszik az ülepitőszer mennyiségével. A pelyhek széttörését az ülepedés során fellépő viszkózus nyiróerők idézik elő, akkor, amikor a nyiróerők meghaladják a pelyhek szilárdságát. Látható, hogy a pelyhek szilárdsága a nyiróerőkkel szemben nő, ha az ülepitőszer mennyiségét növeljük. Ha a kollapszuspont koncentrációjára a második szakaszra jellemző pehelyparaméterekkel számítjuk ki a pehely térbetöltését, akkor ez 2000 g /t lisztadagoláskor 0.37, míg a 3000 g/t esetén 0.44-nek adódik. Ez a térbetöltés csökkenés nyitja meg az utat a további ülepedés előtt. Ugyanakkor kiszámítható, hogy azonos, pl 250 kg/m^3 szilárdanyagkoncentrációhoz nagyobb pehelytérbetöltés tartozik a több liszttel ülepitett esetben, így az ülepedés sebessége és szilárdanyag-fluxus kisebb, mint a kevesebb lisztet tartalmazó vörösiszap esetében. A különböző dózissal flokkulált iszapok fluxusdiagramjának futásában mutatkozó jellegzetesség tehát pehelyszilárdsággal jól értelmezhető.

Hasonló a helyzet a szintetikus ülepitőszerrel ülepitett szuszpenziók esetében is. A 11. ábrán és a



11. ábra

CYANIMID RMN-50 ülepitőszer adagolás hatása iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapjának sztatikus ülepedési fluxusdiagramjára



12. ábra

CYANAMID RMR-50 ülepitőszer adagolás hatása iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapjának sztatikus ülepedési fluxusdiagramjára

7. táblázatban az iszkaszentgyörgyi bauxit vörös-
iszapjának CYANAMID RMN-50 jelű szintetikus készít-
ménnyel történt ülepitésének eredményei láthatók.

A 170 g/t ülepitőszer a profilgörbék futása alapján
kevésnek, 215 g/t jónak bizonyult.

7. táblázat

Iszkaszentgyörgyi bauxit 240°C-on kovasavtalanítás után
1.9 % CaO adalékkal feltárt iszapjának ülepedési jellemzői
CYANAMID RMN-50 ülepitőszer esetén

ülepí- tőszer	adag g/t _i	u ₀₁ m/ó	d ₁ μm	u ₀₂ m/ó	d ₂ μm	α ₁	α ₂	C _{cp} kg/m ³	α ₁ $\frac{C_{cp}}{g_{sz}}$	α ₂ $\frac{C_{cp}}{g_{sz}}$
RMN-50	170	1.50	92	0.013	13	13.2	3.95	163	0.72	0.21
RMN-50	215	4.89	183	0.075	15	15.4	7.40	143	0.73	0.33

8. táblázat

Iszkaszentgyörgyi bauxit 240°C-on kovasavtalanítás után
1.9 % CaO adalékkal feltárt iszapjának ülepedési jellemzői
CYANAMID RMR-50 ülepitőszer esetén

ülepí- tőszer	adag g/t _i	u ₀₁ m/ó	d ₁ μm	u ₀₂ m/ó	d ₂ μm	α ₁	α ₂	C _{cp} kg/m ³	α ₁ $\frac{C_{cp}}{g_{sz}}$	α ₂ $\frac{C_{cp}}{g_{sz}}$
RMR-50	107	8.03	231	0.21	23.1	11.6	6.3	190	0.73	0.21
RMR-50	128	10.01	208	0.19	22.0	11.3	6.5	201	0.77	0.33

Az ülepitőszerszám tulajdágolásának hatását a 8. táblázat és a 12. ábra mutatja be. Ebből kitűnik, hogy tulajdágolás esetén az ülepedés másodík szakaszán a pehelyátmérő és a Stokes-féle ülepedési sebesség is csökken a jól flokkulált iszap hasonló paramétereihez képest. A kisebb pehelyátmérő ellenére nagyobb mennyiségű folyadékot tartalmazó pelyhekre nézve a térbetöltés nagyobb a kollapszuspont után, és így e kettős hatás még jobban rontja a szuszpenziók tömörödési tulajdonságait.

A szuszpenziók végső átlagos térbetöltése általában 0.52-0.74 közé eső érték, a másodík tartomány pelyheire számítva. A kollapszuspontbeli térbetöltés is ezen értékek közt mozog az első szakasz pelyheire vonatkoztatva. Merev azonos méretű gömbökre $n=6$ koordinációs számhoz 0.52, $n=12$ koordinációs számhoz 0.74 maximális térbetöltés értékek tartoznak^{/52/}.

Az, hogy az általunk talál pehelyparaméterek mellett, a mért kollapszuspontbeli térbetöltés ez értékek közé esik, azt jelenti, hogy a kollapszuspontban az ülepedés abbamaradna, ha nem következne be a szerkezet átalakulása, szétesése. A végső állapotbeli átlagos szilárdanyag-koncentrációt éppen a másodík szakaszban meglévő pelyhekre vonatkoztatott térbetöltés határozza meg. Gravitációs ülepedés körülményei között a végső állapotban a vörösiszapszuszenziók átlagos szilárd-

anyagkoncentrációja $300-400 \text{ kg/m}^3$ körüli érték. Az átlagos szilárdanyag-térbetöltés 0.12 körüli érték, ami azt jelenti, hogy az üledék térfogatának mintegy 90 %-a folyadék. Ha a pelyhekre vonatkoztatott térbetöltést vesszük a folyamat meghatározó tényezőjének, akkor érthető, hogy az ülepedés már ilyen kis szilárdanyag-koncentrációnál véget ér. A rögök stabilabb képződmények, mint az első szakasz pelyhei, kicsi az ülepedési sebességük is, így a lassu tömörödési folyamat során általában nem alakulnak ki szilárdságukat meghaladó nyirófeszültségek. Néhány esetben, főként szintetikus ülepitőszerszel ülepitett halimbai bauxit vörösiszapjánál, előfordult, hogy az ülepedési sebességdiagramon nem egy, hanem két töréspontot találtunk. A 13. ábra sebességdiagramján és a 9. táblázatban egy ilyen ülepités adatai szerepelnek. Ilyen eset általában olyankor fordul elő, amikor az ülepitőszers viszonylag kevés, és nagy a második szakaszban mért ülepedési sebesség.

3.1.4. Az ülepitőszers minőségének hatása a vörösiszap ülepedésére

A 14. ábrán iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapjának 3000 g/t_i liszttel, és különböző optimális adagu szintetikus ülepitőszerszel ülepitett szuszpenziók ülepedési fluxusdiagramjai láthatók. A megfelelően kiválasztott szintetikus ülepitőszersből a liszthez képest

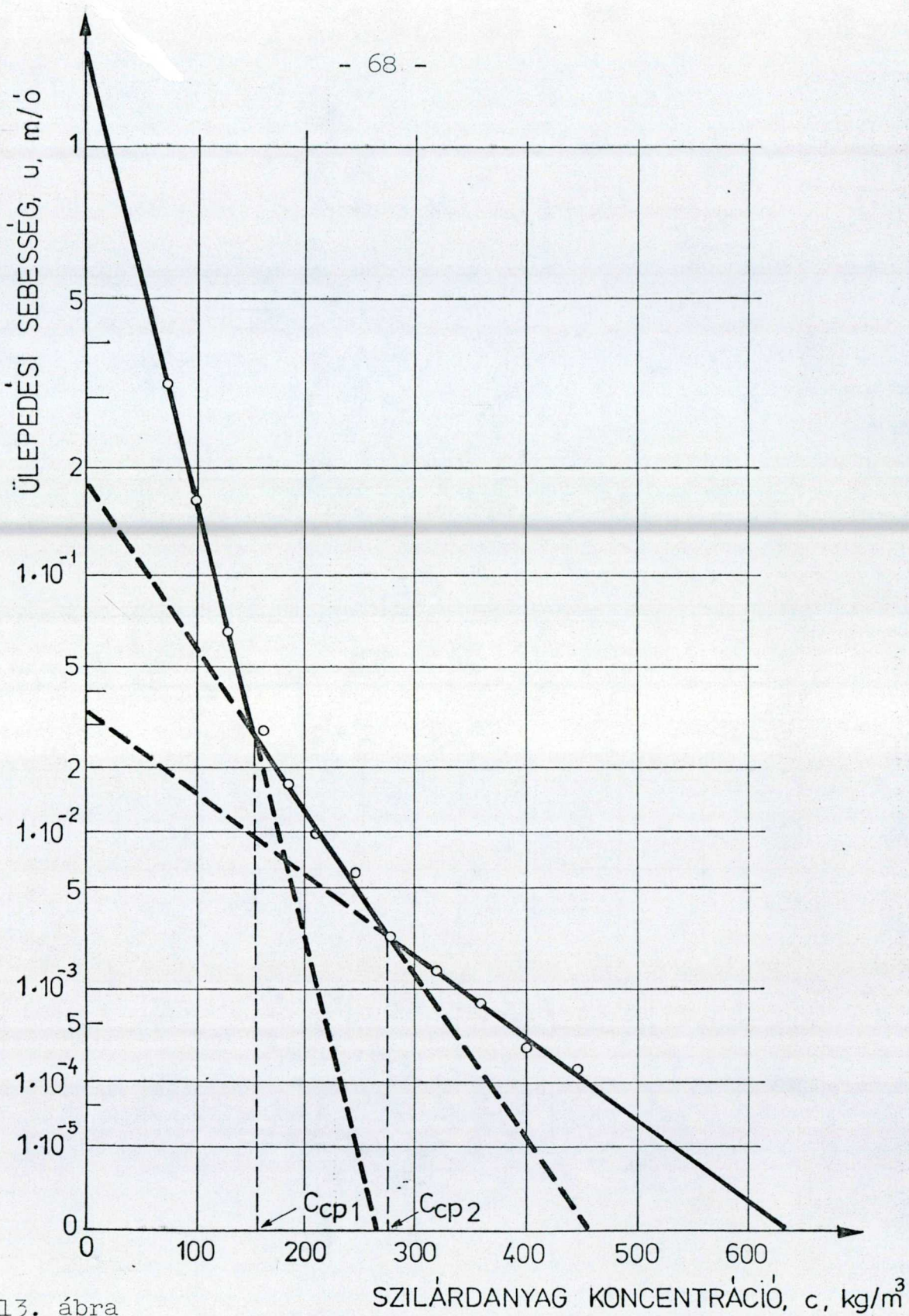
töredék mennyiség két-háromszor nagyobb ülepedési flxust eredményez. Ennek az a magyarázata, hogy a liszt szerves anyagainak nem teljes része hatásos és így adszorpciója sem teljes a szilárd fázison^{/30/}. A szintetikus készítmények adszorpciója viszont teljes és irreverzibilis^{/38/}.

9. táblázat

Halimbai bauxit 240°C-on kovasavtalanítás után 3 % CaO adalékkal feltárt iszapjának ülepedési jellemzői CYANAMID RMD-30 ülepitőszer adagolása esetén

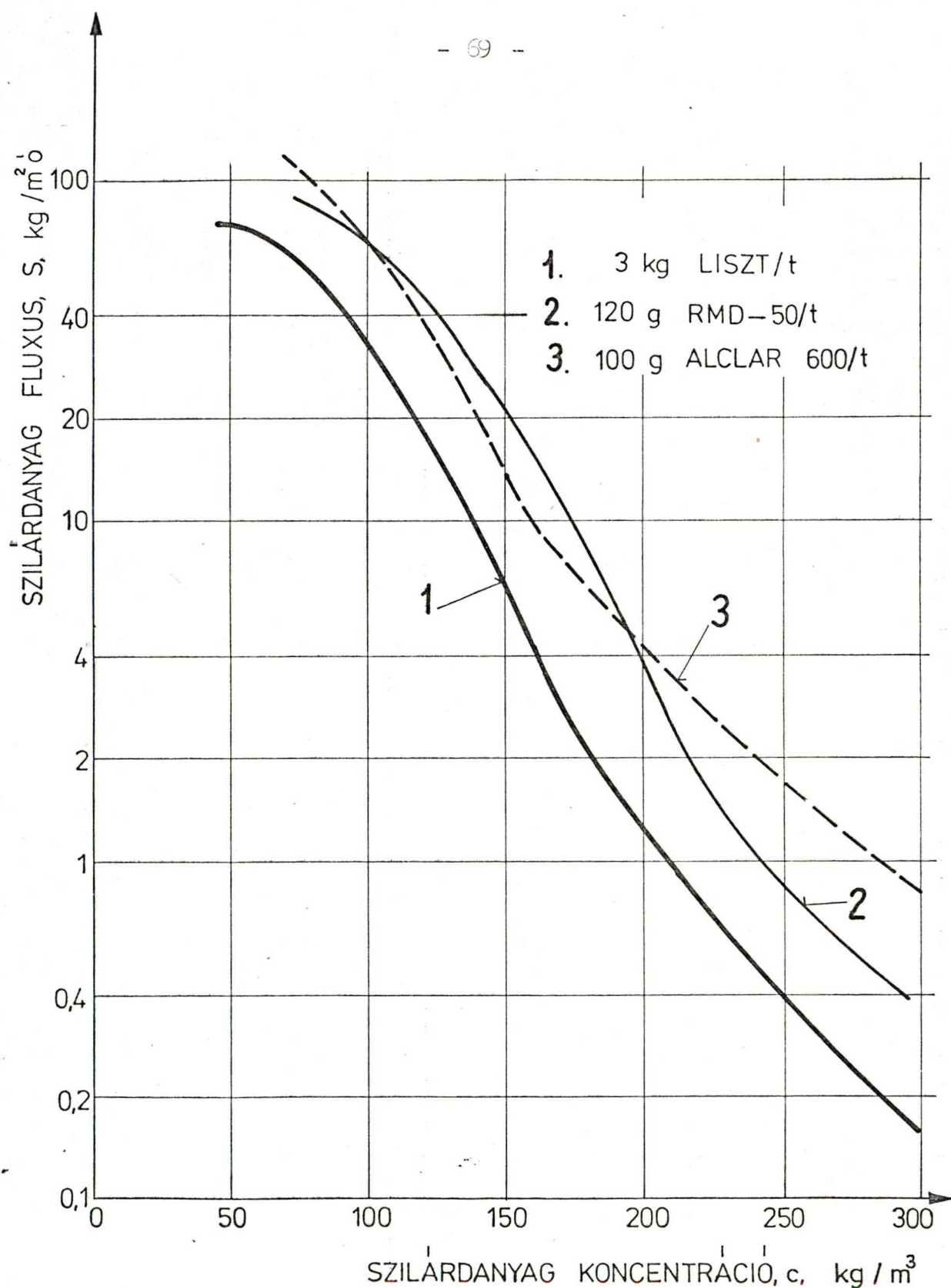
ülepítőszert	adag g/t _i	u ₀₁ m/ó	d ₁ μm	u ₀₂ m/ó	d ₂ μm	u ₀₃ m/ó	d ₃ μm	α ₁
RMD-30	70	1.11	100	0.25	32	0.032	8.2	11.2

α ₂	α ₃	C _{cp1} kg/m ³	C _{cp2} kg/m ³	α ₁ $\frac{C_{cp1}}{g_{sz}}$	α ₂ $\frac{C_{cp2}}{g_{sz}}$	α ₂ $\frac{C_{cp2}}{g_{sz}}$	α ₃ $\frac{C_{cp3}}{g_{sz}}$
6.5	4.7	150	270	0.63	0.37	0.60	0.43



13. ábra

Két kollapszuspontot tartalmazó ülepedési sebességdiagram. Halimbai bauxit 240°C-on 3 % CaO adalékkal kovásvatlanítás után feltárt iszapja RMD-30-cal ülepitve



14. ábra

Az ülepítőszer fajtájának hatása a sztatikus ülepedési fluxusdiagramra iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C-on 1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapja esetén

10. táblázat

Iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C-on kavasavtalanítás után
1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapjainak ülepedési saját-
ságai különböző ülepitőszerek esetén

ülepítőszerek	adag g/t _i	u _{o1} m/ó	d ₁ μm	u _{o2} m/ó	d ₂ μm	α ₁	α ₂	C _{cp} kg/m ³	α ₁ $\frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$	α ₂ $\frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$
liszt	3000	3.33	127	0.071	13	13.2	6.7	167.5	0.74	0.37
RMD-50	120	4.77	145	0.130	18	11.3	6.4	195.0	0.74	0.41
ALCLAR 600	100	6.03	154	0.130	16	11.6	5.6	188.0	0.73	0.35

Az ülepedés pehelymodelljével jól értelmezhetők a 10. táblázat adatai, a szintetikus ülepitőszerek hatására nagyobb átmérőjű, kisebb folyadéktartalmu, azaz a nagyobb sűrűségű pelyhek jönnek létre, mint a liszttel ülepitett szuszpenziókban.

