

KATONA KRISTÓF
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK

KATONA KRISTÓF
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
Zeolit halmaz fluidizációs görbéinek meghatározása különböző
nedvességtartalmak esetén

Témavezető:

Dr. Poós Tibor

egyetemi docens

Budapest, 2023

NYILATKOZAT AZ ÖNÁLLÓ MUNKÁRÓL

Alulírott, *Katona Kristóf* (CQWWV9), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a tudományos diákköri konferencia dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2023. 11. 04.

Katona Kristóf

hallgató

Tartalom

Előszó.....	2
Jelölések jegyzéke.....	3
1. Bevezetés.....	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	7
2.1. Elméleti fluidizációs diagram.....	7
2.2. Fluidizációs állapotok.....	10
2.2.1. Minimális fluidizációs sebesség.....	10
2.2.2. Homogén és heterogén Fluidizációs állapotok.....	11
2.2.3. A részecskék mozgása buborékos fluidizáció esetében.....	12
2.2.4. Turbulens fluidizáció és a pneumatikus szállítás tartománya.....	12
2.3. Fluidizációs diagramok más munkákból.....	13
2.3.1. Üveg ágyak és CO ₂ gáz.....	13
2.3.2. Üveg ágy vízzel.....	14
3. Felhasznált Anyagok és módszerek.....	17
3.1. Zeolit.....	17
3.2. Mérési módszer.....	19
3.2.1. Mérés fluidizációs szárítóval.....	19
3.2.2. Táblázat a számítások menetéről.....	21
3.2.3. Mérések a szárítókamrában.....	22
3.3. Használt berendezések.....	23
3.3.1. A használt mérleg és a víz anyagban való elegyítéséhez használatos gép.....	23
3.3.2. A fluidizációs szárító berendezés.....	24
3.3.3. Adatrögzítésre használt eszközök.....	26
3.3.4. Szárítókamra és mérleg.....	26
4. Eredmények.....	28
4.1. Mérési eredmények.....	28
4.1.1. Kiértékelés.....	29
4.2. Fluidizációs diagramok.....	30
4.2.1. Kiértékelés.....	33
4.3. Fluidizációs diagram minden nedvességtartalommal.....	34
5. Összefoglalás.....	36
6. Források.....	37

ELŐSZÓ

Ez a Tudományos Diákköri Konferencia esszé egy nyári mérésorozatot dolgoz fel, aminek során mérőtársammal fluidizációs szárítóban zeolitot szárítottunk ki. A mérések során a szárítótérben létrejövő nyomásesés vizsgálata volt az elsődleges cél. A szárítóba érkező levegő sebességét fokozatosan növeltük, így minden sebességértéknél megfigyelhető, hogy mekkora nyomásesés keletkezett a szárítóban.

* * *

Köszönetnyilvánítás. A mérések során velem együtt dolgozott Clément Talbotec, akinek köszönetet nyilvánítok kitartó segítségéért.

Budapest, 2023. 11. 04.

Katona Kristóf

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
A	Keresztmetszet	m^2
Ar	Archimedes-szám	1
D	Szállítócső belső átmérője	m
d	Mérőperem átmérője	m
m	Tömeg	kg
m	Meredekség	1
Δp	Nyomáscsökkenés	Pa
q	Térfogatáram	m^3/s
Re	Reynolds szám	1
T	Hőmérséklet	$^{\circ}C$
v	Gázsebesség	m/s
\dot{V}	Térfogatáram	m^3/s
X	Változó, aminek helyén több kémiai elem állhat	1
X	Nedvességtartalom száraz anyagra vonatkoztatva	kg/kg
X_0	Kezdeti nedvességtartalom	kg/kg
X'	Hozzáadandó nedvességtartalom	kg/kg

Görög betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
α	Átfolyási szám	1
β	Szállítócső és mérőperem átmérő hányadosa	1

ε	Tágulási együttható	m
ρ	Sűrűség	kg/m^3
ν	Kinematikai viszkozitás	m^2/s

Indexek, kitevők

Jelölés	Megnevezés, értelmezés
cső	szállítócsőre vonatkozó
dP	száraz anyag
fmax	maximális fluidizációs
fmin	minimális fluidizációs
G	gáz
lev	levegő
L	folyadék
mb	minimális buborékformálási
op	mérőperemre vonatkozó
p	a szárítótér töltettel ellátott állapotban
stat	álló ágy
SZT	szárítótér
víz	víz

1. BEVEZETÉS

A szárítás egy olyan folyamat, aminek során egy anyag felületén és belsejében tartalmazott nedvesség a folyadék elpárologtatásával csökken. A kérdéses folyadék gyakran víz. Az energiatakarékosság szempontjából a szárítás egy költséges művelet, melynek alkalmazásakor törekednek a minél gazdaságosabb kialakítás elérésére. Ez a teljesítmény maximalizálását és a felhasznált energia minimalizálását jelenti.

Különböző anyagok, vagy ugyanannak az anyagnak különböző változatai (például eltérő szemcseméret) más-más eljárásokkal száríthatóak a legjobb eredmény elérése érdekében. Általában a fluidágyas szárítást, aminek működése közben a szemcsék felrepülnek, kisebb szemcseméret esetén, a nyugvó ágyas szárítást pedig nagyobb szemcsék esetében alkalmazzák az iparban. Nagy méretű papírdarabok szárításához hengeres dobszárítót alkalmaznak, ami egy nagyméretű készüléket igényel, és felállítása drága. A különböző összeállítástól függően a hőközlés három különböző fajtája lehet jelen: hővezetés, hőátadás, hősugárzás.

A fluidizációs szárító üzemeltetés során nedvességet távolít el a szilárd szemcsék belsejéből. A fluid szó folyadékra utal, egyben ez az a közeg, ami a szemcséket mozgásban tartja. Jelen esetben ez levegő, ami a részecskék közt áramlik és mozgásban tartja azokat. A megnövekedett szabad felület miatt a légmozgásban lebegő részecskékre a hőközlés hatásosabbá válik, így az anyag belsejéből a nedvesség gyorsabban párolog.

Általánosságban, a szárítani kívánt részecskéket egy szárítótérbe helyezük, aminek belsejében azok lehetnek nyugvó, vagy fluidizált állapotban.

A fluidizált ágy karakterisztikái:

- Fluidizáció: Az áramló levegő a szárított részecskéknél létrehoz egy kedvezőbb eloszlást a száradási faktorok szempontjából, valamint minden részecskét a teljes felületén éri a szárítógáz. A részecskék és a levegő kölcsönhatásából létrejövő halmaz mozgó folyadékhoz hasonlítható.

- Hatékony hőközlés: hővezetés a száradási sebesség további növelése érdekében.
- Gyors párologás: rövid száradási idő és nagy szárítási kapacitás (befogadóképesség)
- A hőmérséklet és a levegő szabályozása: Ennek segítségével lehetővé válik az egyéni helyzeteknek megfelelő körülmények létrehozása, valamint a különböző körülmények közt történt szárítási folyamatok összehasonlítása.

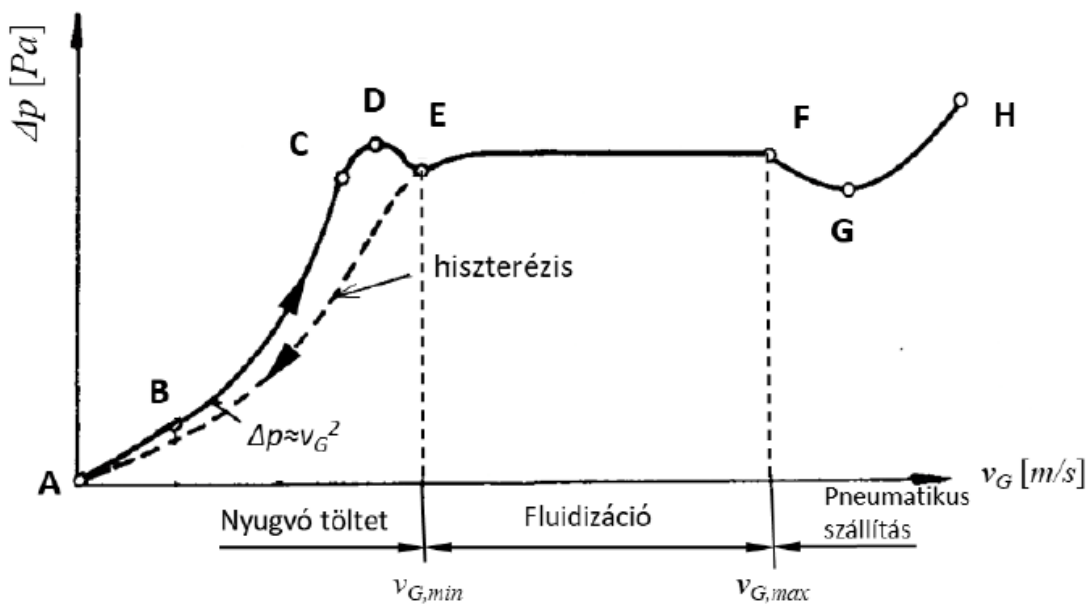
Fontos: magas szárítási hatásfok, a végtermék jó minőségben való vizionlátása, valamint a folyamat egyszerű szabályozhatósága.

A szárítási folyamathoz számtalan jellemző hozzárendelhető. A felhasznált anyag szempontjából annak mennyisége és a szárítóban eltöltött idő befolyásolja a végtermék nedvességtartalmát. [1]

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Elméleti fluidizációs diagram

A fluidizációnak két típusát különböztetjük meg: folyadék és szilárd fázisok érintkeztetése, valamint gáz és szilárd fázisok érintkeztetése. [2] A következő diagram a szárítótér belsejében létrejövő nyomásesést mutatja be, különböző befúvási sebességek mellett.