A szintetikus ülepitőszerek alkalmazásának további előnye a liszttel szemben, hogy adszorpciójuk teljes lévén nem növelik az aluminátlug kritikus szervesanyag-szintjét, míg a liszt-organikumok hatástalan része a lugban marad.

A használatos szintetikus készítmények molekulasúlyban és ionosságukban különböznek egymástól. A Cyanamid készítmények sorozatában a molekulasúly az RMN-RMD-RMR jelzések sorrendjében növekszik. A 30-as és 50-es sorozatot az különbözteti meg egymástól, hogy az 50-es sorozatban az összes disszociálabilis csoport

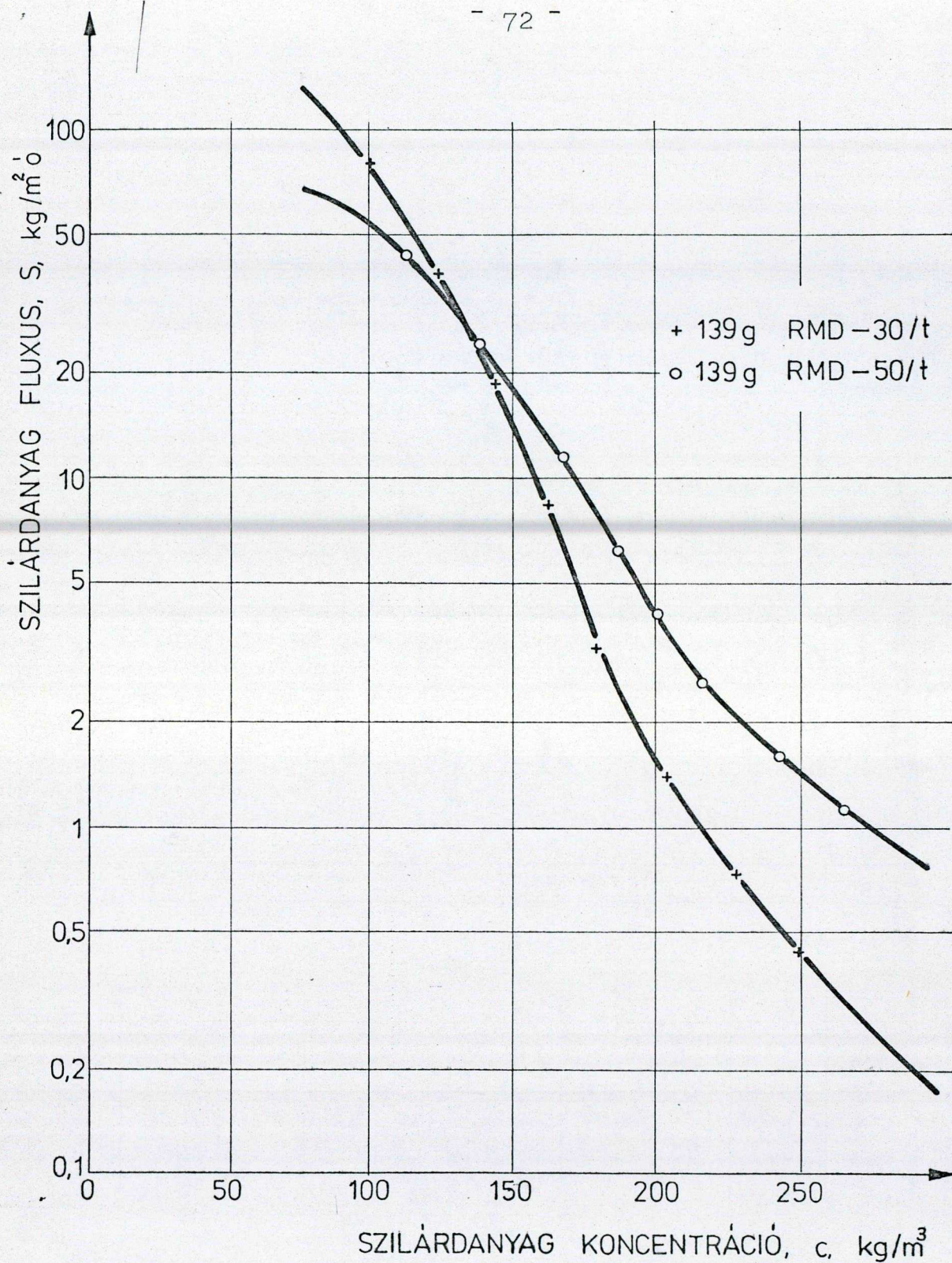
Na-acetát formában van jelen, míg a 30-as sorozatban csak 95 % Na-acetát, a többi funkciós csoport hidrolizált akrilamid szegmens. A 11. táblázat és a 15. ábra segítségével összefüggést találhatunk az ülepitőszerek ionossága és ülepitőképessége között. Az adatok iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapjára vonatkoznak. A csak nátriumacetátot /50-es sorozat/ tartalmazó változat hatására olyan típusú ülepedés jön létre, amit a részben akrilamid funkciós csoportot tartalmazó /30-as sorozat/ változatból kevesebb mennyiség adagolásával kapnánk.

11. táblázat

Iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C-on kavasavtalanítás után 1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapjának ülepedési sajátságai azonos molekulasúlyú különböző ionosságú ülepitőszerek esetén /dózis 139 g/t_i/

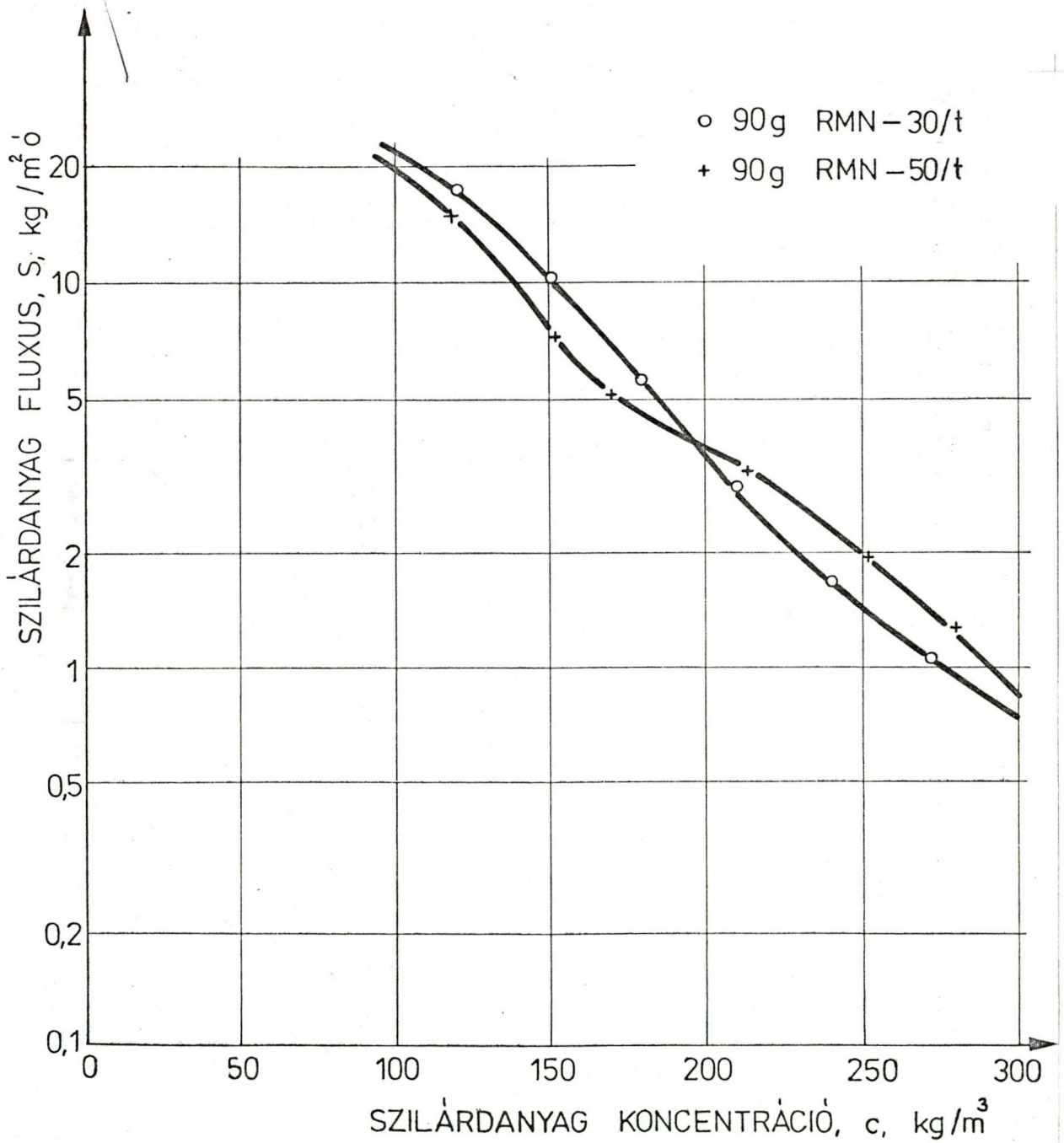
ülepítőszerek	u_{01} m/ó	d_1 μ m	u_{02} m/ó	d_2 μ m	α_1	α_2	C_{cp} kg/m ³	$\alpha_1 \frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$	$\alpha_2 \frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$
RMD-30	8.80	187	0.40	33.7	11.5	8.2	201	0.77	0.55
RMD-50	5.17	150	0.27	26.3	11.2	6.6	184	0.69	0.41

Hasonló a helyzet a halimbai bauxit vörösiszapjának ülepitésekor alkalmazott RMN-30, RMN-50 ülepitőszerek azonos mennyiségének adagolásakor is /16. ábra, 12. táblázat/



15. ábra

A szintetikus ülepitőszér ionosságának hatása a sztatikus ülepedési fluxusdiagramra iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C -on 1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapja esetén



16. ábra

A szintetikus ülepitőszer ionosságának hatása a sztatikus ülepedési fluxusdiagramra halimbai bauxit 240°C -on 3 % CaO adagolással feltárt iszapja esetén

12. táblázat

Halimbai bauxit 240°C-on kovasavtalanítás után 3 % CaO
adalékkal feltárt iszapjának ülepedési sajátságai azonos
molekulasúlyú különböző ionosságú ülepitőszerek esetén
/dózis: 90g/t_i/

ülepítőszert	u ₀₁ m/ó	d ₁ μm	u ₀₂ m/ó	d ₂ μm	α ₁	α ₂	C _{cp} kg/m ³	C _{cp} α ₁ $\frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$	C _{cp} α ₂ $\frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$
RMN-30	1.05	61.0	0.061	10.3	8.90	4.4	210	0.62	0.31
RMN-50	0.89	56.3	0.550	10.3	8.33	4.5	231	0.63	0.35

13. táblázat

Különböző molekulasúlyú szintetikus ülepitőszerek hatása
iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapjának ülepedésére

ülepítőszert	u ₀₁ m/ó	d ₁ μm	u ₀₂ m/ó	d ₂ μm	α ₁	α ₂	C _{cp} kg/m ³	C _{cp} α ₁ $\frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$	C _{cp} α ₂ $\frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$
1.	4.89	183	0.07	15.0	15.4	7.0	145	0.73	0.43
2.	4.77	145	0.13	18.0	11.3	6.4	195	0.74	0.41
3.	8.03	231	0.21	23.1	11.6	6.3	190	0.73	0.40
4.	4.98	162	0.14	19.0	15.0	7.1	136	0.68	0.32
5.	5.96	169	0.33	30.0	12.0	7.3	172	0.69	0.42

ülepítőszert

1. 215g RMN-50/t
2. 118g RMD-50/t
3. 107g RMR-50/t
4. 100g ALCLAR 500 WM
5. 100g ALCLAR 500 WH

A szintetikus ülepitőszerek molekulasulya és ülepitő-képessége között szintén találunk összefüggést. A 17. ábrán látható, az egyébként hasonló, csak molekulasulyban különböző készítmények azonos mennyiségének hatása. A nagyobb molekulasulyu változat alkalmazásakor a fluxusdiagram magasabban fut, a változás lényegében hasonló, mint amikor a liszt helyett szintetikus ülepitőszert használunk. Az ülepitést jellemző paraméterek a 13. táblázatban láthatóak.

Mivel az ipari gyakorlatban gyakran előfordul^{/47/}, hogy a lisztet és szintetikus készítményt együttesen alkalmaznak, megvizsgáltam ülepitőszerek keverékeinek hatását is a vörösiszap ülepedésére. Az ülepitőszerek keverésének arányát úgy választottam, hogy a tisztán alkalmazott ülepitőszer jól flokkulált szuszpenziót eredményező optimális adagjának felét, negyedét kevertem össze a másik ülepitőszer optimális adagjának, a felével; háromnegyed részével. A 18-19. ábrákon és a 14. táblázatban tüntettem fel az eredményeket. Az optimális dózisok feléből készült keverék alkalmazása a 18. ábrán láthatóan közel azonos ülepedési fluxust eredményezett. Ha viszont relative nagyobb mennyiségben alkalmaztuk a szintetikus ülepitőszert /19. ábra/, akkor a szintetikus ülepitőszer tulajdonságai domináltak, azaz a nagyobb molekulasulyu RMR-30 készítmény alkalmazásával jóval

magasabban fut a szilárdanyag fluxus görbe. A keverék ülepitőszer hatására gyorsabban ülepedő, jobban tömörödő szuszpenzió jön létre.