1. ábra. A fluidizált szemcsés anyag nyomáskülönbségének változása az üres keresztmetszetre vonatkoztatott gáz sebességének függvényében [3]

A-B: A nyomáskülönbség a gázsebesség növelésével a görbe ezen a szakaszán lineárisan változik.

B-C: Ahogy a gáz sebességét növeljük, a nyomáskülönbség a gázsebesség négyzetével egyenesen arányos. Ebben a szakaszban a részecskék nyugvó állapotban vannak a szárító belsejében.

C-D: A sebesség növelésével az ellenállás tovább növekszik, majd a D pontnál eléri a maximumot, ahol további munka szükséges a szemcsék megemeléséhez.

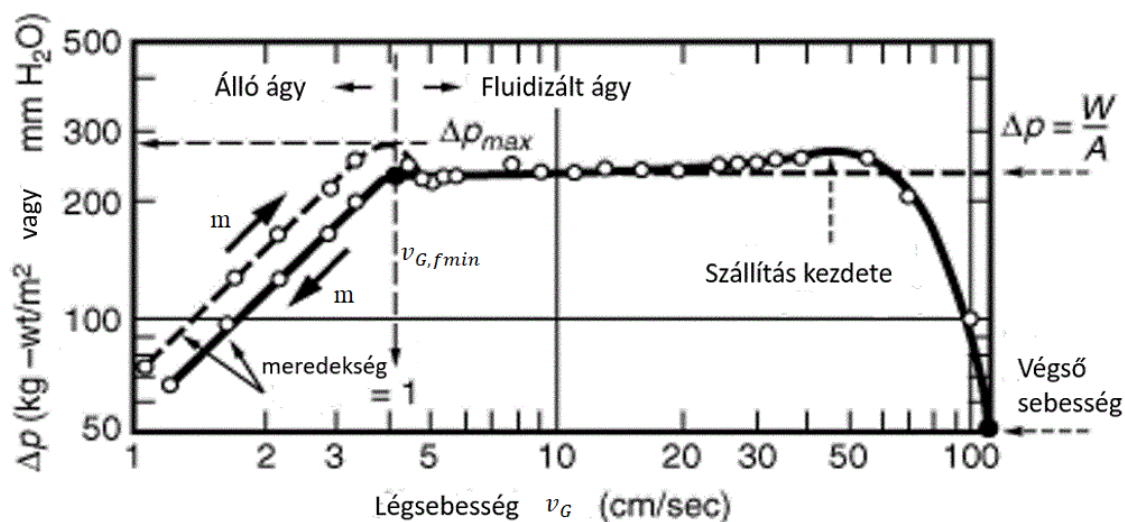
D-E: A nyugalmi helyzetben az extra munka, ami szükséges ahhoz, hogy megemelkedjenek a szemcsék nincsenek jelen a rendszerben, így a nyomáskülönbség lecsökken.

E-F: A fluidizációs tartomány. A görbe ezen a szakaszán a nyomáskülönbség a sebességnövekedés hatására változatlan marad, míg a sebesség növelése a töltetmagasság növekedéséhez járul hozzá. A valóságban az ütközések miatt a görbe nem egyenes, hanem egyenletlenségekkel teli, és egy átlag körül mozog.

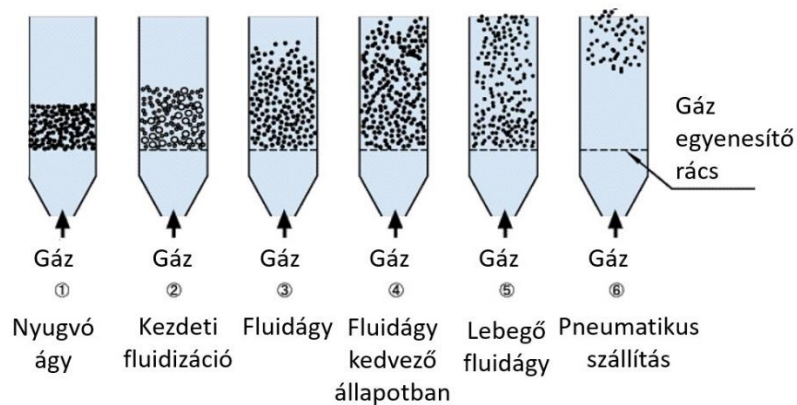
F-G: Túllépve a fluidizációs tartomány végét jelentő maximális gázsebességet, a szállítógáz magával ragadja és kisodorja a részecskéket a szárítótérből. Emiatt az ellenállás fokozatosan csökken, mivel egyre kevesebb szemcsét kell mozgásban tartani.

G-H: Miután a töltetet kihordta a levegő a szárítótérből, az annak belsejében lévő rács további ellenállást fejt ki.

A következő ábra szintén egy nyomásesést bemutató diagramot tartalmaz, itt eltérő alakú görbe látható. Ennek az oka az, hogy ennél az ábránál a nyomáskülönbség a szárítótér belsejében van értelmezve, nem pedig az egész rendszerre, ezért a pneumatikus szállítás szakaszában a száradó szemcsék eltűnnek, így a görbe lefelé tart. A fluidizáció kezdetekor van egy lokális maximum a nyomásesésben, valamint a szállítás kezdetekor is van egy. Egy másik ábra a különböző légsebességek mellett létrejövő fluidizációs állapotokat mutatja.



2. ábra. A fluidizáció különböző szakaszai másképp [2]



3. ábra. A különböző fluidizációs állapotok a szárítótérben [4]

Az első szakaszban a nyomásesést a sűrűlódás okozza. Az álló szemcsehalmazon áthaladó levegő a szemcsék mellett áthaladva sűrűlódó erőhatást fejt ki rájuk, valamint a szárító falára is. Ennek következtében a nyomásesés ahogy növekedik a sebesség egyre nagyobb lesz. Az általában gömb alakú szemcsék falán a gömb különböző részeire eltérő beesési szöggel érkezik a levegő. A nagyobb sebességű levegő nagyobb nyomóerőt fejt ki, így a sűrűlódási erő is nagyobb lesz. A szemcsehalmaz nyugalomban marad, amíg a szemcsékre ható erő nem éri el azok súlyerejét, amikor is azok el tudnak emelkedni.

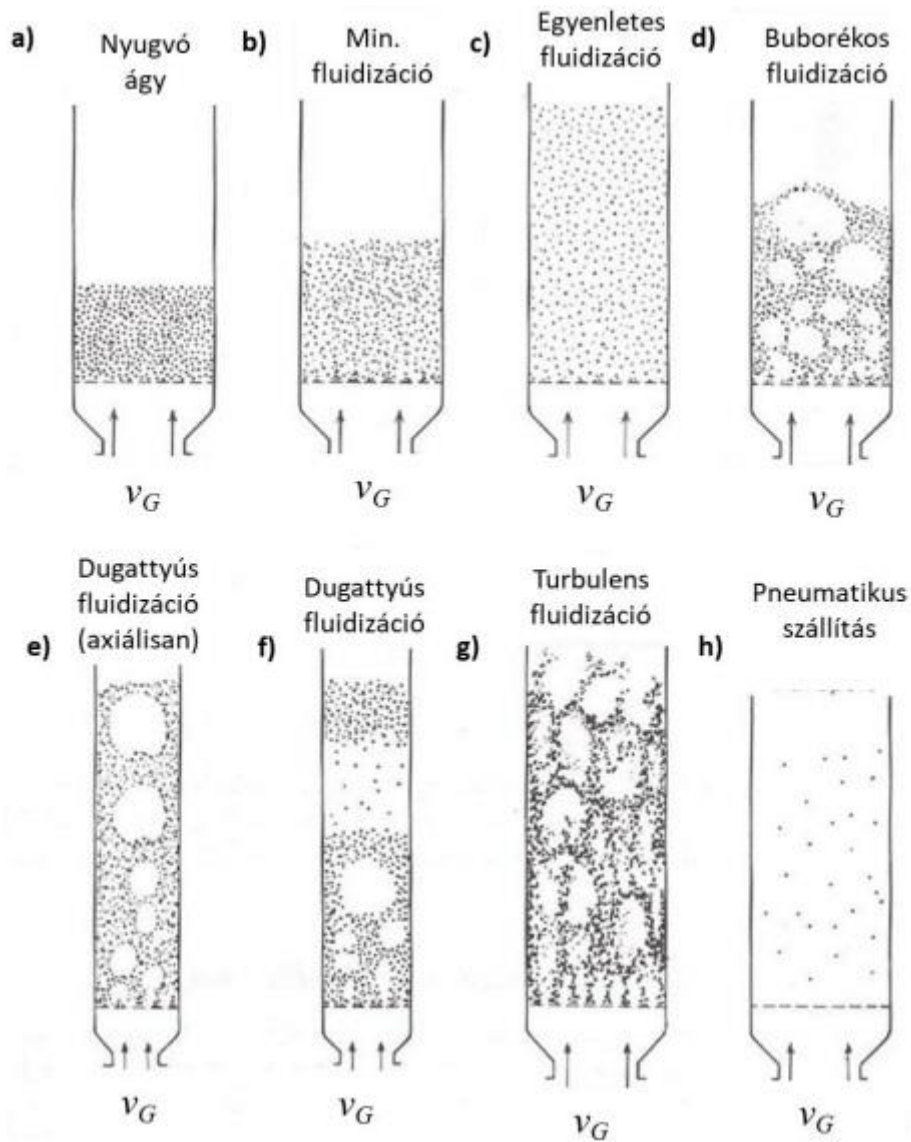
A sebesség emelkedésével növekednek a részecskékre ható erők, majd a fluidizációhoz szükséges minimális v_{fmin} sebesség elérésekor ezek elegendően nagyok lesznek ahhoz, hogy a szemcsék megemelkedjenek. A szemcsék a fluidizációkor egymástól eltávolodnak, így a közöttük áthaladó levegőnek nagyobb térrész áll rendelkezésre az áthaladáshoz. Emiatt a részecskék közt áramló levegő sebessége lecsökken, valamint az azokat érő sűrűlódás is. A keverék kezdetben homogén marad és buborékok nem jelennek meg ezek között a körülmények között. A részecskék folyadékként viselkednek, innen jön a „fluidágy” elnevezés.

A légsebesség további növelésével a töltet magasságának növekedése érhető el, addig a pontig, amíg a levegő el nem éri az v_{mb} minimális buborékformálódási sebességet. Ennél a sebességnél buborékok kezdenek formálódni a fluidágy belsejében. Ez bizonyos anyagok, szemcsetípusoknál jellemző, van, amikor nem figyelhető meg a jelenség. A buborékok mérete és száma növekszik a levegő sebességével és az ágy aljától számított magassággal. Amint az átmérő összehasonlíthatóvá válik az oszlop átmérőjével a fluidizációs szakasz dugattyús fluidizációnak nevezhető.

Még magasabb légsebességeken a részecskéket magával ragadja a légáram, így azok kijutnak a szárítótér belsejéből. Ezt a régiót pneumatikus szállításnak nevezik. [4]

2.2. Fluidizációs állapotok

A buborékokon kívül megfigyelhetők más képződmények is a szemcsehalmazban, amik különböző sebességeknél lépnek fel. A következő ábra ezek közül néhányat ismertet.

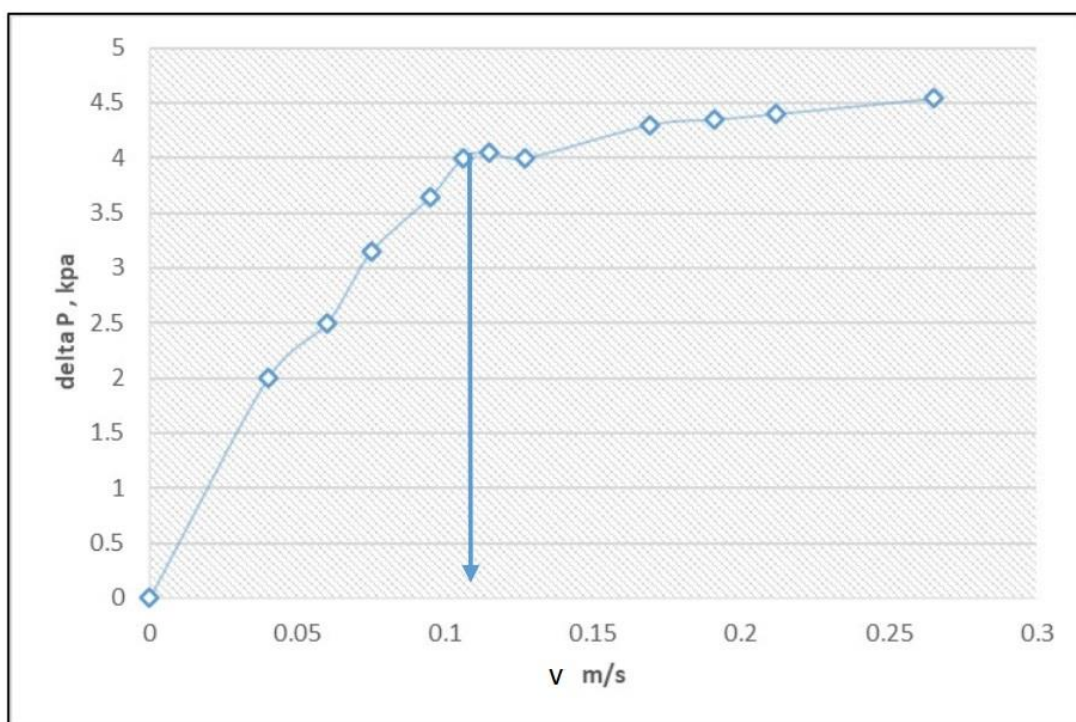


4. ábra. A különböző fluidizációs állapotok a szárítótérben [3]

2.2.1. MINIMÁLIS FLUIDIZÁCIÓS SEBESSÉG

A fluidizációhoz szükséges minimális gázsebesség a szárított anyagalmaz anyagi minőségétől, valamint a szárított anyag mennyiségétől és szárítótér geometriától függő

paraméter. A nyomásesés görbén ez a pont az első emelkedő szakasz végén, a vízszintes szakaszba átvezető görbe szakaszon található meg. A minimális fluidizációs sebességet a szárítótérben elhelyezkedő szemcsék megfigyelésével, mozgásállapot változásuk pillanatában a műszereken mérhető légsebesség leolvasásával rögzíthetjük. Jellemzően az a pillanat, amikor a kezdeti apró mozgások (rezgés, enyhe buborékolás) meg nem szűnő egységes, a szemcséket dobáló mozgássá állnak össze. A következő ábrán egy tanulmány során mért minimális fluidizációhoz tartozó légsebességet feltüntető nyomáskülönbség- sebesség diagram látható.



5. ábra. Nyomáskülönbség és légsebesség kapcsolata [5]

HOMOGÉN ÉS HETEROGÉN FLUIDIZÁCIÓS ÁLLAPOTOK

A fluidizációs tartomány kétféle sebességgel definiálható: minimális fluidizációs sebességgel, valamint a részecskék haladási sebességével, amit másképpen végső zuhanási sebességnek neveznek. Két kategóriába osztható a fluidizáció, aszerint, hogy homogén vagy heterogén fluidizációról beszélünk. Amikor a fluidizáció sebessége (v) alacsonyabb a minimális buborékképződési sebességnél (v_{mb}) homogén fluidizációról beszélhetünk, mert nem jönnek létre benne buborékok [3]. Máskor pedig amikor a fluidizációs sebesség (v) nagyobb a buborékképződési sebességnél (v_{mb}) heterogén, vagy buborékos fluidizációról van szó.

2.2.2. A RÉSZECSKÉK MOZGÁSA BUBORÉKOS FLUIDIZÁCIÓ ESETÉBEN

A részecskék mozgását bonyolultabb megérteni a buborékos fluidizáció esetében, mint az annál egyszerűbb esetben, a homogén fluidizációnál. A részecskéknek a szárítótér középső részében van egy felfelé haladó mozgása, míg a falak mellett egy lefelé mozgás alakul ki. A részecskék vagy szemcsék mozgásának leírására a fluidizációban lévő anyaghalmazban három különböző fázist különböztetnek meg. A szemcsék egyaránt megtalálhatóak lehetnek éppen a sűrű fázisban, amire a lassú mozgás a jellemző, vagy a buborékos régióban, amire a gyors mozgás a jellemző. A buborékoknál megkülönböztetésre kerülnek a „felhő” és „követő” fázisok, a felhő részben a szemcséket teljes mértékben magával viszi, vezeti őket a buborék. Ezeknek a részecskéknek a sebessége nagyon közeli a buborék sebességéhez.

Amint a szemcsék elhagyják ezt a térfogatrészt, belépnek a követő fázisba, ahol a sebességük az előzőekhez képest gyorsan csökkenni kezd. A lassulás a buborék sebességétől kezdődően a sűrű fázis sebességéig bezáróan tart, egészen addig, míg egy új buborék el nem ragadja őket magával. A részecskék mozgása így leírható három időben karakterisztikus mozgástípussal, az „ugrás” a „nyugalom” és a „relaxáció” pillanatával. Az ugrási idő azt az időtartamot jelenti, amikor a szemcsék a felhő fázisban utaznak, a nyugalmi idő a követő fázisban eltöltött időt jelenti, míg a relaxáció pedig a sűrű részben lévő tartózkodás idejét. [6]

2.2.3. TURBULENS FLUIDIZÁCIÓ ÉS A PNEUMATIKUS SZÁLLÍTÁS TARTOMÁNYA

Amint a légsebességet jelentős mértékben megnövelik, a buborékos fluidizációs állapot turbulensé válik. Ez a sebesség akkor érhető el, amint a fluidizációs légsebesség az alábbival egyezik [5]:

$$Re = 0,565Ar^{0,461} \quad (1)$$

Ahogy a fluidizációs szám egyre nagyobb, a mozgás közelebb kerül a részecskék szabadadásához. Ekkor érhető el a gyors fluidizáció. A fluidizációs sebesség ekkor így adható meg [5]:

$$Re = 1.53Ar^{0.5} \quad (2)$$

Hogyha a gázsebességet ennél is tovább növeljük, elérhető a pneumatikus szállítás, amikor a szemcséket a levegő kihordja az ágyból.

Az Archimedes- szám számítása a sűrűségkülönbségen alapul, és az az által létrehozott mozgásmennyiséget vizsgálja. Az erre vonatkozó számítási képlet a következő:

$$Ar = \frac{gL^3 \frac{\rho - \rho_l}{\rho_l}}{v^2} \quad (3)$$

2.3. Fluidizációs diagramok más munkákból

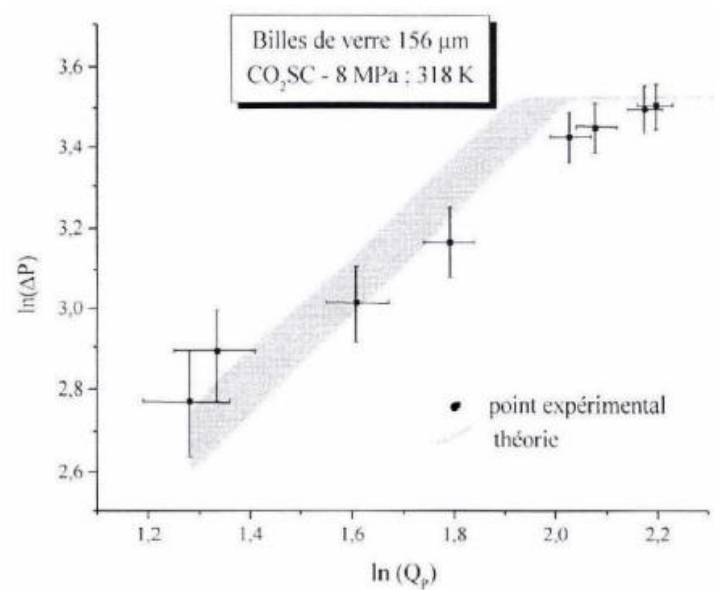
Ez a fejezetrész más publikációkból mutat be eseteket, amikor a fluidizáció jelenségét tanulmányozták. Kísérletek is tartoznak ehhez, mindkét esetben üveg anyagú töltetet alkalmaznak, ez azt is jelenti, hogy itt nem szárításról van szó.