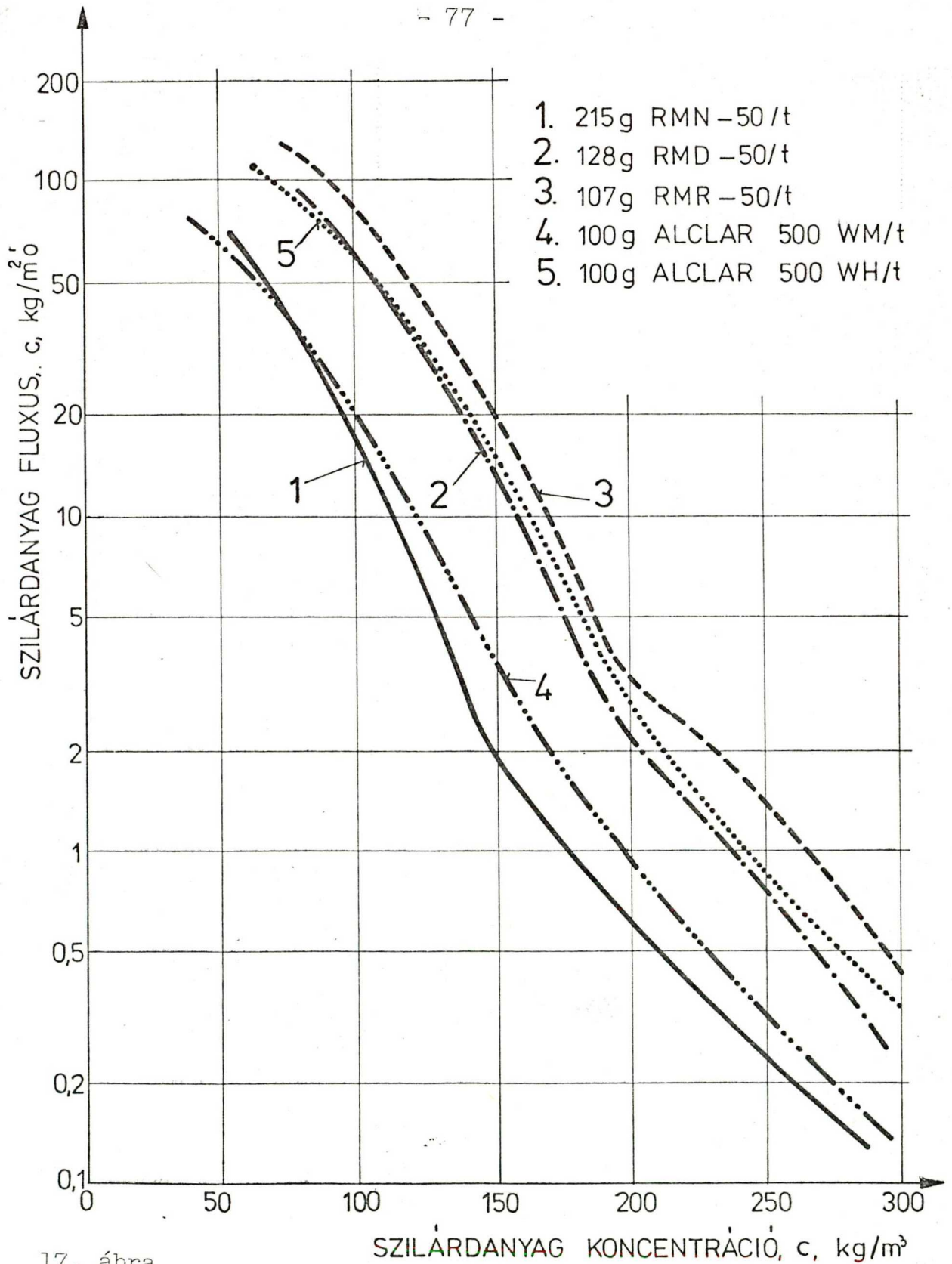
14. táblázat

Liszt és különböző szintetikus ülepitőszerek keverékének hatása az iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapjának ülepedésére

ülepítősz tőszer	u_{01} m/ó	d_1 μm	u_{02} m/ó	d_2 μm	α_1	α_2	C_{cp} kg/m ³	$\alpha_1 \frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$	$\alpha_2 \frac{C_{cp}}{\rho_{sz}}$
1.	7.46	173	0.17	18	12.5	6.3	172	0.72	0.36
2.	6.03	154	0.26	25	11.5	7.1	190	0.73	0.45
3.	4.27	125	0.13	16	11.2	6.1	190	0.71	0.39
4.	7.80	158	0.36	29	10.0	7.1	215	0.72	0.51
5.	3.33	127	0.071	13	13.2	6.7	167	0.74	0.37

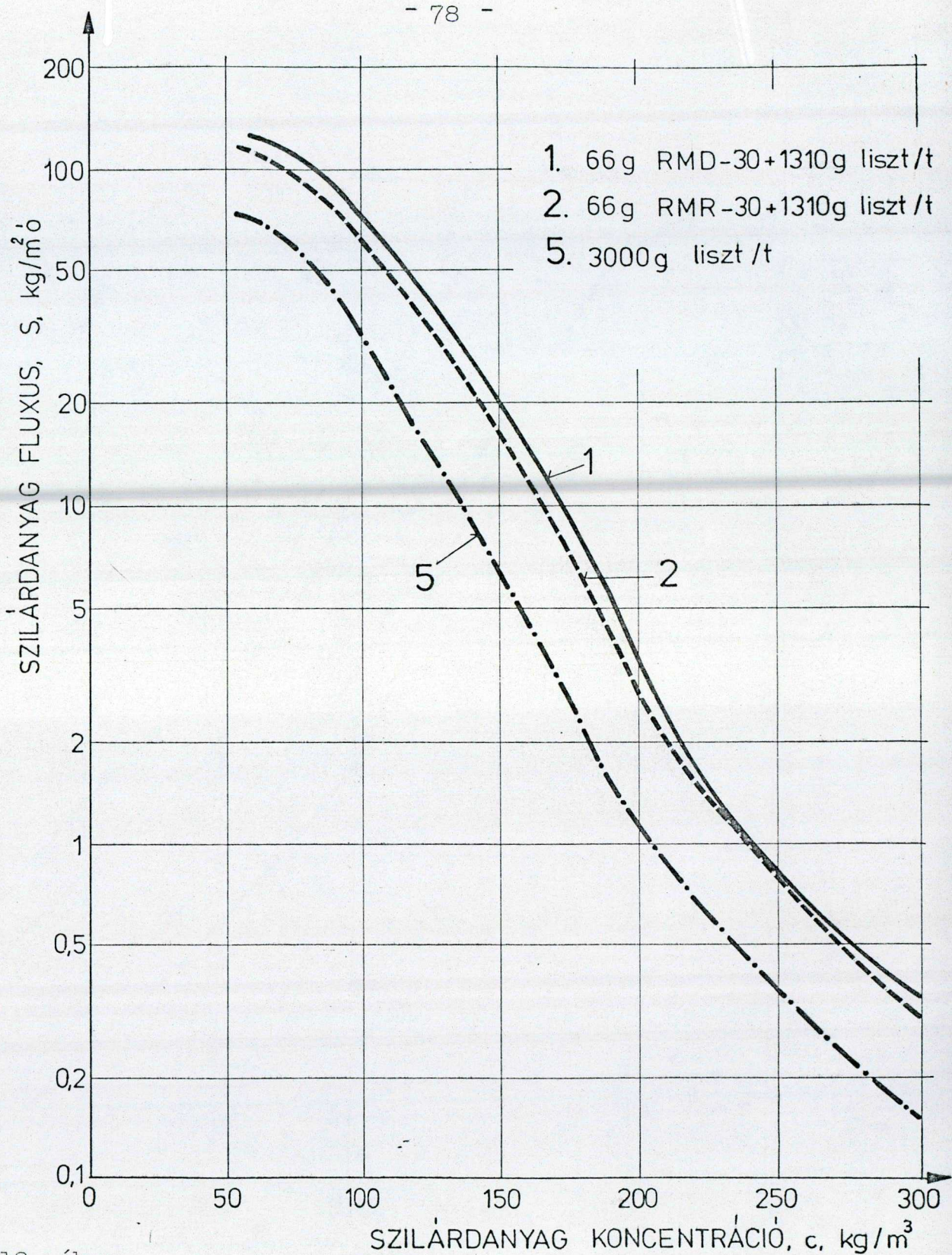
ülepítősz:

1. 66 g RMD-30 + 1310 g liszt/t iszap
2. 66 g RMR-30 + 1310 g liszt/t iszap
3. 109 g RMD-30 + 700 g liszt/t iszap
4. 101 g RMR-30 + 660 g liszt/t iszap
5. 3000 g liszt/t iszap



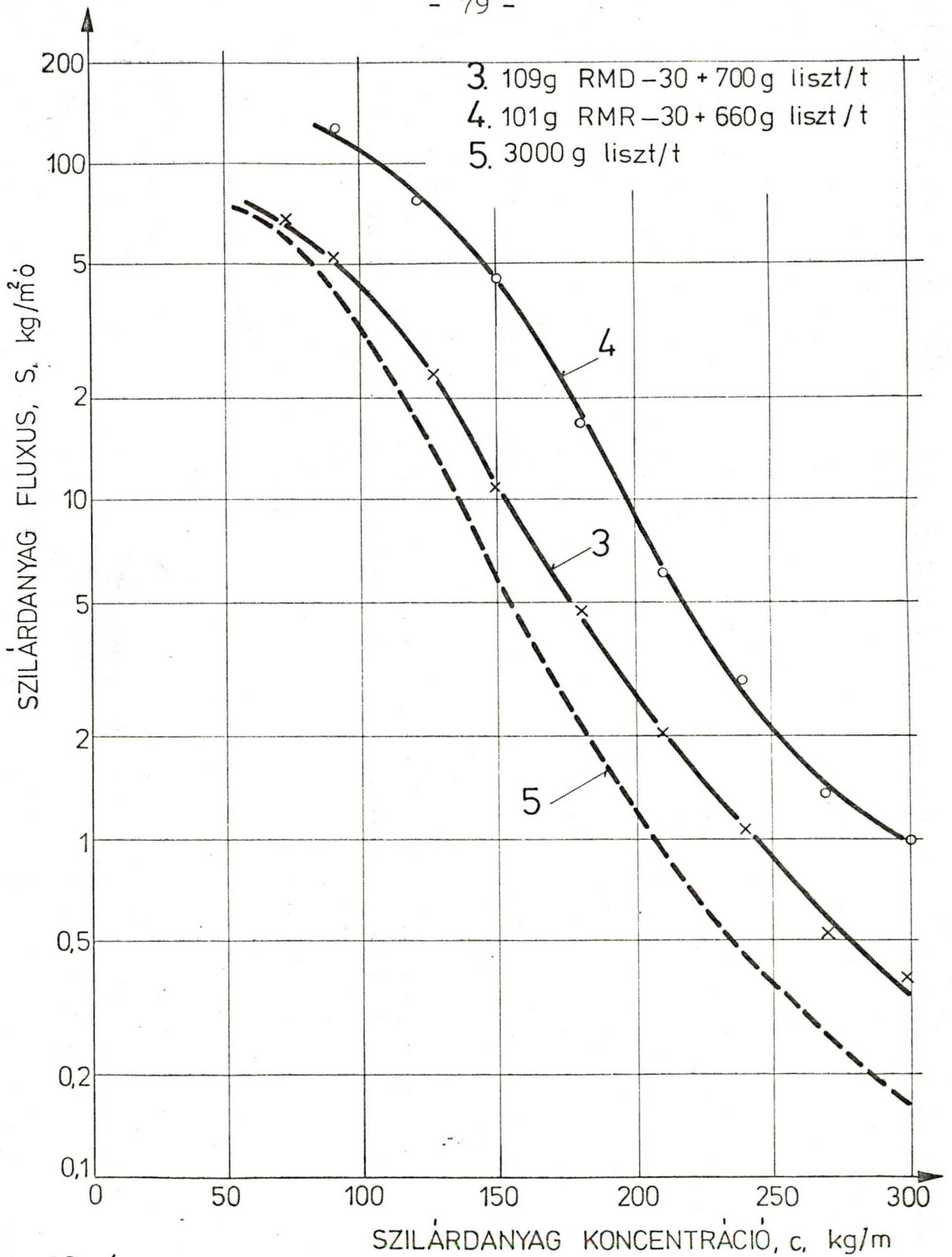
17. ábra

A szintetikus ülepitőszér molekulasúlyának hatása a sztatikus ülepedési fluxusdiagramra iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C-on 1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapja esetén



18. ábra

Liszt és szintetikus ülepitőszerek keverék hatása a sztatikus ülepedési fluxusdiagramra iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C-on 1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapja esetén



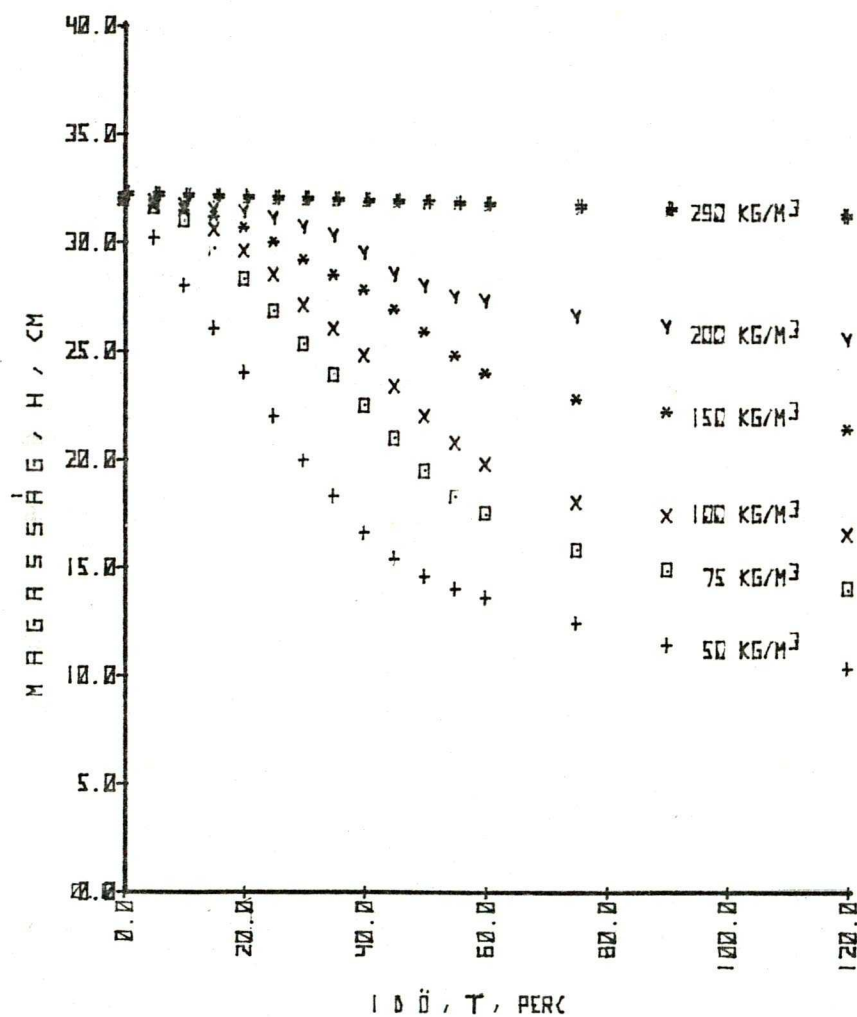
19. ábra

Liszt és szintetikus ülepitőszer keverék határa a sztatikus ülepedési fluxusdiagramra iszkaszentgyörgyi bauxit 225°C-on 1.4 % CaO adalékkal feltárt iszapja esetén

3.1.5. Az ülepedésvizsgálat módszereinek összehasonlítása

Az irodalmi összefoglalásban ismertetett háromféle ülepedésvizsgálat, a hagyományos ülepitőcsöves, a Talmadge-Fitch szerinti és a sugárabszorpciós módszer eredményeinek összehasonlítását egy példán keresztül mutatom be. A vizsgált vörösiszapszuszpenzió az almásfüzitői gyár mosósorából vett minta. Elvégeztünk egy ülepitőcsősorozatos mérést, 50, 75, 100, 150, 200, és 290 kg/m^3 szilárdanyagkoncentrációju 25 g RMD 30/t fokkulánssal ülepitett zagyokkal, amelyeket 3 cm átmérőjű 32 cm magas 0.5 cm-es beosztással ellátott ülepitőhengerekbe töltve ülepitettünk és az első órában 5 percenként, később pedig a 75-ik, 90-ik és 120-ik percben leolvastuk a nivó helyzetét. Az eredmények a 20. ábrán láthatók. A kezdeti szakaszra az első három koncentrációnál jól illeszthető egyenes, a 150 kg/m^3 -es, de különösen a 200 kg/m^3 szilárdanyag-koncentrációju szuszpenzió esetén indukciós periódus jelentkezett, ezen sebesség adatok hibája már nagy. Az eredményeket a 15. táblázatban foglaltam össze.