2.3.1. ÜVEGGYÖNGYÖK FLUIDIZÁLÁSA CO_2 GÁZZAL

Ez a tanulmány az üveg fluidizációját tanulmányozza. A gáz, amely nem levegő, hanem CO_2 , arra használják fel, hogy lebegésben tartsa a töltetet. Ennek azért van jelentősége, mert a széndioxid egy nagyságrenddel kisebb viszkozitású, mint a levegő. Ez azért hasznos, mert a kisebb viszkozitású anyag könnyebben eljut minden részre a szemcsék közt, és finom eloszlású, például poros anyag szárításakor ez hozzájárul ahhoz, hogy a szemcsék egyenletes eloszlásban lebegjenek a szárítótér belsejében.

Ezek az üveg ágyak B típusúak a Geldart-féle osztályozás alapján, ami egy diagramon ábrázol fluidizációkor különböző viselkedésű anyagokat zónákra osztással, ahol az ordináta a sűrűséget, az abszcissza pedig az átmérőt ábrázolja.

A következő diagram bemutatja a nyomásesés logaritmikus értékét a logaritmikus CO_2 átáramlás mellett.



4. ábra. Fluidizációs diagram üveg töltetnél logaritmusos értékek feltüntetésével

A diagram a fluidizációig felfejlődő szakaszt, azaz az álló ágy szakaszát mutatja a fluidizációs diagramból. A pontok követik a várt értékeket, azonban eltérések tapasztalhatóak a szakasz végén. [7]

2.3.2. ÜVEGGYÖNGY FLUIDIZÁLÁSA VÍZZEL

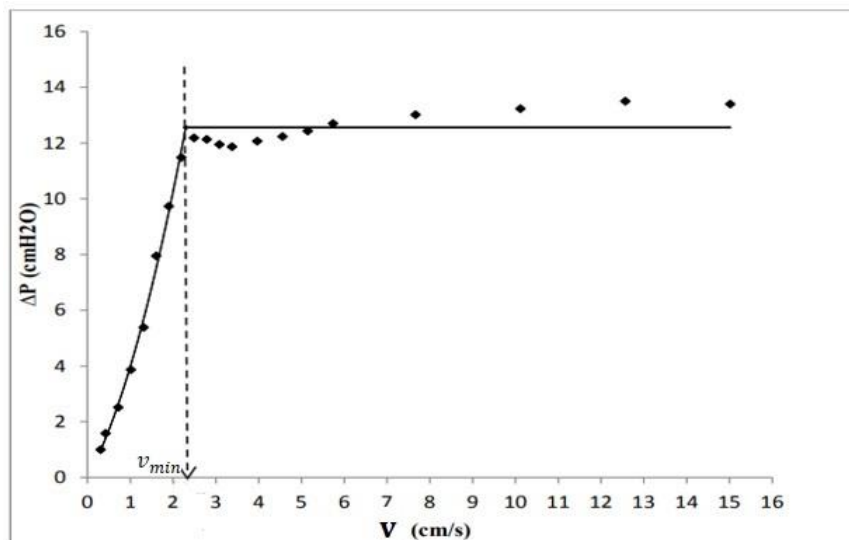
A kísérlet azt mutatja be, hogy a fluidizációs görbe hogyan változik különböző átmérőjű üvegszemcsék esetén. A különbség az előző esethez képest az, hogy nem gázzal működik a fluidizáció, hanem vízzel. A kísérleti kialakítás a 7. ábrán látható.



- (1) - Tartály
- (2) - Szivattyú
- (3) - Szelep
- (4) – Nagy térfogatáram mérésére alkalmas eszköz
- (5) - Kis térfogatáram mérésére alkalmas rotaméter
- (6) – Betáplálás helye
- (7) – Részecskéknek kialakított ágy
- (8) – Oszlop, légszatorna
- (9) – Nyomásmérő manométer
- (10) – Kivezető cső

5. ábra. Kísérleti felállítás

A következő eredmények egy fluidizációs görbe eredményei, amik egy 2 mm átmérőjű szemcsehalmaz felhasználásával történő mérés alapján lettek rögzítve, ami hasonló ahhoz a szemcsemérethez, amit az ebben az esszében történő kísérletnél felhasználó anyagra is jellemző.



6. ábra. Fluidizációs görbe üveg töltettel víz alkalmazásával

Megjegyzendő ennél a kísérletnél, hogy a fluidizációs görbe, ami a pontokkal megegyezik, kis eltérésekkel követi a teoretikus görbét (vonal). Egy nagyobb eltérés fedezhető fel, ami a fluidizáció kezdetekor lép fel. Ez az eltérés a gömb szemcsék geometriájával igazolható be. Míg a gömbtől eltérő geometria a legkisebb függőleges vetületre törekedve irányba áll, a gömbök változatlanul ugyanazt az ellenállást fejtik ki a légáramra.[8]

3. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. Zeolit

A zeolit egy mikropórusos ásványtípus az alumíniumszilikátok csoportjából. Természetes körülmények között vulkanikus hamu és szilikátokban vagy alumíniumban gazdag anyagok reakciójából keletkezik tengervíz vagy tiszta víz jelenlétében, több idő elteltével. Ezek mellett mesterséges úton is előállítható laboratóriumban.

A zeolitok kristályos formájú szervesetlen polimerek komplex szerkezettel. Alumínium, oxigén és szilícium tetrahedrális sorozatából állnak, amelyek tetrahedrális szerkezetek, és egymáshoz csatlakozva véletlenszerű láncot alkotnak. Egy egységben AlO (alumínium-oxigén) és SiO (szilícium-oxigén) található meg, mindezek egymással egy oxigén ion segítségével tudnak kapcsolódni. A szerkezetben minden egyes AlO tetrahedronnak van egy erős negatív töltése, ami ki van egyensúlyozva egy vagy több kationnal, ami lehet például Ca^{2+} , Mg^{2+} vagy K^{+} . Az anyag változatos kémiai formulával fordul elő, amire általános képlet a következő:



Az X helyén több elem állhat, ezek lehetnek Na, Ca, Li, K, Ba, Mg, Sr, valamint az evvel alkotott molekula különböző számú víz molekulát köthet meg, attól függően, hogy éppen milyen fajta zeollal állunk szemben.

A jelen dokumentumban bemutatott méréssorozathoz felhasznált anyaghoz tartozó jelölés: KB 503328 A KB 503328-hoz a krisztallográfiai adatbázis alapján a 01 – 073 – 2340 azonosító kódú kémiai szerkezet a legközelebbi álló. Ennek az anyagnak empirikus képlete $\text{Al}_{12}\text{H}_{54}\text{Na}_{12}\text{O}_{75}\text{Si}_{12}$, kémiai összetétele pedig $\text{Na}_{12}(\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ [9].

A zeolit látványát tekintve egy arra jellemző kristályos formában van jelen, formája szitára hasonlít, mert a sok mikropórus a felületen apró kis nyílásokat hoz létre. Az apró csatornák rendben egymás mellett helyezkednek el. Ezeknek átmérője akkora, hogy az apró molekulák azok mérete és elektromos töltésétől függően át tudjanak haladni rajtuk. Ilyen molekula például a víz. E fajta nedvszívóssága miatt különböző felhasználásai léteznek az iparban.

A zeolitokat főleg katalizátoroknak használják fel, vagy adszorpcióra, azoknál az ipari folyamatoknál, amikor erre szükség van. Katalizátorként a zeolit egy nagyobb felületet biztosít,

amin az egymással kölcsönhatásba lépő anyagok jobban tudnak reakcióba lépni. Abszorbensként szelektíven választanak ki molekulákat a járataikban, amiket magukba tudnak szívni, így gázok folyadékok tisztítására, víztelenítésre, valamint gázok és folyadékok szétválasztására egyaránt használják őket. Ezek mellett a zeolitokat különböző ipari folyamatok során, például szűrés, nehézfém eltávolítás, ioncsere, dezodorok gyártása során alkalmazzák, de még ételek csomagolása és szállításakor is, hogy a nem kívánt nedvességet magába tudják szívni.

Jelen esetben a kísérletek során ez anyag arra lett felhasználva, hogy átnedvesítés, majd egy kívánt nedvességtartalom elérése után kísérlet során lemérhetőek legyenek a szárítási folyamat különböző jellemzői, amelyek a nyomásesés a szárítóban, a levegő sebessége, valamint a nedvességtartalom. A zeolit jellemző adatai a következők [10]:

Átmérő: 1,7 – 2,4 mm

Halmazűrűség: 690 kg/m³

Diffuzivitás: $2 \cdot 10^{-6}$ m²/s

Hővezetési tényező: 0,198 W/mK

Porozitás: 0,6 – 0,69

Anyagsűrűség: 2000-2900 kg/m³



7. ábra. Zeolit kép

3.2. MÉRÉSI MÓDSZER

3.2.1. MÉRÉS FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÓVAL

A mérés célja a nyomásesés értékének a megállapítása volt a szárítótér belsejében, két pont, a levegő befúvás helye és a szárítótér teteje felé eső pont között, annak függvényében, hogy éppen mekkora sebességgel fújja a szemcséket a beérkező levegő.

Elsőnek meg kellett állapítani, hogy töltet nélkül, az üres szárítótérben, mekkora nyomásesés keletkezik. Utána ugyanezt meg kellett ismételni a részecskékkel, azokat a szárítótér belsejében elhelyezve, majd a töltet tetejét lesimítva. Fontos megjegyezni, hogy mindkét mérés során a légsebességet azonos lépésközlőként és azonos tartományban változtattuk, ahhoz, hogy utána a különbség kiszámításakor az ugyanazokhoz az értékekhez tartozó eredményeket egymásból ki lehessen vonni. Ezek után a két görbét egymásból kivonva eredményként kiadódik a szemcsékre vonatkozó nyomásesés a szárítótérben.

A légsebesség mérése érdekében a légbevezető csövön egy mérőperem volt elhelyezve, aminek mindkét oldalán lehet mérni a nyomásesést. A levegő sebességét így kis léptékekben variálva (0,2 m/s-os léptékben) lehetőség nyílik arra, hogy megállapítsuk a nyomáskülönbséget.

Első lépésként kiszámítandó volt a levegő térfogatárama, ehhez szükséges a sebesség ismerete a szárítótérben:

$$v = \frac{\dot{V}}{A_{cső}} = \frac{\dot{V}}{\frac{D^2\pi}{4}} = \frac{4\dot{V}}{D^2\pi} \quad (4)$$

Ahol a térfogatáram a mérőperemen mért nyomáskülönbség ismeretében meghatározható:

$$\dot{V} = \alpha \frac{\varepsilon d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p_{op}}{\rho_G}} \quad (5)$$

Jelen esszé esetén az elvégzett méréseknél a következő megközelítésekkel éltünk, illetve ezek az adatok a döntőek:

A kompressziós tényező:

$$\varepsilon = 1 \quad (6)$$

A mérőperem belső átmérője:

$$d = 0,05 \text{ m} \quad (7)$$

Az átfolyási szám pedig a következő:

$$\alpha = \frac{0.612}{\sqrt{1 - \beta^4}} = 0.63207 \quad (8)$$

ahol $\beta = 0,5$ és a mérőperemen lévő nyílás átmérőjének, valamint a levegőt szállító cső átmérőjének a hányadosát jelenti.

Miután ez megvan, kiszámítható a mérőperem mért nyomáseséséből a légsebesség, amit a következő formula adja meg:

$$\Delta p_{OP} = \frac{\rho_{lev} \left(\frac{v}{\alpha \varepsilon}\right)^2}{2} \quad (9)$$

Így egy átalakítást elvégezve a légsebességet a légcsatornában a következő számítás segítségével lehet megadni:

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p_{OP}}{\rho_{lev}}} \alpha \varepsilon \quad (10)$$

Itt meg kell jegyezni, hogy a levegő sűrűsége változik a hőmérséklet szerint, tehát emiatt a következő módon kell számítást végezni, hogy értékéhez jusson valaki:

$$\rho_{lev} = 1.248 + ((8.832 \cdot 10^{-6} \cdot T^2) - (4.219 \cdot 10^{-3} \cdot T)) \quad (11)$$

ahol a hőmérséklet T-vel van jelölve és értékét °C- kal kell behelyettesíteni.

3.2.2. TÁBLÁZAT A SZÁMÍTÁSOK MENETÉRŐL

A kísérlet során több mennyiséget mértünk, de nem minden egyértelműen a keresett mennyiség volt. Így például a mérőperem segítségével nyomáskülönbséget lehet mérni, de ebből a sebességet akarjuk kiszámítani, ezért ehhez számítások szükségesek. A mennyiségek a következő táblázatban láthatók:

Légsebesség v (m/s)	Hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	Levegő sűrűsége (kg/m^3)	Nyomás és ΔP_{op} (Pa)	$\Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$ (Pa)	$\Delta P_{SZT}^{\text{rész}}$ (Pa)	ΔP_P (Pa)
0	Mérés	Számítás (1)	Mérés	Mérés	Mérés	Számítás $\Delta P_{SZT}^P - \Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$
0,2	Mérés	Számítás (1)	Mérés	Mérés	Mérés	Számítás $\Delta P_{SZT}^P - \Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$
0,4	Mérés	Számítás (1)	Mérés	Mérés	Mérés	Számítás $\Delta P_{SZT}^P - \Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$
0,6	Mérés	Számítás (1)	Mérés	Mérés	Mérés	Számítás $\Delta P_{SZT}^P - \Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$
0,8	Mérés	Számítás (1)	Mérés	Mérés	Mérés	Számítás $\Delta P_{SZT}^P - \Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$
...	Mérés	Számítás (1)	Mérés	Mérés	Mérés	Számítás $\Delta P_{SZT}^P - \Delta P_{SZT}^{\text{üres}}$

3.2.3. MÉRÉSEK A SZÁRÍTÓKAMRÁBAN

A szárítókamra arra használandó, hogy megállapítsák egy anyagalmaz pillanatnyi nedvességtartalmát. Ez azon a módon lehetséges, hogy lemérik a vizsgált anyag tömegét abban a pillanatban, amikor tudni kell annak nedvességtartalmát. Ezt követően totális szárításra kerül az anyagalmaz 105°C-on 24-48 h-ig, mely folyamatnak a végén tömegméréssel megállapítható a szárazanyag tömege. Ezekből az adatokból kiszámítható az eredeti nedvességtartalom.

Egy anyag abszolút nedvességtartalma az abban tartalmazott folyadék és a szárazanyag tömegének hányadosa:

$$X = \frac{m_L}{m_{dP}} = \frac{\text{folyadék tömege az anyagban}}{\text{a kiszáritott anyag tömege}} \quad (13)$$

A kísérletek során több nedvességtartalom elérése szükséges, ahhoz, hogy a szárítási folyamatot el lehessen végezni.

A zeolit kiindulási, légszáraz nedvességtartalma $X_0 \cong 0,05$.

Hogyha egy $X = 0,3$ -as nedvességtartalmat létre kell hozni, akkor először meg kell állapítani, hogy mennyi a szárazanyag tömege. Ehhez le kell mérni az anyagot, és megszorozni 0,095-el, hiszen ennyi száraz anyagot tartalmaz. Ezután hozzá kell adni annyi vizet az anyagalmazhoz, ami a két nedvességtartalom különbségét fedezi. Ez a következőképpen kapható meg:

$$X' = \frac{\text{hozzáadandó víz tömege}}{\text{száraz anyag tömege}} = X - X_0 \quad (14)$$

Ebben az esetben, mikor $X = 0,3$ a célzott nedvességtartalom, $X' = 0,25$ lesz.

Így a kiindulási nedves anyag tömegének ismeretében a szükséges vízmennyiség a következőképpen számítandó:

$$m_L = 0,95m_P(X - X_0) \quad (15)$$

A víz hozzáadása után, miután azt a zeolit magába szívta érdemes utánajárni, hogy megfelelő mennyiségű víz lett hozzáadva az anyaghoz. Ez azért is fontos, hogy a művelet során az azt elvégzők hozzászokjanak, hogy hol mekkora veszteséggel kell számolni, ideértve például az

edény falához tapadt nedvességet. Emiatt érdemes mindig valamivel több vizet adni a szemcsékhez.

3.3. Használt berendezések

3.3.1. A HASZNÁLT MÉRLEG ÉS A VÍZ ANYAGBAN VALÓ ELEGYÍTÉSÉHEZ HASZNÁLATOS GÉP

A nedves anyagalmaz előállításához első lépésben ki kell mérni a rendelkezésre álló digitális mérlegen annyi mennyiségű anyagot, ami elegendő a szárítási kísérlethez. Ez a mérések esetében 8 cm-nyi statikus zeolit ágymagasság volt, ami legalább 900 g-nyi szemcsét jelent.



8. ábra. Digitális mérleg, Sartorius LA1200S

Miután megállapításra került az anyag kiindulási nedvességtartalma, ki lehet számítani, hogy mennyi vizet szükséges az anyaghoz hozzáadni. Mérleg segítségével kimérünk annyi mennyiségű vizet, majd a zeolitot a képen látható hordóban elegyengetve egyenletesen elosztatva annak tetejére öntjük. A képen látható dobkeverőgép periodikusan lép működésbe, ennek segítségével oszlatódik el a víz a szemcsék között, valamint szívódik be a szemcsék belsejébe. A keveredési idő nagyjából 20 perc.



9. ábra. Keverő dob

3.3.2. A FLUIDIZÁCIÓS SZÁRÍTÓ BERENDEZÉS

A szárítótérben létrejövő nyomásesés mérésének érdekében a 12. ábrán látható fluidizációs szárítót használtuk.



10. ábra. Fluidizációs szárító

A már átnedvesített szemcséket a szárítótérbe annak tetején át kell bejuttatni. A hengeres kialakítású szárítótér belső oldalán látható skálázás figyelembevételével a 8 cm-es vonalig kell, hogy érjenek a zeolit szemcsék.