Elvégeztük ugyanezen iszap sugárabszorpciós ülepedésvizsgálatát is. A koncentrációprofilokat két módon értékeltem. Egyrészt elvégeztem a Talmadge-Fitch-féle kiértékelést, másrészt a számítógépes kiértékelést is. A Talmadge-Fitch módszerhez a koncentrációprofilokból megszerkesztettem az iszapnivó magasság - idő



20. ábra

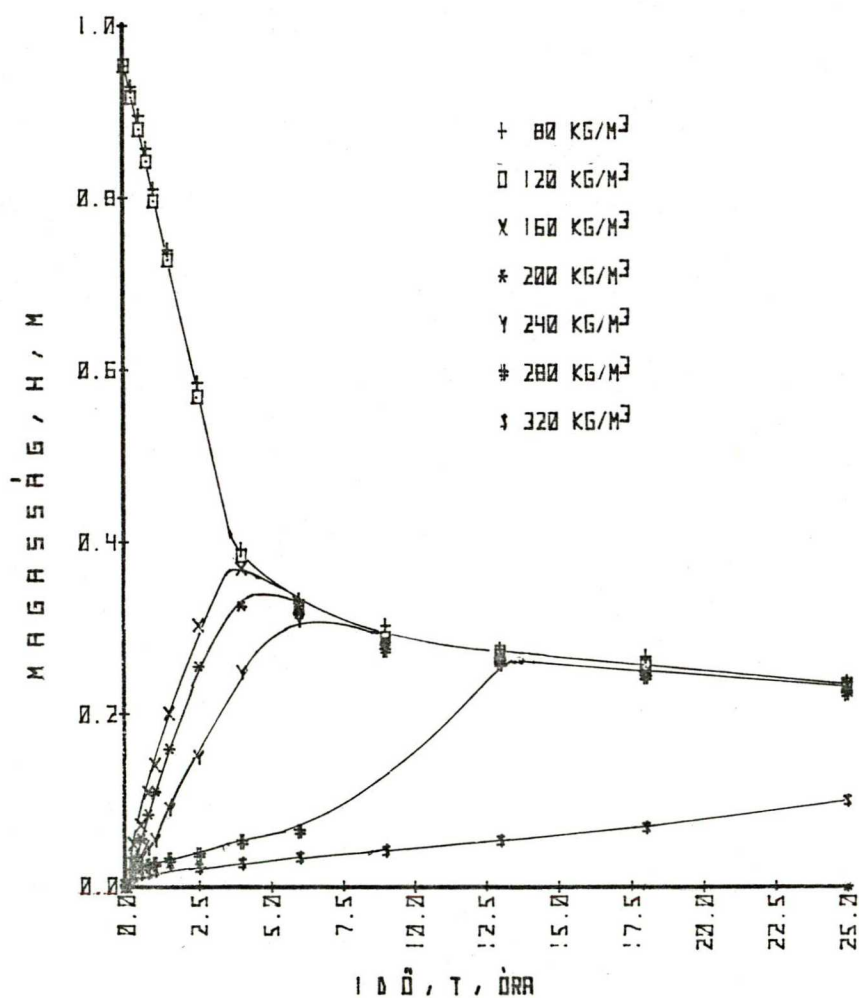
25 g RMD-30/t ülepitőszerszerrel flokkulált almásfüzitői mosósori vörösiszapminta csöves ülepedésvizsgálatának H-t diagramja

15. táblázat

25 g RMD-30/t ülepitőcsővel flokkulált almásfüzitői mosósori
vörösiszapminta csöves ülepedésvizsgálatának eredményei

szilárdanyag- koncentráció kg/m^3	ülepedési sebesség m/ó	szilárdanyag fluxus $\text{kg/m}^2/\text{ó}$
50	0.234	11.70
75	0.172	12.90
100	0.150	15.00
150	0.087	13.05
200	0.108	21.60
290	0.011	3.19

függvényt, majd érintőszerkesztéssel a különböző felszíni koncentrációkat és a hozzájuk tartozó ülepedési sebességet határoztam meg. Az eredményeket a 21. ábrán és a 16. táblázatban foglaltam össze. A sugárabszorpcióos ülepedésvizsgálat eredményeit a 17. táblázat tartalmazza. Kiszámítva a szilárdanyag fluxust a három esetre a 22. ábrán látható az összehasonlítás. Az ülepedési sebesség koncentrációval való változása a három esetre a 23. ábrán tanulmányozható.



21. ábra

25 g RMD-30/t ülepitőszerezrel flokkulált almásfüzitői mosó-
sori vörösiszapminta sugárabszorpció mérésel meghatározott
H-t diagramja

16. táblázat

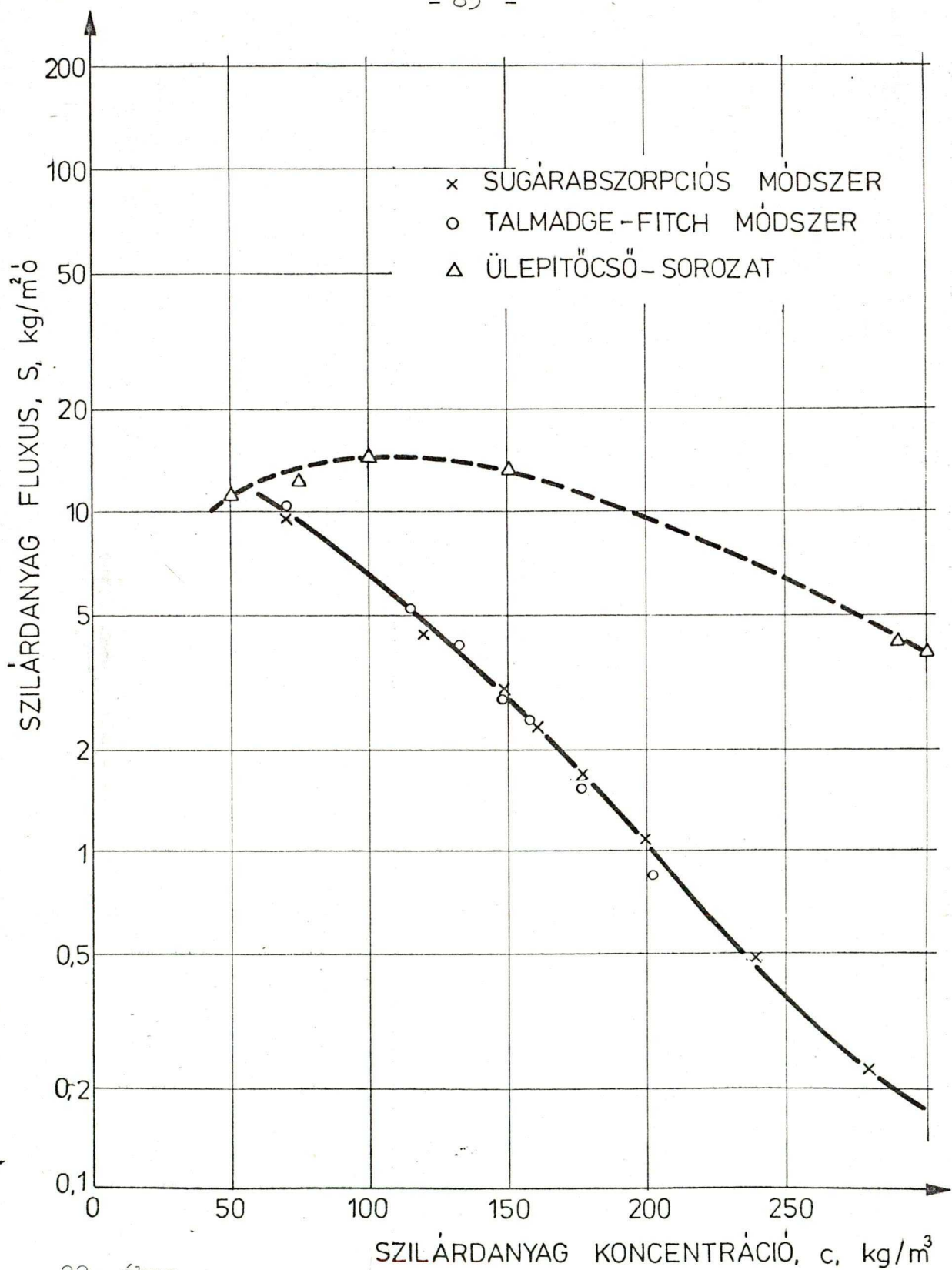
25 g RMD-30/t ülepitőszerszerrel flokkulált almásfüzitői mosó-
sori vörösiszapminta ülepedésvizsgálatának Talmadge-Fitch
módszerrel nyert eredményei

szilárdanyag- koncentráció kg/m^3	ülepedési sebesség m/ó	szilárdanyag fluxus $\text{kg/m}^2\text{ó}$
70	0.150	10.53
83	0.137	11.40
116	0.046	5.29
131	0.031	4.09
137	0.027	3.71
148	0.020	2.96
157	0.008	1.46
202	0.004	0.85

17. táblázat

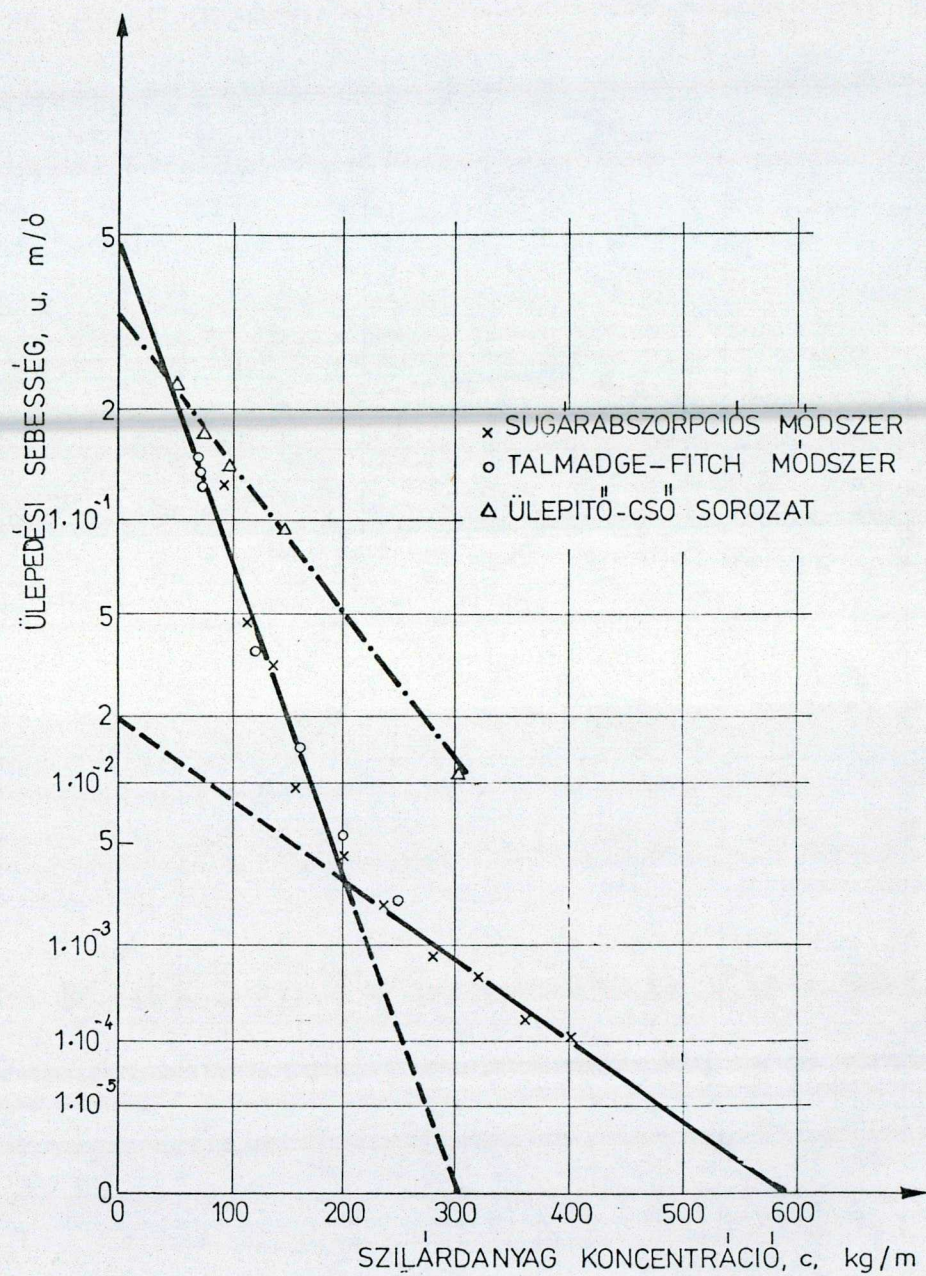
25 g RMD-30/t ülepitőszerszerrel flokkulált almásfüzitői mosó-
sori vörösiszapminta sugárbzszorpciós ülepedésvizsgálatának
eredményei

szilárdanyag- koncentráció kg/m^3	szilárdanyag fluxus $\text{kg/m}^2\text{ó}$	ülepedési sebesség m/ó
80	9.89	0.124
120	4.39	0.0365
160	2.55	0.0147
200	1.02	0.00509
240	0.49	0.00205
280	0.23	0.000821
320	0.16	0.000501
360	0.08	0.000222



22. ábra

A különböző módon meghatározott fluxusdiagramok összehasonlítása



23. ábra

A különböző módon meghatározott ülepedési sebesség diagramok összehasonlítása

Az ábrák és a táblázatok alapján a következők szembe-
ötlőek. Alacsony és közepes szilárdanyagkoncentrációk-
nál a Talmadge-Fitch módszerrel meghatározott ülepedé-
si sebesség, ülepedési fluxus adatok jó közelítéssel
megegyeznek a sugárabszorpciós módszerrel meghatáro-
zott adatokkal. Nagyobb koncentrációknál, különösen
a sugárabszorpciós módszerrel meghatározott kollapszus-
pont koncentrációja után eltérnek a Talmadge-Fitch
módszerrel nyert adatok. Ennek oka részint az, hogy
az igen lapos görbéhez nehéz jó érintőt szerkeszteni,
de ettől függetlenül elvi akadály is fennáll. A 21.
ábra tanúsága szerint az iszap belsejében kialakuló,
koncentrációállapotok nem mindegyike jut el az iszap
felszínére. Az utolsó koncentrációállapot, amely fel-
jut a felszínre éppen a kollapszuspont koncentrációnak
felel meg. Ennél nagyobb koncentrációk, még ha formá-
lisan az érintőszerkesztéssel kiszámíthatók is lenné-
nek, nem találhatók a felszínen, így az ezekre számi-
tott ülepedési sebesség értékek fölébecslik az adott
koncentrációhoz tartozó tényleges ülepedési sebességet.
Addig a koncentrációig, amely még megjelenik a felszí-
nen a Talmadge-Fitch módszerrel és a sugárabszorpciós
módszerrel meghatározott szilárdanyag fluxus, és üle-
pedési sebesség értékek jól együtt futnak. Az ülepedő
iszap felszínén és belsejében létező azonos koncentrá-
cióállapot az ülepedési sebesség szempontjából tehát
egyenértékű. A sugárabszorpciós módszer leglényegesebb

többletszolgáltatása az, hogy segítségével nemcsak az iszap felszínén, hanem annak belsejében, tehát ott ahol valóban fellépnek, lehet meghatározni a különböző koncentrációkhoz tartozó szilárdanyag fluxus értékeket és ebből az adott szilárdanyagkoncentrációhoz tartozó ülepedési sebességet. A kísérleti tapasztalat az, hogy adott koncentrációhoz különböző magasságokban nyert ülepedési fluxus jó közelítésben állandó, ha jól flokkulált szuszpenziók ülepedését vizsgáljuk. Így tehát jó közelítéssel igaz az is, hogy a szilárdanyag fluxus kizárólag a szilárdanyag-koncentráció függvénye. A jól flokkulált vörösiszap szuszpenzió ülepedésének leírásához tehát nem szükséges a kompresszibilitás feltételezése. Érvényes rá az ideális szuszpenziókra kidolgozott Kynch-féle elmélet.

Az ülepítőcső-sorozattal végzett ülepedésvizsgálat a nagyobb szilárdanyag-koncentrációnál jóval nagyobb ülepedési sebességet ad, mint amit a 6 cm átmérőjű 1 m magas ülepítőcsőben a másik két módszerrel kaptunk. Az eredményekből kitűnik, hogy 50 és 75 kg/m³ szilárdanyag-koncentrációju iszapra nyert ülepedési sebesség jó egyezésben van a Talmadge-Fitch és a sugárbzszorpciós módszerrel nyert eredményekkel. A nagy szilárdanyag-koncentrációju szuszpenziókra viszont nagy az eltérés. Az eltérésre több lehetséges magyarázat van. Scott^{/13/} szerint csatornaképződés gyorsítja meg az ülepedést a nagy koncentrációju iszapok

esetén, amit ha lassu keveréssel megszüntetett, lelassult az ülepedés /ld. 2. ábra/. A mi méréseinknél valószínűleg az ülepitőszer keverésekor, a szuszpenzió homogenizálásakor idétünk elő olyan állapotot, amely az eredeti pehelytérbetöltést lecsökkentette, így megnövelte az ülepedési sebességet. Az iszap belsejében ülepedés közben kialakuló hasonló koncentráció állapotban viszont nem hatnak hasonló külső hatások, így ott az eredeti pehelytérbetöltés érvényesül. Ez a tapasztalat jó egyezésben van azzal a Scott által közölt megfigyeléssel, hogy az egyszerű csöves ülepedésvizsgálattal mintegy 50-60 %-kal túlbecsülik az üzemi folytonos ülepitők kapacitását /13/. Az ülepedési sebesség meghatározását az is pontatlanná teszi, hogy az indukciós periódus jelentkezése miatt nem egyértelmű az érintőszerkesztés, sőt az sem biztos, hogy a kezdeti görbeszakasz különböző pontjain azonos szilárdanyagkoncentrációhoz tartoznak. A kapott eredmények megkérdőjelezzik az egyszerű csöves ülepedésvizsgálattal nyert adatok használhatóságát, és mindenképpen a Talmadge-Fitch, illetve a sugárabSORPCióS vizsgálat elsőbbségét igazolják.