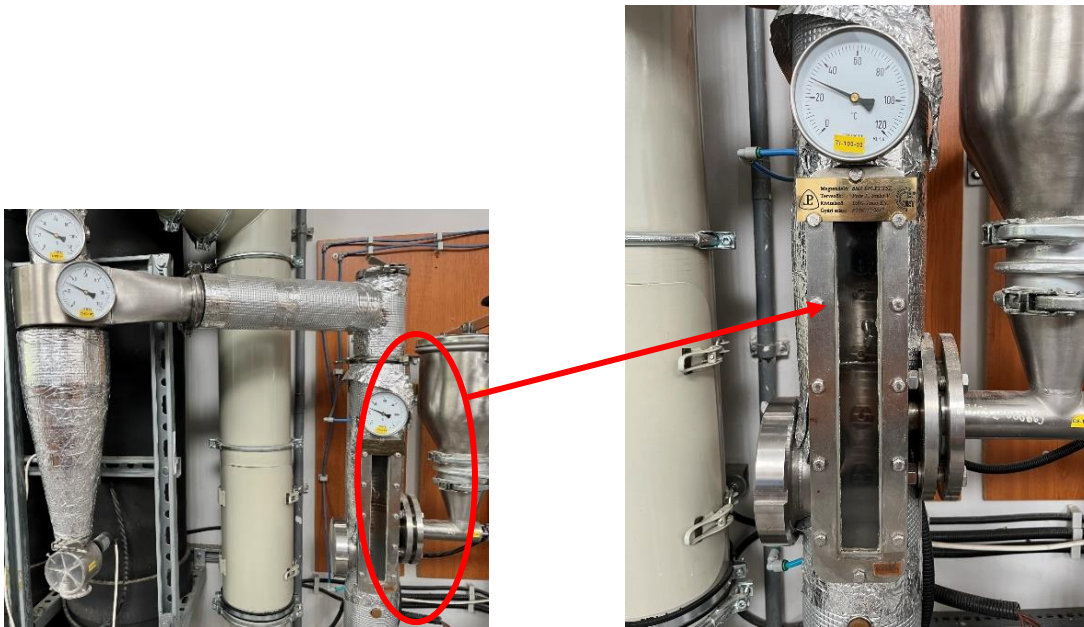
A szárítógáz (jelen esetben levegő) egy csövön keresztül jut a szárítótérbe. A levegőt egy fűvő hozza mozgásba. Ennek a fordulatszámát egy frekvenciaváltón keresztül lehetséges

beállítani, illetve egy szelep nyitásával lehet szabályozni azt, mert a minimum fűvási fokozat a teljes kapacitás 25%-a.



11. ábra. Fúvó

A levegő a szárítókamrát egy hosszú csövön keresztül éri el. A szemcsék vagy részecskék egy perforált lemezre vannak elhelyezve, amin a levegő keresztül tud haladni.



12. ábra. Szárítótér

A részecskék a szárítótérben levegő befűvése mellett szárítandóak, ahol a levegő az áthaladás során az elpárolgott nedvességet elszállítja magával. A nagyobb légsebességek elérésekor, amikor már megkezdődött a pneumatikus szállítás, a szemcsék a bal oldalon látható

tölcsérbe esnek bele, amíg a levegő felfelé távozik egy kivezető csőrendszeren keresztül. Amint befejeződött a részecskék kihordása, azok visszanyerhetők a tölcser alján elhelyezett cellás adagoló működtetésével. Hogyha nem egészen száradtak meg, nedvességtartalmuk lemérhető, illetve teljesen megszáráthatóak a szárítókemencében.

3.3.3. ADATRÖGZÍTÉSRE HASZNÁLT ESZKÖZÖK

A mérés három különböző szenzor működtetésével történik. Ezek közül kettő nyomáskülönbséget mér. Az egyik a szárítólevegőt a fúvótól továbbító csőben elhelyezett mérőperemen létrejövő nyomáskülönbséget, míg a másik a szárítótér két pontja között létrejövő nyomáskülönbséget továbbítja az adatgyűjtő egységnek. Ezen kívül egy ponton, a szárítókamrába való belépés előtt egy hőmérő van elhelyezve, ez szintén az adatgyűjtő egységbe van bekötve. Ugyanez az egység egy számítógéphez van csatlakoztatva, amin egy program (Interconnect Apollo) segítségével minden adatot rögzíthetünk egy táblázatban.



13. ábra. Adatgyűjtő egység és számítógép

3.3.4. SZÁRÍTÓKAMRA ÉS MÉRLEG

Hogy megállapítható legyen a nedvességtartalom, először a nedves anyagot kell a mérlegre helyezni. Ez tárázás után történik, aminek során rögzíteni kell a mérlegre tett edény tömegét is. Ezután a nedves anyagot minimum 24 órára a szárítókamrába kell tenni.



14. ábra. Szárítókemence

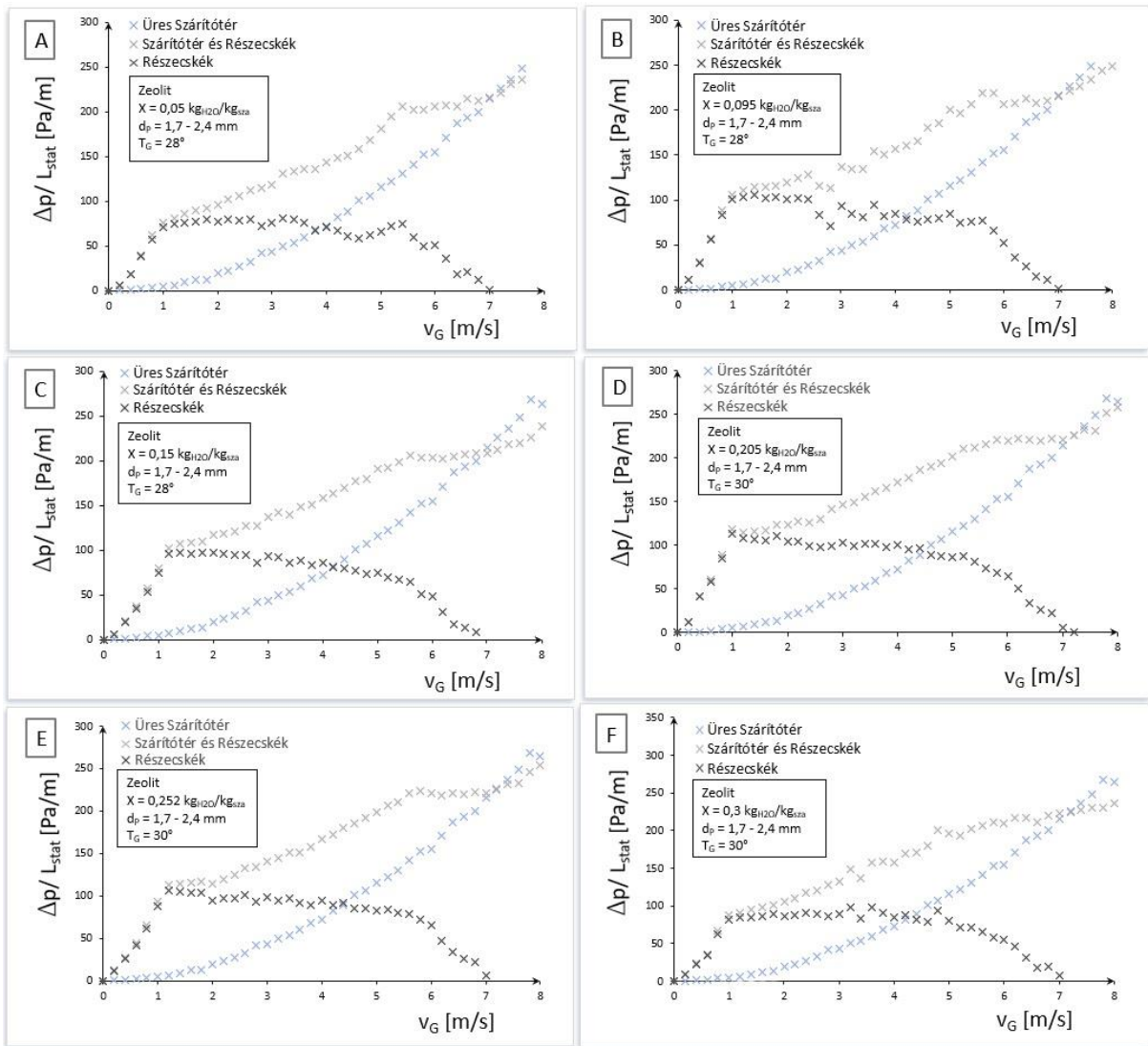
Miután megfelelő hőmérsékleten, ami legalább $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, az anyag a szárítókamrában volt, az kivehető. Ezután megint a mérlegre helyezzük. A száraz anyagalmaz tömegéből le kell vonni az edény tömegét, ezután a két mért érték különbségéből következtetni lehet arra, hogy mekkora tömegű nedvesség volt a kiindulási anyagban, amiből pedig számítható az abszolút nedvességtartalom.

4. EREDMÉNYEK

A kísérletsorozat 6 darab mérés elvégzését jelentette, mindegyik 80 mm-es statikus ágymagasság mellett történt. A mérések előkészítése magába foglalta a részecskék kimérését, azok átnedvesítését, majd a szárítótérbe töltésüket. Mivel a laboratóriumi levegő nedvességtartalma mellett a zeolit szemcsék kiinduló nedvességtartalma $X = 0,05$ kg/kg volt, az első kísérlet ezen légszáraz nedvességű szemcsékkel zajlott le. Ezután $\sim 0,05$ kg/kg -mal növelve a nedvességtartalmat, rendre $X = 0,095$; $X = 0,15$; $X = 0,2$; $X = 0,25$; $X = 0,3$ nedvességtartalom mellett zajlott le a kísérlet.

4.1. Mérési eredmények

Az itt következő eredmények a pontos mérési eredményekből kiszámított pontokat tartalmaznak. Mivel a mérés során nem pontosan ugyanazokhoz a légsebesség értékekhez adódnak ki nyomásesés értékek az üres szárítótér, valamint a töltettel ellátott szárítótér mérési eredményekben, ezért számítások elvégzésével (számítási közép, lineáris interpoláció) lehetett ezeket a görbéket egy diagramon ábrázolni, mivel a különbségükre is szükségünk volt. Néhány esetben az eredmények között voltak értékek, amik pontosan az elvárt légsebességhez tartoztak, ezeket megtartottuk.