3.2. Reológiai vizsgálatok

A flokkulált vörösiszap-szuszpenziók ülepedésének leírására az előzőek szerint jól használhatónak bizonyult az ülepedő szuszpenziók helyszerkezeti modellje. A modell feltételezi, hogy a szuszpenzió tömörödésekor a feláramló folyadék miatt fellépő nyirófeszültség okozza a helyszerkezet átalakulását.

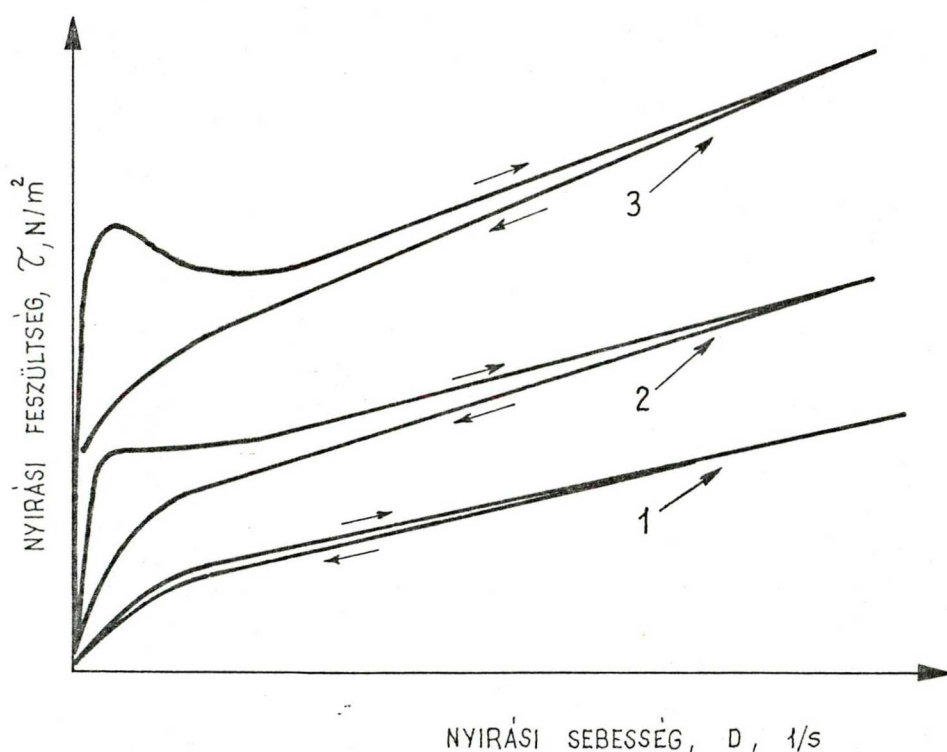
E feltevés helyességét ellenőriztem reológiai mérésekkel.

3.2.1. A folyásgörbék

A flokkulált vörösiszapok reológiai sajátosságainak vizsgálatakor minden esetben megmértem a folyásgörbék egyensúlyi felszálló és leszálló ágát. A vizes közegű vörösiszap-szuszpenziókban mért folyásgörbék a Szántó és munkatársai^{/51/} által szerves közegben mért és tipizált folyásgörbékkel analóg futásuak. A szerkezet nyirás hatására bekövetkező változásai tehát értelmezhetőek az ő módszerük alapján a szuszpenzió szilárdanyag térbetöltési és adhéziós viszonyaival. Dolgozatomban bemutatom, hogy e görbetípusok ugyanolyan jól értelmezhetőek az ülepedés leírására bevált helymodellel.

A 24. ábrán a folyásgörbék három típusát mutatom be. Az 1. típusú folyásgörbék viszonylag alacsony szilárdanyag-koncentrációjú vörösiszap-szuszpenziók esetén

mérhetők. Ebben az esetben a leszálló ág kicsivel alatta fut a felszállóágnak, tehát jelentkezik a histerézis. A koncentráció növekedtével a 2. átmeneti folyásgörbén keresztül a 3. tipushoz jutunk, a histerézis egyre erőteljesebb. A leszálló ág mérése után vizsgáltam, hogy jelentkezik-e maradó folyáshatár, de a vizsgált koncentrációk mellett maradó folyáshatárt nem tudtam kimutatni.



24. ábra

A vörösiszapok folyásgörbe típusai

3.2.2. A szilárdanyag-koncentráció hatása a flokkulált
vörösiszap-szuszpenziók reológiai jellemzőire

A szuszpenziók reológiai viselkedését a plasztikus viszkozitásból meghatározott relatív viszkozitásuknak és a Bingham-féle folyáshatárjuknak koncentrációfüggésén keresztül vizsgáltam. A plasztikus viszkozitást és a Bingham-féle folyáshatárt a felszálló ág lineáris szakaszából határoztam meg. A folyásgörbék a 25-27. ábrákon, a mérési eredményeket a 18-20. táblázatokban mutatom be.

A 18. táblázatban egyes szilárdanyag-koncentrációhoz párhuzamos mérések adatpárjait közlöm. Az adatpárok két különböző időben végzett feltárással előállított szuszpenziók vizsgálatának eredményeit mutatják be. Már a kísérleti részben utaltam rá, hogy a vizsgált szuszpenziók olyan koncentrációjuak, amelyeknél a szuszpenzió még ülepszik, de az ülepedés a mérés ideje alatt elhanyagolható. Az adatokból látható, hogy

viszonylag jól reprodukálhatóak az eredmények. A további értékeléskor ezen eredmények átlagát használtam fel, így a további táblázatok már a párhuzamos mérések átlageredményét tartalmazzák.

18. táblázat

Iszkaszentgyörgyi bauxit 2 kg liszt/t_i dózissal flokkulált
vörösiszapszuszpenziójának reológiai jellemzői

$C_{sz} / \text{kg/m}^3 /$	ϕ_{sz}	$\eta_{pl} / \text{Pa.s} /$	η_r	$\tau_B / \text{N/m}^2 /$
175	0.058	2.43	1.70	0.52
		2.58	1.79	0.59
200	0.067	3.09	2.15	0.87
		2.41	1.90	0.43
225	0.075	3.13	2.17	0.81
		3.98	2.76	0.88
250	0.083	3.86	2.70	1.38
		3.73	2.59	1.14
274	0.091	3.69	2.56	1.38
288.5	0.095	5.01	3.50	2.04

19. táblázat

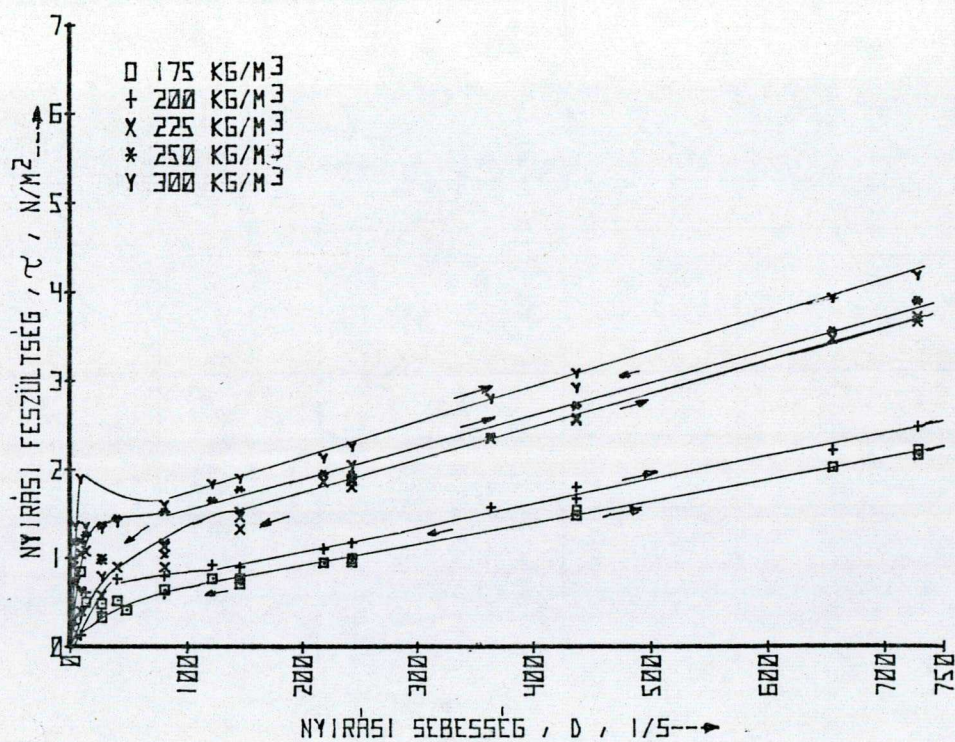
Halimbai bauxit 2 kg liszt/t_i dózissal flokkulált vörösiszap-
szuszpenziójának reológiai jellemzői

$C_{sz} / \text{kg/m}^3 /$	ϕ_{sz}	$\eta_{pl} / \text{Pa.s} /$	η_r	$\tau_B / \text{N/m}^2 /$
240	0.080	6.63	3.05	1.29
270	0.090	7.29	3.35	1.42
300	0.100	8.50	3.91	2.18
320	0.107	9.08	4.18	3.05
331	0.110	12.14	5.58	3.31

20. táblázat

Halimbai bauxit 70g RMN-30/t_i dózissal flokkulált vörösiszap-
szuszpenziójának reológiai jellemzői

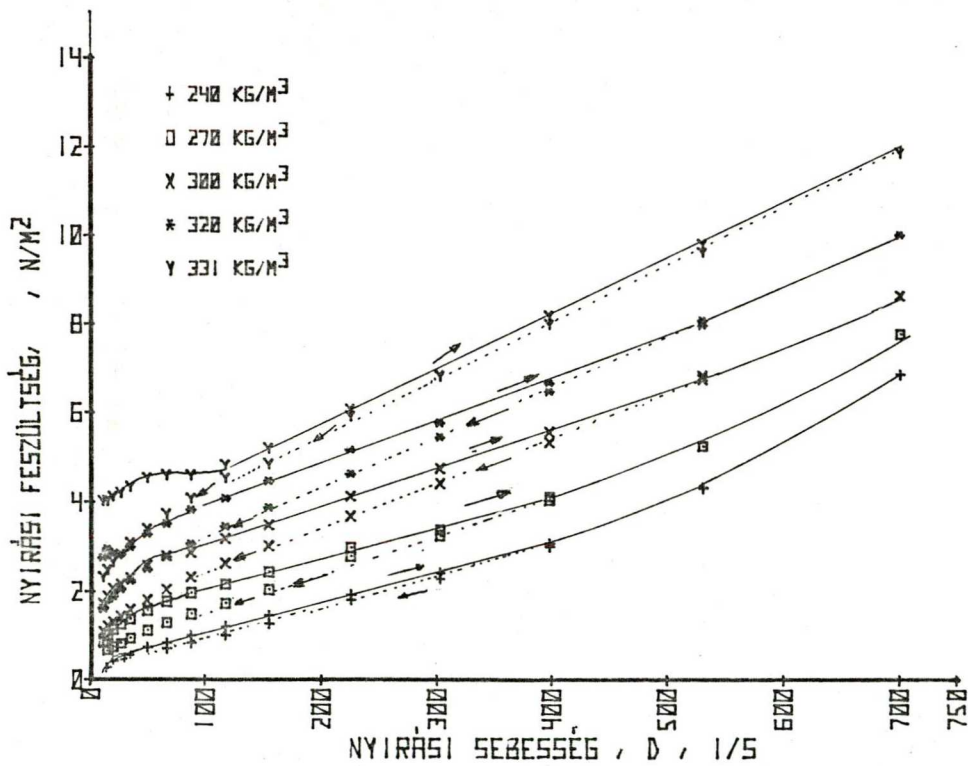
$C_{sz}/\text{kg/m}^3/$	ϕ_{sz}	$\eta_{pl} / \text{Pa.s}/$	η_r	$\tau_B/\text{N/m}^2/$
173.5	0.058	3.51	2.28	0.80
240.5	0.080	5.32	3.45	1.74
290.3	0.100	6.08	3.95	4.23
343.5	0.115	9.35	6.07	5.85



25. ábra

Folyásgörbék a szilárdanyag-koncentráció függvényében.

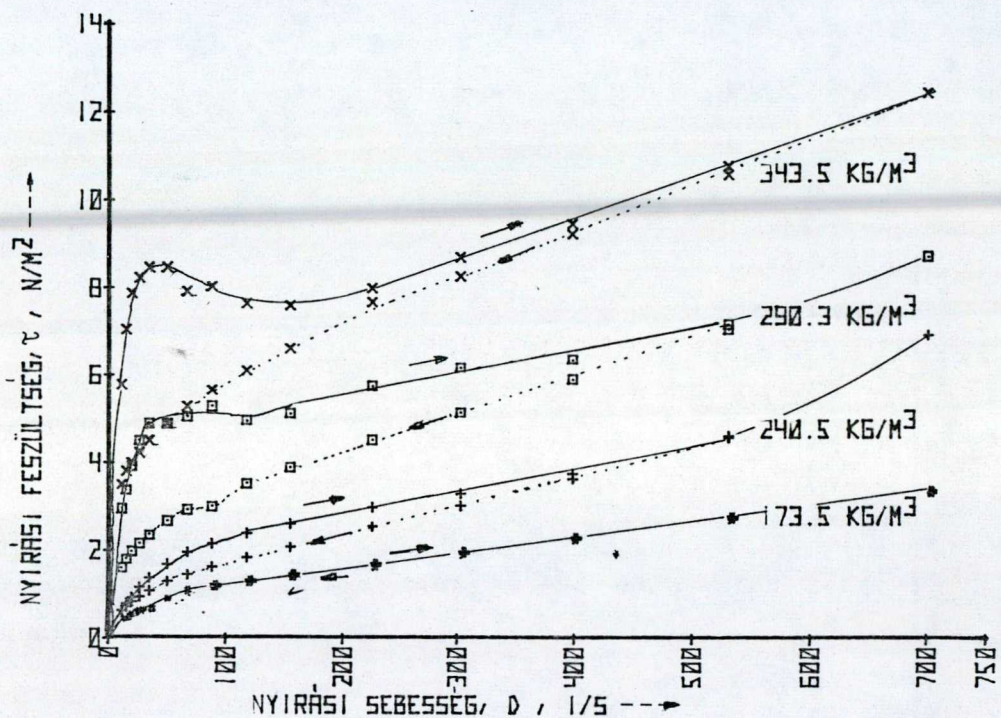
Iszkaszentgyörgyi bauxit vörösiszapja, lisztezett.



26. ábra

Folyásgörbék a szilárdanyag-koncentráció függvényében.

Halimbai bauxit vörösiszapja, lisztezett.



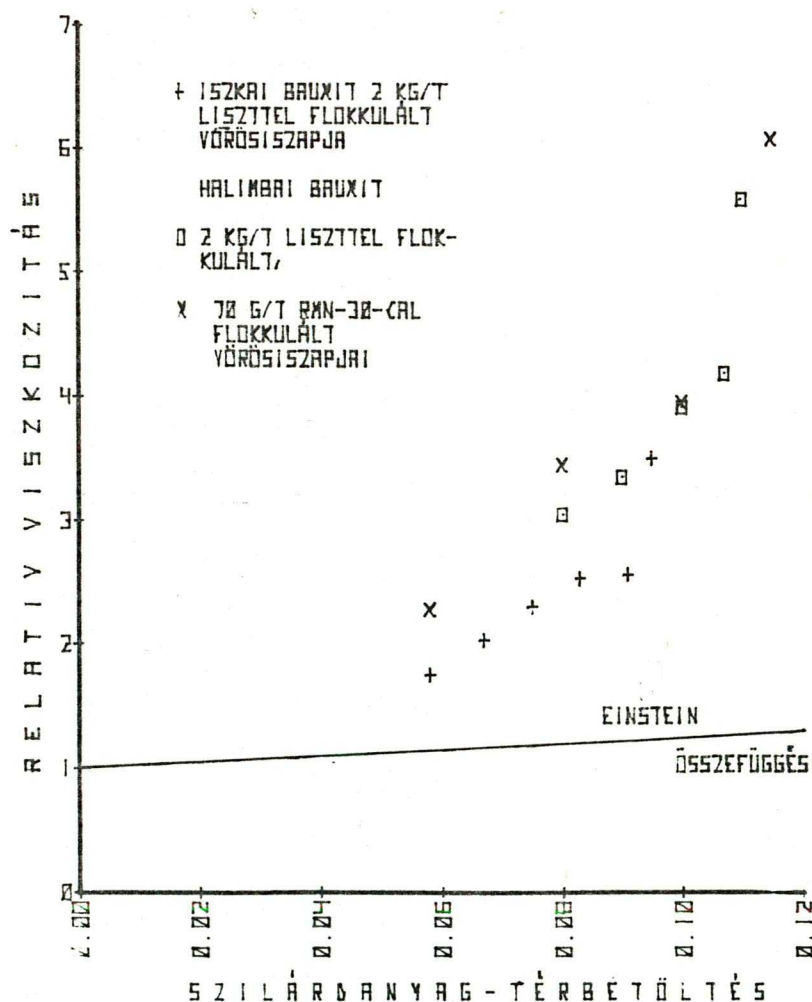
27. ábra

Folyásgörbék a szilárdanyag-koncentráció függvényében.

Halimbai bauxit vörösiszapja, RMN-30 ülepitőszerral.

3.2.3. A relatív viszkozitás koncentrációfüggése

A relatív viszkozitást a szilárdanyag-térbetöltés függvényében a 28. ábra mutatja. Berajzoltam az Einstein-formula szerint adódó egyenest is. A látható nagy eltérés oka csak az lehet, hogy nem az eredeti primér szilárd szemcsékkel, hanem az ezekből képződött folyadékot is bezáró aggregátumokkal kell számolni.



28. ábra

Relatív viszkozitás a szilárdanyag-térbetöltés függvényében

21. táblázat

Iszkaszentgyörgyi bauxit 2 kg liszt/t_i dózissal flokkulált
vörösiszapszuszpenziójának helytérbetöltései és α tényezői

c_{sz} kg/m ³	ϕ_{sz}	Nagy nyirási sebességnél			Kis nyirási sebességnél		
		η_r	$\alpha \cdot \phi_{sz}$	α	η_r	$\alpha \cdot \phi_{sz}$	α
175	0.058	1.75	0.185	3.13	23.4	0.52	8.96
200	0.067	2.03	0.220	3.29	63.8	0.57	8.49
225	0.075	2.30	0.270	3.49	188	0.59	7.90
250	0.083	2.53	0.275	3.35	407	0.60	7.74
274	0.091	2.56	0.270	2.94	213	0.60	6.52
288	0.095	3.50	0.330	3.44	312	0.60	6.30

22. táblázat

Halimbai bauxit 2 kg liszt/t_i flokkulált vörösiszapszuszpen-
ziójának helytérbetöltése és α tényezői

c_{sz} kg/m ³	ϕ_{sz}	Nagy nyirási sebességnél			Kis nyirási sebességnél		
		η_r	$\alpha \cdot \phi_{sz}$	α	η_r	$\alpha \cdot \phi_{sz}$	α
240	0.080	3.05	0.31	3.83	14.8	0.49	6.17
270	0.090	3.35	0.32	3.60	17.7	0.51	5.62
300	0.100	3.91	0.35	3.49	22.9	0.52	5.21
320	0.107	4.18	0.36	3.37	7.2	0.43	4.02
331	0.110	5.58	0.40	3.62	11.0	0.47	4.30

23. táblázat

Halimbai bauxit 70 g/t_i RMN-30-cal flokkulált vörösiszap-
szuszpenziójának pehelytérbetöltései és α tényezői

C_{sz} kg/m ³	ϕ_{sz}	Nagy nyirási sebességnél			Kis nyirási sebességnél		
		η_r	$\alpha \phi_{sz}$	α	η_r	$\alpha \cdot \phi_{sz}$	α
173.5	0.058	2.28	0.25	4.28	4.0	0.35	6.08
240.5	0.080	3.45	0.33	4.10	20.5	0.52	6.42
290.3	0.100	3.95	0.35	3.62	54.7	0.56	5.80
343.5	0.115	6.07	0.41	3.58	157.5	0.59	5.15

Ezért Eilers^{/52/} empirikus formulájának felhasználásával a mért relatív viszkozitásadatokhoz rendelhető térbetöltést számítottam ki. Az Eilers összefüggést átrendeztem úgy, hogy a pehely-térbetöltést és annak lehető maximális értékét helyettesítettem be a szilárd-anyag-térbetöltés helyett:

$$\alpha \phi_{sz} = \frac{\sqrt{\eta_r} - 1}{k_1 + k_2(\sqrt{\eta_r} - 1)} \quad /13/$$

ahol ϕ_{sz} a szilárdanyag szuszpenzióbeli térbetöltése,

α a pehely immobilizációs tényező,

η_r a szuszpenzió relatív viszkozitása,

$k_1=1.25$ állandó,

k_2 a maximális térbetöltés reciproka, állandó.

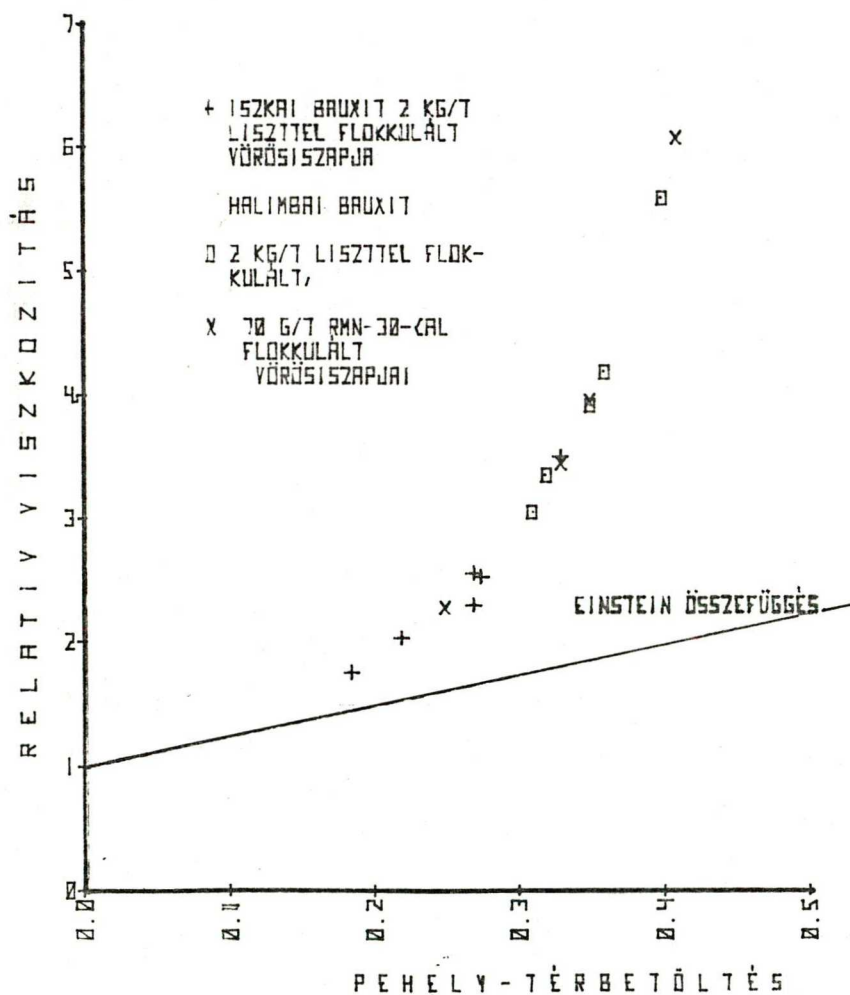
24. táblázat

Az ülepedésvizsgálatból meghatározott $\alpha_{\bar{u}}$ immobilizációs tényezők és a viszkozitásmérésből meghatározott $\overline{\alpha_v}$ átlagos immobilizációs tényezők összehasonlítása

alapanyag	flokkulens	Nagy nyirási sebességnél		Kis nyirási sebességnél	
		$\alpha_{\bar{u}}$	$\overline{\alpha_v}$	$\alpha_{\bar{u}}$	$\overline{\alpha_v}$
Iszkai bx	2kg liszt/ t_i	3.3	3.3	6.7	7.7
halimbai	2kg liszt/ t_i	3.2	3.6	5.2	5.1
halimbai	70g/ t_i RMN-30	4.7	3.9	6.5	5.9

A szuszpenzió lehetséges maximális pehelytérbetöltését, amelynél az Eilers-egyenlet végtelen relatív viszkozitást ad, az ülepedés során tapasztalt maximális térbetöltésnek átlagával vettem azonosnak. Ez az érték 0.52 és 0.74 közötti átlaga: 0.63, így $k_2=1.59$. A módosított Eilers-egyenlettel az egyes szuszpenziók relatív viszkozitásából kiszámítható az adott szilárdanyag-koncentrációhoz tartozó pehely-térbetöltés, valamint az α -tényező. Egy-egy szuszpenziónál a különböző szilárdanyag-koncentrációkhoz kapott α értékek $\overline{\alpha_v}$ átlagát képeztem, és ezeket közlöm a 24. táblázatban. Ugyanitt vannak felsorolva azok az $\alpha_{\bar{u}}$ ülepedésvizsgálattal meghatározott immobilizációs tényezők, amelyek közel esnek a reológiai adathoz. A pehelytérbetöltés függvényében ábrázolt relatív viszkozitás függvényt a 29. ábra mutatja. Itt már 0.1 térbetöltés

fölött van eltérés az Einstein-egyenlettől, megegyezésben a szakirodalmi adatokkal^{/53/}.



29. ábra

Relativ viszkozitás a pehely-térbetöltés függvényében

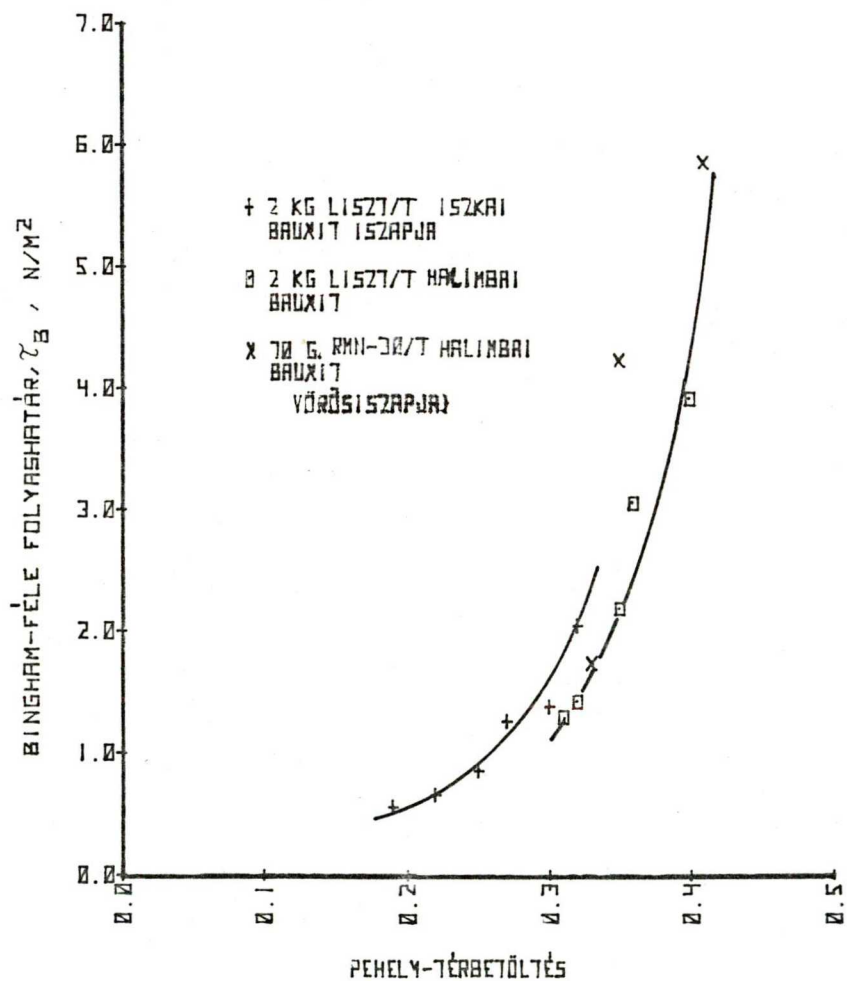
A számítás eredményét a 21-23. táblázatok tartalmazzák. A táblázatból látható, hogy a nagy nyírássebességnél számított adatok jól megegyeznek az ülepitő-szer nélkül ülepitett vörösiszap-suszpenzió ülepedésének második szakaszára talált értékekkel /5. és 6. táblázat/, illetve az ülepitőszeres ülepedésvizsgálatok során a harmadik szakaszon talált értékekkel /9. táblázat/. Kis nyírássebességeknél a 24. táblázatban az ülepedésből α_u / és a reológiai mérésekből számított $\overline{\alpha_v}$ / értékek nagyobb eltéréseit /10., 6. és 9. táblázat/ minden bizonnyal az magyarázza, hogy ilyenkor a reométer álló és mozgó hengere között nem a teljes részben folyik a szuszpenzió, hanem a nyírósebesség növelésével a folyás fokozatosan terjed ki a teljes részre. Ezek az adatok tehát legfeljebb közelítő érvényűek, mindenesetre közel vannak az ülepitő-szer nélküli eset első, illetve az ülepitőszeres ülepités második egyenes szakaszát jellemző α értékekhez.

3.2.4. Bingham-féle folyáshatár koncentrációfüggése

A 30., 31. ábra tanúsága szerint a vörösiszap-suszpenziók Bingham-féle folyáshatára a diszperzfázis nagy nyírás sebességekre meghatározott, térbetöltésének négyzetével arányos.

$$\tau_B = A \cdot (\alpha\phi - \alpha\phi_0)^2$$

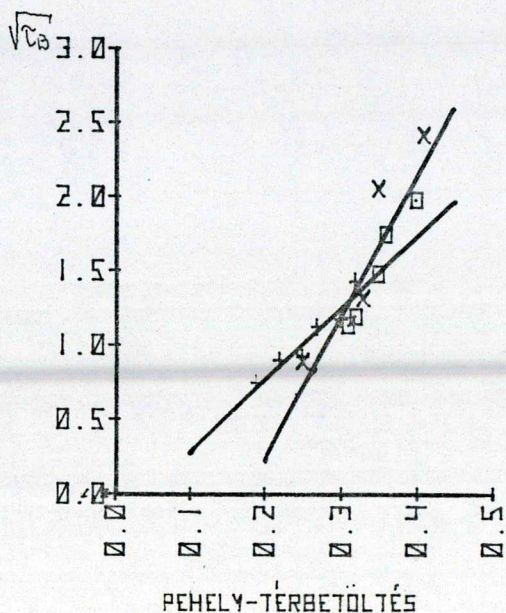
/14/



30. ábra

A Bingham-féle folyáshatár pehely-tér betöltési tényező függése





31. ábra

A Bingham-féle folyáshatár pehelytérbetöltési tényező függvénye, lineáris ábrázolásban

Mindkét ábrán - lineáris, illetve gyökös léptékben - ábrázoltam a 18-20. táblázatok adatait. A szakirodalomból ismert^{/53/}, hogy az A arányossági tényező a részecskék közötti kötések erősségével arányos mennyiség. A vörösiszapra kiszámított A állandó értékét a 25. táblázat tartalmazza.