15. ábra. Mérési eredmények A: 0,05 kg/kg; B: 0,095 kg/kg; C: 0,15 kg/kg; D: 0,205 kg/kg; E: 0,252 kg/kg; F: 0,3 kg/kg nedvességtartalomnál

4.1.1. KIÉRTÉKELÉS

A fent látható (17.ábra.) diagramok három pontsorozatot tartalmaznak, a kék ezek közül a nyomásesés az üres száritókamrában. A szürke pontsor a szemcsék és a száritótér együttes nyomásesését jelenti. A kettő különbségét véve adódik ki a tölteten létrejövő nyomásesés, ami a fekete pontsor a grafikonokon. A két adatsorból azonos értékeket kiválasztva lehetett létrehozni a különbséget, amihez az esetek nagy részében lineáris interpolációval volt lehetséges kiszámítani a kérdéses értékeket. Ennek érdekében a légsebesség értékeket 0,2 m/s

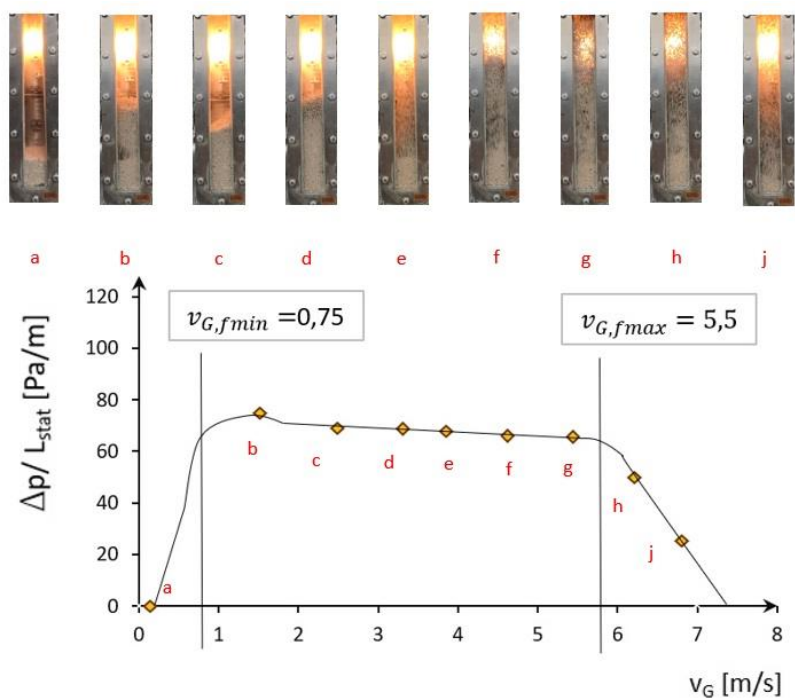
lépésközzel felosztva az egész skálán egységes sebességértékekhez tartozó nyomásesés értékekhez jutottunk.

Észrevehető ingadozások fedezhetőek fel a mérési eredmények között, ami annak köszönhető, hogy rendezetlen mozgásban vannak a részecskék a folyamat során, valamint az üres szárítótérnél is szerepet játszik a folyamat lezajlása közben jelen lévő véletlenszerűség. A lineáris interpolációnál törekedtünk arra, hogy valamennyire ezeket korrigáljuk. Ez olyan módon lehetséges, hogy azokat a közrefogó számpárokat választják ki, amikből egységesen növekvő tendenciát lehet létrehozni.

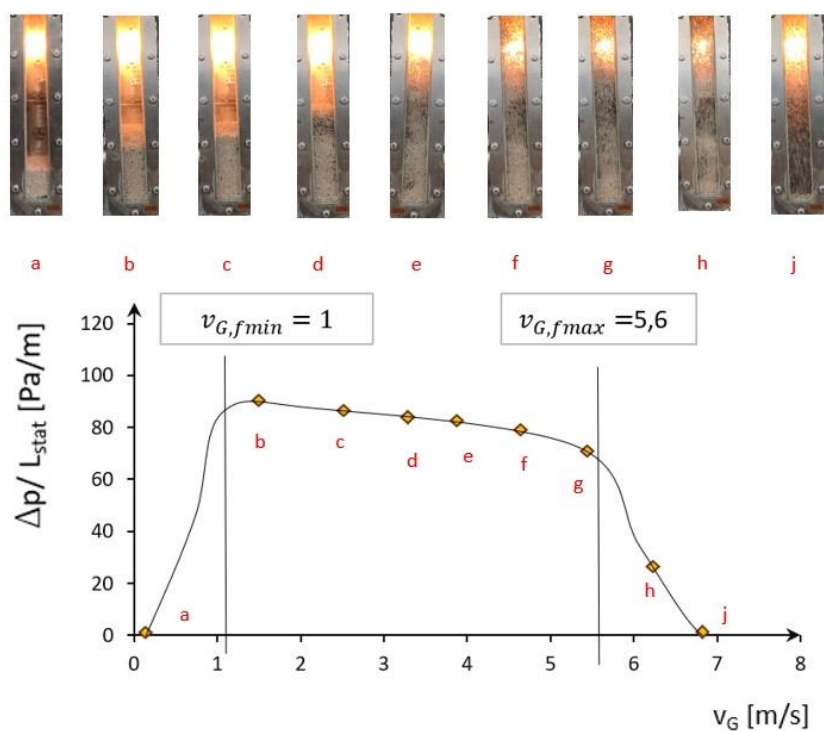
A kísérlet nem végig egységes hőmérsékleten zajlik, és azok a szemcsék, amiket többet ér a légáramlat, gyorsabb ütemben száradnak meg, ezen kívül a kisebb méretű szemcsék szintén hamarabb száradnak ki. Ez indokolja a görbe elvárttól eltérő alakját. Észrevehető emiatt egy lejtő tendencia, amikor is az elméletben állandó nyomásesésű fluidizációs szakaszon egyre csökkenő nyomásesés figyelhető meg.

4.2. Fluidizációs diagramok

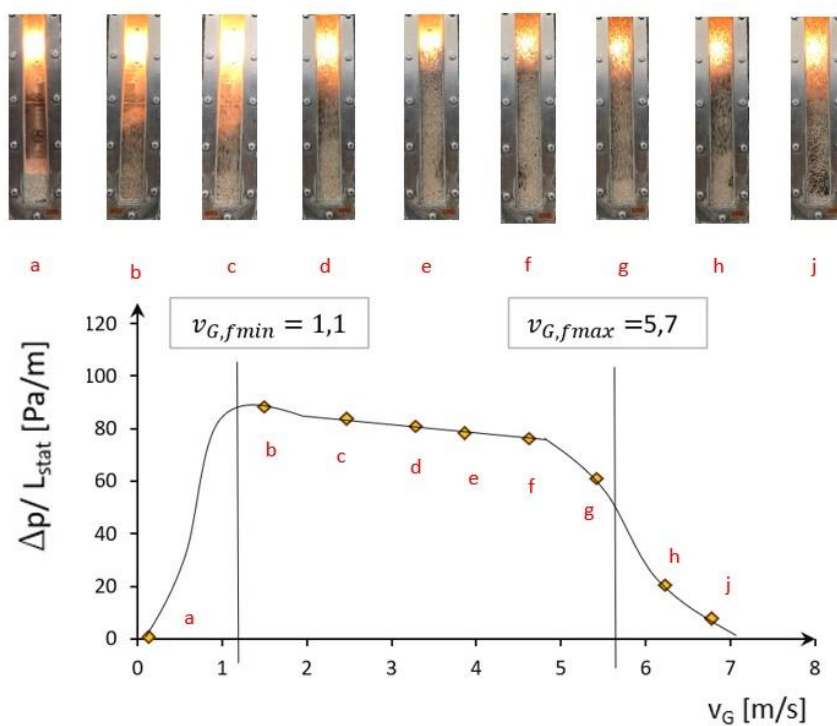
Az egyes mérések során a minimális fluidizációs sebességet és a maximális fluidizációs sebességet szemrevételezés módjával rögzítettük. A folyamat során kilenc különböző időpillanatban készültek fényképek, különböző légsebességek esetén. Eredményül így ezekhez a görbékhez jutottunk.



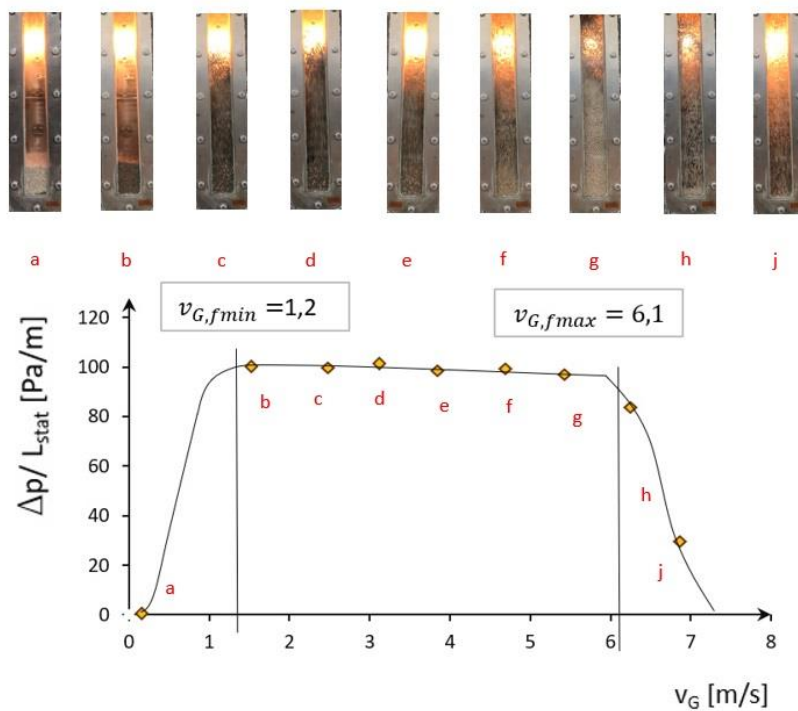
16. ábra. Nyomáskülönbség görbe minimális és maximális fluidizációs sebességgel 0,05 kg/kg zeolit nedvességtartalomnál