Mivel a Bingham-féle folyáshatár a teljesen lenyírt szerkezetű szuszpenzióra jellemző érték, ezért az A vonzási állandó az ülepitőszer nélkül ülepitett

iszap primér specieseire jellemző. A halimbai bauxit vörösiszapjára nagyobbak adódik az iszkai bauxit vörösiszapjánál találtnál. Ez megmagyarázza azt az ülepedés során megfigyelt jelenséget, hogy a halimbai bauxit vörösiszapjában az ülepitőszer nélkül ülepitett szuszpenzió ülepedésének első szakaszában kisebb α tényezőjű, azaz nagyobb szilárdanyagtartalmu pelyhek jönnek létre, melyek az ülepedés során fellépő nyiróerőkkel szemben is ellenállóbbak, mint az iszkai bauxit vörösiszapjának pelyhei /lásd az 5. táblázat adatait/.

25. táblázat

Az iszkaszentgyörgyi és halimbai bauxit vörösiszapjának
vonzási állandói és értékei

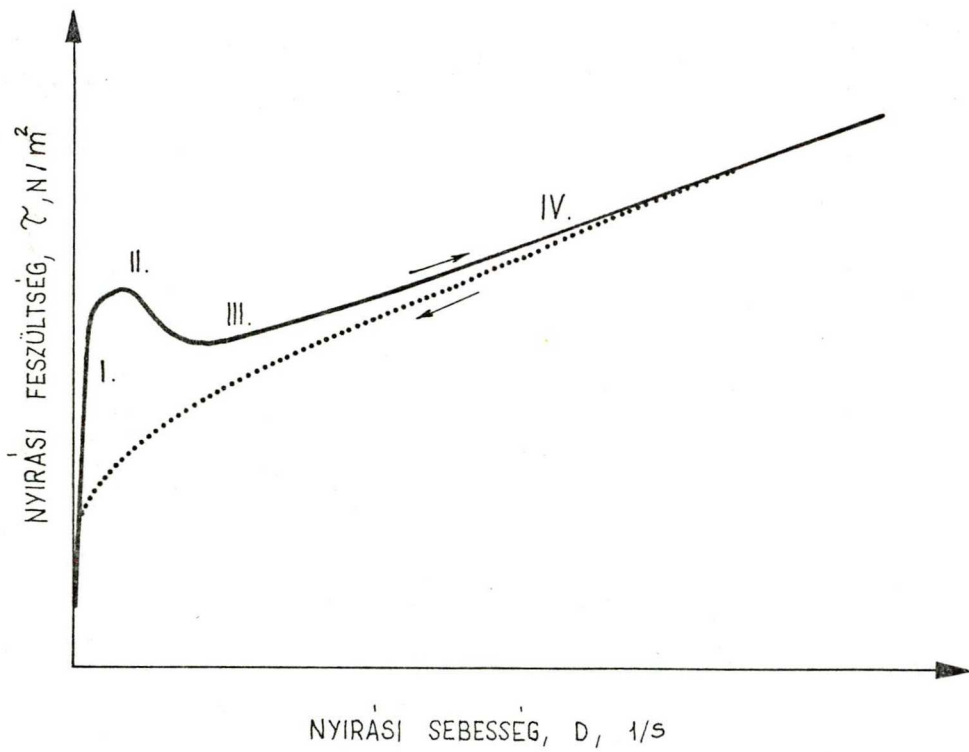
alapanyag	flokkulens	$A, N/m^2$	$\alpha\phi_0$
iszkai bx	2kg liszt/ t_i	26	0.06
halimbai bx	2kg liszt/ t_i 70g/ t_i RMN-30	88	0.13

3.3. A flokkulált vörösiszapszuszpenziók folyásgörbéinek
értelmezése a pehelymodell alapján

A 32. ábrán egy flokkulált vörösiszapszuszpenzió folyásgörbéje látható. E görbén tanulmányozható mindaz a jellegzetesség, ami tapasztalható a vörösiszapszusz-

penziók reológiai viselkedésében. A folyásgörbék I. szakaszán igen kis folyási sebességeknél a rendszer nyirási ellenállása és a nyirási sebesség között lineáris kapcsolat áll fenn. Az ülepedés II. szakaszában kialakult 10-20 μm átmérőjű viszonylag szilárd pelyhekre nézve a térbetöltés 0.52-0.74 közötti érték, ami azt jelenti, hogy egy $n=6$ - $n=12$ koordinációs számú térháló alakul ki. A nyirás megindulásakor valószínűleg e pelyhek a folyásegységek, hiszen igen kis nyirási sebességekkel szemben még ellenállóak. A folyáskor ezek a gömb alaku pelyhek mozdulnak el, tehát a köztük lévő kötések fölszakadnak, majd új kontaktusokat létesítenek egymással.

A nyirássebesség növelésekor a rendszer minőségétől függően, a szuszpenzió nyirási ellenállása alig nő, vagy csökken /II. szakasz/. E tartományban a nyirási sebesség hatására fellépő nyirófeszültségek elérik és meghaladják a pelyhek szilárdságát. A pelyhek e nyirási erők hatására szerkezetváltozást szenvednek és a bezárt folyadék egy része felszabadul. Ahogy a folyamat előrehalad, csökken a nyirási ellenállás, mert csökken a rögök és a pelyhek együttes térbetöltése, nő a szabad folyadék mennyisége a rendszerben. Végül a teljes részben kialakul a nagy pelyhek felbomlásával a rögökre jellemző új szerkezet és e rögök a folyásegységek.



32. ábra

A vörösiszapszuszpenziók jellegzetes folyásgörbéje

Innen kezdve a nyirási sebesség és a nyirófeszültség közti kapcsolat ismét lineáris /IV. szakasz/. A rés méretétől és a rendszer viszkozitásától függő nyirássebességnél esetleg turbulencia is fellép, amely újabb töréspontot okozhat a folyásgörbén.

A kvázi-newtoni lineáris szakasz meredeksége a Bingham-féle plasztikus viszkozitás, a meghosszabbításával nyerhető tengelymetszet a Bingham-féle folyáshatár az a minimális nyirófeszültség, ami a stabil folyásegységek /rögök/ fenntartásához szükséges. A folyásgörbe növekvő nyirássebességeknél felvett felszálló egyensúlyi ága után a nyirássebesség csökkentésével a leszálló ágot, illetve a két ág által bezárt hiszterézis hurkot nyerhetjük. A leszálló ág felvételének befejezésekor a kis sebességgel forgatott rotor leállítása után a műszer kitérése még nagy szilárdanyag-koncentrációk /270-390kg/m³/ esetén is zérusra áll, azaz a vörösiszap-szuszpenziókra nem találtam maradó folyáshatárt.

A hiszterézishurok megjelenése jelzi, hogy a szuszpenzió szerkezete átalakulás után nem alakul vissza a kiindulási állapotba. Megfigyeléseim szerint még hosszabb várakozási idő után sem mérhető ismételten az eredeti felszálló ágnak megfelelő folyásgörbe, hanem az a leszálló ággal azonos futásu lesz. A lenyirt szuszpenziók tovább ülepsznek, annak ellenére, hogy a vizsgált szuszpenzió a gravitációs ülepedéssel előálló végső koncentráció állapotnak felelt meg.

Reológiai mérési adataim összefoglalásaként megállapítható, hogy

- 1./ a vörösiszap-szuszpenziók relatív viszkozitását leíró formulában a szilárdanyag-térbetöltési tényező helyett az aggregációval, illetve flokkulálással kialakult pehely-térbetöltési tényezőt kell figyelembe venni,
- 2./ a folyásgörbék futása alapján a vörösiszap szuszpenziók szerkezetátalakulása figyelhető meg a reométerben létrehozott nyírás következtében. A relatív viszkozitás koncentrációfüggése olyan szerkezetváltozásra enged következtetni, amely kezdeti nagyméretű specieszek nyírás közbeni felaprózódásával azonosítható. Ez utóbbi folyás-egységek kötött folyadéktartalma kisebb, mint az eredetieké,
- 3./ a Bingham-féle folyáshatár és a pehely-térbetöltési tényező összefüggése a kétfajta vörösiszapra különbözőnek adódott. A szuszpenzió folyás-egységei között fennálló kapcsolatot kifejező vonzási állandó is eltérő a két iszapra, azonos alapanyagú iszap esetén azonban független a flokkuláns minőségétől.
Ez és az Eilers-formula érvényessége együttesen igazolja, hogy a teljesen lenyírt szuszpenzióban az elektrokémiai aggregációval megszabott méretű rögök a folyási egységek, nem pedig a vörösiszap primer szilárd szemcséi.
- 4./ a maradó folyáshatár hiánya arra utal, hogy a leülepedett szuszpenzióból kiinduló méréskor a koherens szuszpen-

zióból a szerkezet szétnyírásával szemikohérens, további ülepedésre képes szuszpenzióhoz jutunk. A nyírással létrehozott szerkezetátalakulás irreverzibilis.

A reológiai viselkedés ilyen értelmezése jól egybeesik az ülepedésvizsgálati tapasztalatokkal, az ülepedés helymodelljével. Az ülepedési jelenségek is azzal magyarázhatók, hogy a vörösiszapok szerkezetátalakulása - ott az ülepedés miatt feláramló folyadék okozta nyírás miatt - irreverzibilis szerkezetátalakulás, ami kötött folyadék felszabadulással jár és lehetővé teszi a szuszpenzió eredeti helyszerkezetével korlátozott ülepedés folytatódását.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ALUTERV-FKI sugárabSORPCÍÓS ülepedésvizsgáló berendezésével évek óta folynak ipari célú vörösiszap ülepitési kísérletek.

Doktori értekezésemben ehhez kapcsolódva különböző ülepitőszerek hatását vizsgálok a vörösiszap ülepedésére. A közvetlen ipari hasznosíthatóság szempontjainak megfelelően vizsgálataimat timföldgyári vörösiszap mintákon, illetve laboratóriumi körülmények között az ipari technológiának megfelelő módon előállított vörösiszapszuszpenziókon végeztem. A vizsgált ülepitőszerek egyrészt a timföldgyárakban hagyományosan használt rozsliszt, másrészt az iparágban egyre terjedő szintetikus készítmények. Az ülepedés vizsgálatát sugárabSORPCÍÓS ülepedésvizsgáló berendezéssel végeztem. Az eredmények értékelésére számítógépi programot készítettem.

Az ülepitőszer nélkül ülepitett vörösiszapszuszpenziók vizsgálati eredményeiből megállapítottam, hogy nem a primér vörösiszap szemcsék, hanem az ezekből képződött, folyadékot is bezáró aggregátumok ülepednek, az ülepedési sebességet nem a szilárdanyag, hanem az aggregálódott rögök térbe-töltése határozza meg. Ülepitőszer nélkül a szuszpenzió szilárd fázisának egy része fajtázódik.

A különböző ülepitőszerek hatását vizsgálva meghatároztam az ülepitőszer adagolás hatását a vörösiszapszuszpenzió ülepedési sebességének koncentrációfüggésére. Egyfajta üle-

pitőszer mennyiségének növelése megszünteti a fajtázódást, növeli a kezdeti ülepedési sebességet, de csökkenti a nagyobb szilárdanyag-koncentrációju tartományban az iszap tömörödési sebességét.

A különböző szintetikus ülepitőszerek molekulasúlyának és ionos sajátságainak hatását vizsgálva megállapítottam, hogy a szintetikus készítmények liszt helyetti alkalmazása többszörös előnnyel jár. A teljes koncentráció-tartományban növeli az ülepedési sebességet és mivel optimális adagolása esetén a teljes mennyiség a szilárd fázishoz kapcsolódik, a liszttel ellentétben nem növeli a Bayer-lug szervesanyag szintjét.

A nagy változatosságban kínált szintetikus ülepitőszerekkel, illetve ezek és liszt megfelelő keverékével, az ipar által kívánt, szinte tetszőleges ülepedési sajátságú szuszpenziók előállíthatók. Az eredeti és a flokkulált vörösiszap-szuszpenziók közös tulajdonsága, hogy gravitációs ülepedés esetén két vagy három egymáshoz illeszkedő koncentráció-tartományban érvényes az ülepedési sebességre a módosított Richardson-Zaki egyenlet, tehát egy-egy tartományon belül a vörösiszapzagy úgy ülepszik, mint az ideális szuszpenziók. A tartományok közötti átmeneti szilárdanyagkoncentrációnál az ideális szuszpenzió feltételezett gömb alakú ülepedő specieszei szerkezeti átalakulást szenvednek. A következő tartomány kisebb méretű, kevesebb kötött folyadékot tartalmazó egységek ideális ülepedéseként írható le. A kollapszus-

pontban az eredeti pelyhek statisztikusan szoros illeszkedésűek, a szerkezet átalakulása és a kötött folyadék egy részének leadása után viszont jóval kisebb térbetöltés alakul ki, így az ülepedés, illetve tömörödés a szuszpenzióban tovább folytatódhat.

Az ülepedésvizsgálati eredményekből kiszámíthatók a fenti pehelymodell jellemző paraméterei: a pehely, illetve rögé-
átmérők, a folyadék immobilizációs tényezők és a kollapszusponti szilárdanyag-koncentráció. Az ülepedés kinetikájának teljes leírásához elegendő a fenti öt, fizikailag jól értelmezhető paraméter.

A pehelyszerkezet átalakulásának dinamikájára korábban feltételezték, hogy a kollapszust az ülepedő pelyhek és a folyadék relatív mozgása közben fellépő nyiróerők okozzák. E feltételezés helyességét reológiai mérésekkel ellenőriztem.

Rotációs viszkoziméterrel az ülepedési spontán nyiróerők helyett kontrollált nyirási körülményeket valósítottam meg olyan vörösiszapszuszpenziókon, amelyekben az ülepedés elhanyagolható volt.

A relatív viszkozitásra, a Bingham-féle folyáshatárra és a maradó folyáshatárra vonatkozó mérési adataimból arra következtettem, hogy a reométerben megvalósult szerkezetátalakulások is egyértelműen igazolják az ülepedési pehelymodellt. A kétféle mérésakor tapasztalt jelenségek az ülepedési és a reológiai paraméterekkel kölcsönösen, egyértelműen értelmezhetőek.

FÜGGELEK

A SUGÁRABSZORPCIÓS MODELL ÜLEPÍTŐ MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK KIÉRTÉKEELÉSE /10,37/

A koncentrációs skála meghatározása

A SAMÜ mérés eredményeként kapott koncentrácioprofilok kiértékelésének első lépése, a koncentrációs skála meghatározása.

A sugárzás intenzitása keskeny sugárnyaláb esetén a szilárdanyag-koncentráció exponenciális függvénye:

$$I_c = I_0 \cdot e^{-a \cdot C} \quad /1/$$

ahol I_0 a tiszta lug átsugárzásakor mérhető intenzitás,
/pps/

a a sugárgyengülési együttható $/m^3/kg/$,

I_c a C szilárdanyag-koncentrációjú szuszpenzió átjutó
sugárzás intenzitása, /pps/.

Ha egy ismert szilárdanyag-koncentrációhoz tartozó intenzitást megmérünk és ismerjük a tiszta lugra vonatkozó intenzitást, akkor az ismeretlen koncentráció adatok meghatározhatók az

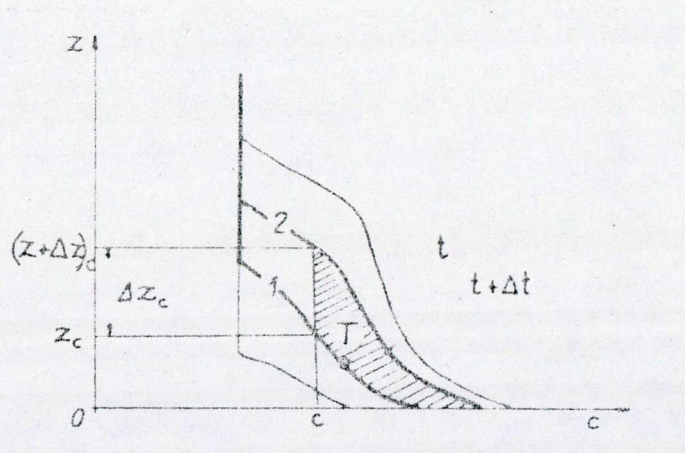
$$I_c = I_0 \cdot (I_0 / I)^{C/C_0} \quad /2/$$

összefüggés segítségével. Adott osztásközü skálát úgy nyerünk, hogy a végső állapothoz tartozó legnagyobb szilárdanyag-kon-

centrációt kiszámítjuk és az így meghatározott $0-C_{\max}$ koncentrációintervallumot a megkívánt számú egyenlő részre osztjuk fel. Ismert koncentrációnak a kiindulási szilárdanyag koncentrációt választottuk, melyet a 2.1. fejezetben ismertetett módon meghatároztunk minden ülepitett vörösiszap-szuszpenzió esetén.

Ülepedési fluxus meghatározása a koncentrációprofil görbékből

A mért koncentrációprofilokból a szuszpenzió egyes koncentráció-állapotaihoz rendelhető ülepedési fluxusokat a 33. ábrának megfelelően az alábbi módon határozzuk meg:



33. ábra

Ülepedési fluxus meghatározása a koncentrációprofilokból folytonos koncentrációmenet esetén.

Az ábrán vastag vonallal kijelöltünk két egymás után felvett, a t és a $t + \Delta t$ ülepitési időkhöz tartozó koncentrácioprofil. A tömörödési zóna egy kiválasztott c koncentrációju vékony rétege az első profilgörbén z_c , a másodikon $/z + \Delta z_c/$ függőleges pozíciónál található.

A c koncentrációju állapot a tömörödés miatt U_c sebességgel halad felfelé a szuszpenzióban:

$$U_c = \frac{dz_c}{dt} \approx \frac{\Delta z_c}{\Delta t} \quad /3/$$

A felfelé haladó rétegen keresztül u_c sebességgel ülepedő szemcsék a réteghez viszonyítva $U_c + u_c$ sebességgel haladnak, így a rétegen át betáplált anyagmennyiség Δt idő alatt, egységnyi ülepitőfelületre számítva $/U_c + u_c/ \cdot c \cdot \Delta t$ lesz. Ez a betáplált szilárdanyagmennyiség a 33. ábra koncentrácioprofiljának z_c , illetve $/z + \Delta z_c/$ szint alatti területe különbségeként jelentkezik, ami a $c \cdot \Delta z_c$ területű téglalap és az ábrán vonalkázott T terület összege. Felírható tehát a következő egyenlet:

$$(U_c + u_c) \cdot c \cdot \Delta z_c + T \quad /4/$$

illetve

$$c \cdot (U_c + u_c) = c \frac{\Delta z_c}{\Delta t} + \frac{T}{\Delta t} \quad /5/$$

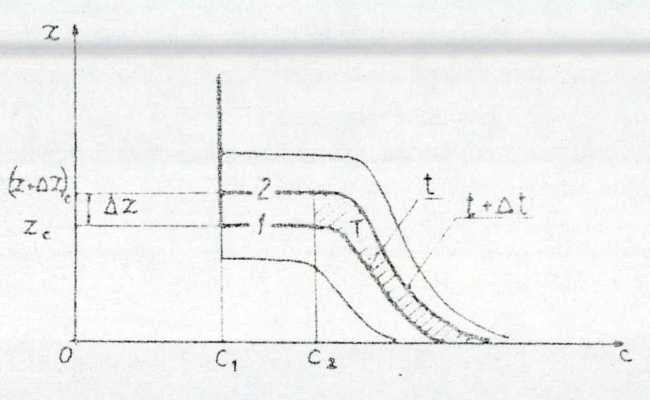
A /3/ összefüggés miatt egyszerűsíteni lehet, és így az ülepedési szilárdanyag fluxus a T terület és a Δt regisztrálási időköz hányadosaként adódik:



$$S_c = u_c \cdot c = \frac{T}{\Delta t}$$

161

amely a szuszpenzió minden olyan helyén lehetővé teszi a fluxus kiszámítását / T grafikus integrálása útján/, ahol a koncentráció és a fluxus folytonosan változik.



34. ábra

Ülepedési fluxus meghatározása a koncentrációprofil görbéből ugrásszerű koncentrációmenet esetén.

A koncentrációprofilokon jelentkező vízszintes görbeszakaszok /34. ábra/ a szuszpenzióban kialakult koncentrációugrást, diszkontinuitást jelképeznek. A vízszintes szakasz minden pontjára, tehát az összes $c_1 = c = c_2$ koncentrációkra azonos az U állapotterjedési sebesség, és pedig megegyezik a c_2 felső határkoncentráció U_{c2} vándorlási sebességével. A vékony diszkontinuus rétegbe beülepedő szem-

csék sebességét viszont a c_1 koncentráció szabja meg, az tehát u_{c1} lesz. Az/5/ egyenlet analógiájára felírható, hogy

$$(U_{c2} + u_{c1}) \cdot c_1 = U_{c2} \cdot c_2 + \frac{T}{\Delta t} \quad /7/$$

amiből az alsó határkoncentrációt jellemző ülepedési fluxus:

$$S_{c1} = u_{c1} c_1 = \frac{T}{\Delta t} + (c_2 - c_1) \frac{\Delta z}{\Delta t} \quad /8/$$

a felső határkoncentrációra pedig érvényes, hogy:

$$(U_{c1} + u_{c2}) \cdot c_2 = U_{c1} c_1 + \frac{T}{\Delta t} \quad /9/$$

illetve egyszerűsítés után:

$$S_{c2} = u_{c2} c_2 = \frac{T}{\Delta t} \quad /10/$$

ami tartalmában azonos a /6/ összefüggéssel.

A /10/ és a /8/ egyenletek különbségéből képezhető

$$U = \frac{S_{c2} - S_{c1}}{c_2 - c_1} \quad /11/$$

összefüggés megegyezik Kynch-nek a diszkontinuitások terjedési sebességére vonatkozó összefüggésével /8/.

A koncentrációprofilok grafikus integrálását, a fluxus különböző koncentrációállapotokhoz tartozó fluxusértékek és a fluxusadatok ismeretében az ülepedési sebesség értékek kiszámítását HF-9830A típusú asztali számítógéppel végezzük el.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Robinson, S.C.: Some factors influencing sedimentation.
Ind. Eng. Chem. 18. 869-871, 1926 .
2. Steinour, H.N.: Rate of sedimentation I. Nonflocculated suspensions of uniform spheres.
Ind. Eng. Chem. 36, 618-624, 1944 .
3. Richardson, J.F., Zaki, W.N.: Sedimentation and fluidisation Part.I. Trans. Inst. Chem Engrs. 32, 35-53, 1954.
4. Steinour, H.H.: Rate of sedimentation. II. Suspensions of uniform-size angular particles. Ind. Eng. Chem. 36. 840-850. 1944.
III. Concentrated flocculated suspensions of powders. Ind. Eng. Chem. 36, 901-907, 1944.
5. Ward, S.G., Whitmore, R.L.: Study of the viscosity and sedimentation of suspensions. Br. J. Appl. Phys. 1, 286-296, 1950.
6. Richardson, J.F., Meikle, R.A.: Sedimentation and fluidisation. Part III.: The sedimentation of uniform fine particles and of two-component mixtures of solids.
Trans. Instn. Chem. Engrs. 39, 345-356. 1961.
7. Brauer, H., Kriegel, E.: Kornbewegung bei der Sedimentation Chemie Ing. Technik, 38, 321-330, 1966.
8. Kynch, G.J.: Theory of sedimentation. Trans. Far. Soc. 48, 166-176, 1952.
9. Grassmann, P., Strauman, R.: Entstehen und Wandern von Unstetigkeiten der Feststoffkonzentration in Suspensionen. Chemie Ing. Technik, 35, 477-482, 1963.
10. Vörösiszapok ülepedésének vizsgálata sugárabszorpciós módszerrel. A Fémipari Kutató Intézet Jelentése, 1976.
11. Coe, H.S., Clevenger, G.H.: Methods for determining the capacities of slime-settling tanks. Am. Instn. Min. Engrs. 55. 356-384, 1916.
12. Gilde, M., Szántó, F., Varga, K., Gilde, F.J.: Sedimentation of structured suspensions I. Acta Phys. et Chem. Szeged. 20 /1-2/, 145-155, 1974.

13. Scott, K.J.: Theory of thickening: factors affecting settling rate of solids in flocculated pulps.
Trans. Inst. Min. Metall. 77., C 85-97, 1968.
14. Michaels, A.S., Bolger, J.C.: Settling rates and sediment volumes of flocculated kaolin suspension.
Ind. Eng. Chem. Fund. 1. 24-33, 1962.
15. Talmage, W.P., Fitch, E.B.: Determining thickener unit areas.
Ind. Eng. Chem. 47, 38-41, 1955.
16. Fitch, E.B.: Current theory and thickener design.
Ind. Eng. Chem. 58. No. 10. 18-28, 1966.
17. Shannon, P.T., Stroupe, E., Tory, E.M.: Batch and continuous thickening, Basic Theory, Solid Flux for rigid spheres.
Ind. Eng. Chem. Fund. 2, 203-211, 1963.
18. Shannon, P.T., De-Haas, R.D., Stroupe, E.P., Tory, E.M.: Batch and continuous thickening. Ind. Eng. Chem. Fund. 3. 250-260, 1964.
19. Tory, E.M., Shannon, P.T.: Reappraisal of the concept of settling in compression. Ind. Eng. Chem. Fund. 4. No. 2, 194-204, 1965.
20. Shannon, P.T., Tory, E.M.: Settling of slurries. Ind. Eng. Chem. 57. No. 2. 18-25, 1965.
21. Roberts, E.J.: Thickening-art or science? Trans. Am. Inst. Min. Engrs. 184, 61-64, 1949.
22. Gaudin, A.M., Fuerstenau, M.C.: The Transviewer. X-ray to measure suspended solid concentration. Engng. Min. J. 159, 61-64, 1958. sept.
23. Gaudin, A.M., Fuerstenau, M.C., Mitchell, S.R.: Effect of pulp depth and initial pulp density in batch thickening. Trans. Amer. Inst. Min. Engrs. 214, 613-616, 1959.
24. Gaudin, A.M., Fuerstenau, M.C.: On the Mechanism of Thickening. Mineral Proc. Congress. Inst. Min. Metall. London. 1960. 115-127.
25. Scott, K.J.: Mathematical models of mechanism of thickening. Ind. Eng. Chem. Fund. 5. No. 1. 109-113, 1966.
26. Scott, K.J.: Significance of critical settling point in settling of flocculated slurries. Trans. Inst. Min. Metall. 76, C 71-72, 1967.
27. Scott, K.J.: Continuous thickening of flocculated suspensions. Ind. Eng. Chem. Fund. 9, 1970.

28. Máriási, M.: Adatok a vörösiszap ülepitésének kérdéséhez. Fémipari Kutató Intézet Közleményei III. Budapest, 51-63, 1959.
29. Oswald, Z.: Expanzió hatása a vörösiszap ülepedésére. Fémipari Kutató Intézet Közleményei IV. 77-81. 1960.
30. Holló, J., Szejtli, J., László, E., Gantner, G.S., Tóth, Zs., Huszár, J., Lux, A.: Bedeutung und Degregation der Stärke im Bayer-Verfahren. Die Stärke 16. No.4., 118-122. 1964.
31. Winkhaus, G.: Anwendung von Radioisotopen in der Aluminium-industrie. Informationsheft des Büro Eurisotop. Serie: Monographien-17. 1972.
32. Solymár K., Bujdosó E.: Properties of red mud in the Bayer process and its utilisation. Proc. Session 10, 2nd AIME Annual Meeting, Chicago, III. Light Metals, Vol.2. The Metallurgical Society of AIME. New York, 717-774, 1973.
33. Tóth, L.: Szuszpenziók ülepedési tulajdonságainak vizsgálata sugárabszorpciós módszerrel. Izotóptechnika, 17, 70-79, 1974.
34. Matula, M., Tóth, L., Bujdosó, E.: Dimensionierung von Rot-schlammeindickern. Messtechnik und mathematisches Model. Travaux de l'ICSOBA, 13, 519, 1976.
35. Matula, M., Tóth, L., Bujdosó, E.: Vörösiszapülepitők tervezése, méréstechnikai és matematikai modell. Bányászati és Kohászati Lapok - Kohászat 109, 228-234. 1976. 5. szám.
36. Bujdosó E., Tóth L.: Anwendung nuklearer Verfahren in der ungarischen Tonerdeindustrie. Isotopenpraxis. 15. 148-154, 1979.
37. Bujdosó, E., Tóth, L.: The solvation factor of red mud particles and its influence on the sedimentation. 3rd Yugoslav Symp. on Aluminium, III. JUGAS, Sibenik, 19-21, April, 1978.
38. Kitchener, J.A.: Principles of action of polymeric flocculants. British Polym. Sci. 4, 217-229, 1972.
39. Wolfram, E.: Kolloidika II. Egységes jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.

40. State of the art of coagulation. Mechanism and stoichiometry. Jour. AWWA 63/2, 99-108, 1971.
41. Warkentin, B.P., Miller, R.D.: Conditions of the affecting formation of the montmorillonite-polyacrylic acid bond. Soil Sci, 85, 14, 1958.
42. Black, A.P. et al.: Destabilization of dilute clay suspensions with labelled polymers. Jor. AWWA 57, 1547, 1965.
43. La Mer, V.K., Healy, T.W.: Adsorption-flocculation reactions of macromolecules at the solid-liquid interface. Pure and Appl. Chem. 13, 112, 1963.
44. Cohen, J.M., Rourke, G.A., Woodward, R.L.: Natural and synthetic polyelectrolytes as coagulant aids. Jour. AWWA. 50, 463, 1958.
45. Kragh, A.M., Langston, W.B.: The flocculation of quartz and other suspensions with gelatin. Jour. Colloid Sci. 17, 101, 1962.
46. Birkner, F.B., Morgan, J.J.: Polymer Flocculation Kinetics of Dilute Colloidal Suspensions. Jor. AWWA. 60, 175, 1968.
47. Chandler, L.J.: Advances in the Use of Synthetic Flocculants, Light Metall, 1976. Vol.2. Proc. Sessions AIME Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, AIME New York, 163-171, 1976.
48. Brown, N., Cole, T.J.: The behaviour of sodium oxalate in a Bayer alumina plant. AIME, Light Metals, 1980. 109th AIME Annual Meeting, Las Vegas, 105-118, 1980.
49. Robinson, J.V.: The Viscosity of Suspensions of Spheres J.Phys. Coll. Chem. 53. 1042-1055, 1949.
50. Roscoe: Flow Properties of Disperse Systems. Edited by J.J.Hermans, North-Holland Publishing Company Amsterdam 1953.
51. Szántó, F.: Strukturált szuszpenziók ülepedési és reológiai sajátságai. Akadémiai doktori értekezés, Szeged, 1976.
52. Eilers, H.: Viskosität von Emulsionen hochviskoser Stoffe, Kolloid Z. 97, 313-321, 1941.
53. Michaels, A.S., Bolger, J.C.: The Plastic Flow Behaviour of Flocculated Kaolin Suspensions, I.&EC Fundamentals. 1. 153-162, 1962.



54. Szántó, F., Balázs, J., Sümegi, M.: Koherens szuszpenziók reológiai vizsgálata I. A folyásgörbe típusok és folyáshatárok általános jellemzése. Magy. Kém. Folyóirat, 76, 531-536, 1970.
55. Balázs, J., Sümegi, M., Szántó, F.: Koherens szuszpenziók reológiai vizsgálata II. Tiszta, organikus közegű bárium-szulfát szuszpenziók reológiai sajátosságai és szerkezetképzése. Magy. Kém. Folyóirat, 76, 656-659, 1970.
56. Sümegi, M., Balázs, J., Szántó, F.: Koherens szuszpenziók reológiai vizsgálata, III. A reológiai jellemzők koncentrációfüggése. Magy. Kém. Folyóirat, 76, 659-663, 1970.
57. Csürös Z., Bozai J.: Reológiai alapismeretek
Mérnök Továbbképző Intézet 4314. Budapest 1964.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok az Alumíniumipari Tervező és Kutató Intézet vezetőinek, hogy lehetővé tették számomra doktori ösztöndíjasként dolgozatom elkészítését.

Köszönettel tartozom dr. Bujdosó Ernő kandidátusnak és dr. Tóth Lajosnak a témavezetés áldozatos munkájáért, Boldog János, Benkő Lajos és Nunn András technikusoknak a kísérleti munkában adott nélkülözhetetlen segítségükért. Köszönöm dr. Szántó Ferenc egyetemi tanárnak és munkatársainak, hogy szakmai tanácsaikkal segítettek munkámban.