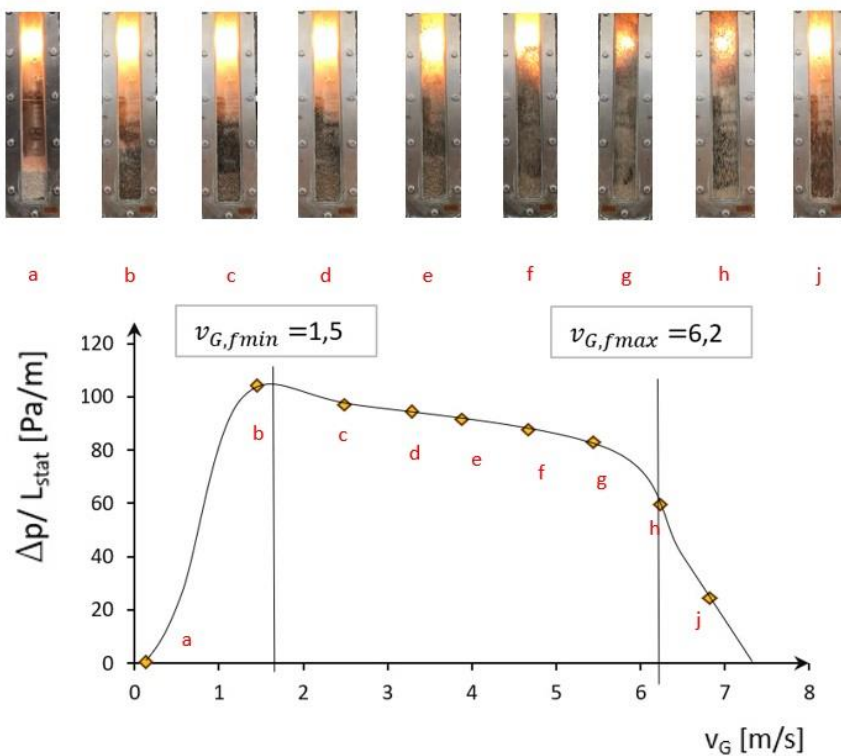
17. ábra. Nyomáskülönbség görbe minimum és maximum fluidizációs sebességgel 0,095 kg/kg zeolit nedvességtartalomnál



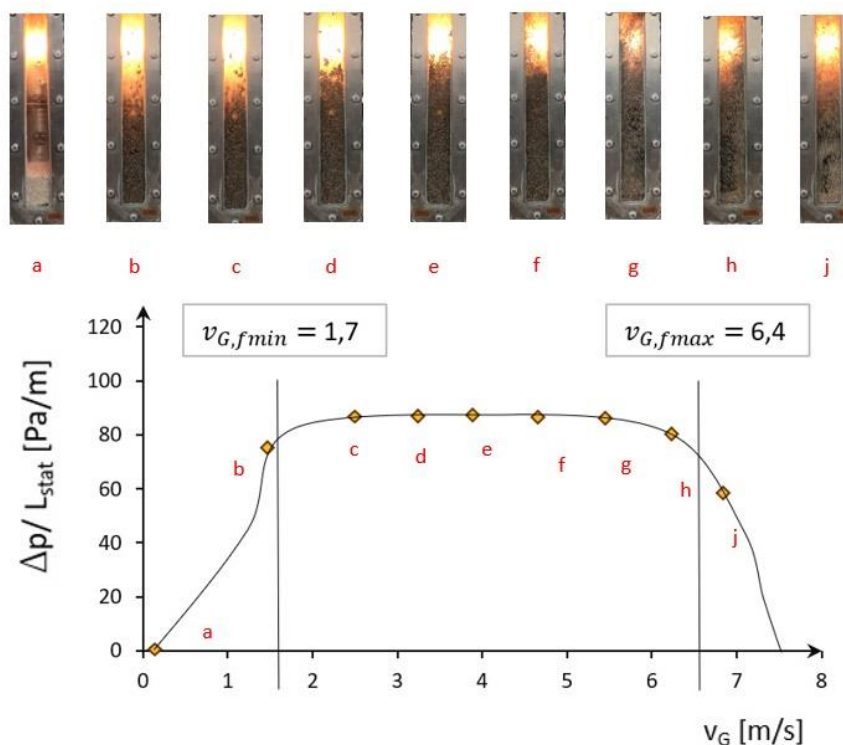
18. ábra. Nyomáskülönbség görbe minimális és maximális fluidizációs sebességgel 0,15 kg/kg nedvességtartalomnál



19. ábra. Nyomáskülönbség görbe minimum és maximum fluidizációs sebességgel 0,205 kg/kg nedvességtartalomnál



20. ábra. Nyomáskülönbség görbe minimum és maximum fluidizációs sebességgel 0,252 kg/kg nedvességtartalomnál



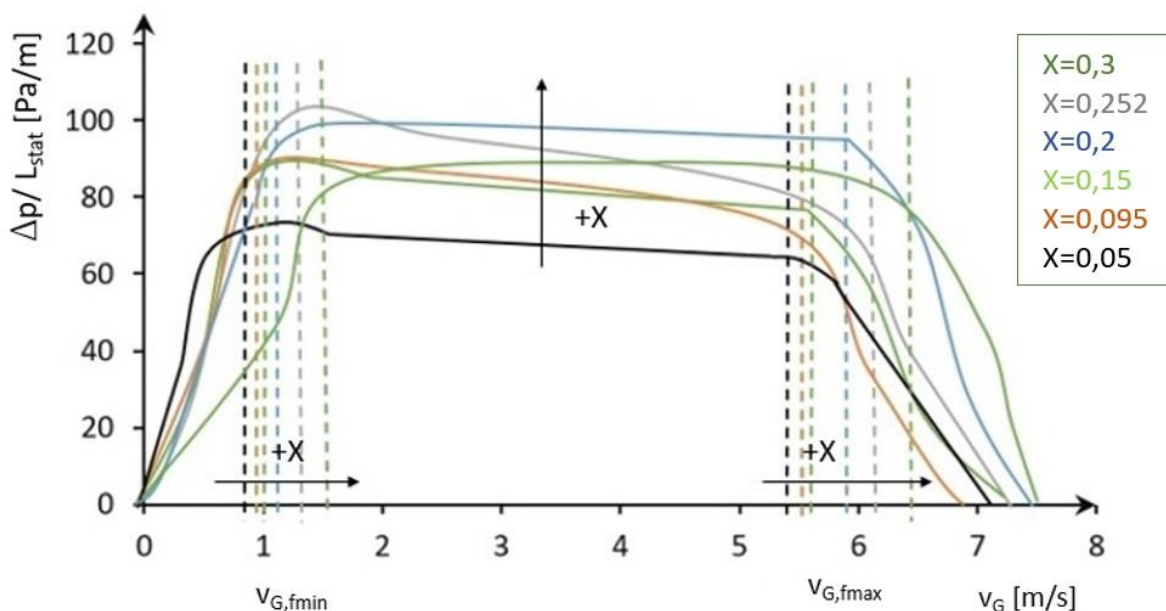
21. ábra. Nyomáskülönbség görbe minimum és maximum fluidizációs sebességgel 0,3 kg/kg nedvességtartalomnál

4.2.1. KIÉRTÉKELÉS

Ezek a fluidizációs diagramok azokat a görbéket reprezentálják, amik az üres szárítótér és a töltettel ellátott szárítótér különbségeként jelennek meg, azaz a töltet által létrehozott nyomásesést. Minden egyes mérés során fényképek készültek a szárítókamrában elhelyezkedő szemcsék elrendeződéséről, amiken megfigyelhető a kezdeti nyugalmi állapot, a fluid szemcsemozgás az állandó nyomásesésű szakaszon, valamint a szemcsék pneumatikus szállításánál létrejövő kiürítési szakasz, ami a szárítótér ablakán át figyelemmel kísérhető. A különböző tartományok határát a szemcsék mozgásának kezdete, valamint a cellás adagolóban megjelenő első kihordott szemcsék megjelenése különíti el egymástól, ezen pillanatokban került rögzítésre a minimális fluidizációs sebesség ($v_{G,fmin}$), illetve a maximális fluidizációs sebesség ($v_{G,fmax}$).

Az elméleti háttér alapján a nagyobb nedvességtartalom értékek esetén a minimális fluidizációs sebesség növekszik, és ezzel együtt a maximális fluidizációs sebesség is. Az elvárások ellenére azonban, miszerint a fluidizáció kezdetekor egy maximumhely lenne az elvárt a nyomásesés értékben, mivel a levegő akkor emeli meg a szemcséket, és ez plusz gyorsulással jön létre, a kísérletek során nem ez volt a helyzet. Ennek oka az volt, hogy a szemcsék közel gömb alakúak voltak. Továbbiakban a nagyobb nedvességtartalmú szemcsékkel végzett kísérleteknél erre az lehet a magyarázat, hogy a nedves szemcsék eleinte a falhoz tapadnak, és csak a folyamat előrehaladtával válnak le onnan, és vesznek részt a fluidizációban.

4.3. Fluidizációs diagram különböző anyag nedvességtartalomnál



22. ábra. Összehasonlító diagram minden nedvességtartalommal

Ez a görbe szemlélteti a fluidizációs diagramokat minden egyes nedvességtartalomhoz tartozó mérési sorozatra. A görbesorozaton jól megfigyelhető, hogy a minimális és maximális fluidizációhoz egyre nagyobb sebességértékek tartoznak a növekvő nedvességtartalommal, valamint láthatóak a fluidizáció kezdetekor a nyomásesés maximumának helyei. Látható az is, hogy az $X = 0,3$ nedvességtartalmú görbe nem igazodik a többihez, és a szemcsék falra tapadása miatt ugyanaz a típusú maximumhely itt nem figyelhető meg.

Észrevehető, hogy a legtöbb esetben az állandó nyomásesésű fluidizáció szakaszán a görbén valamekkora nyomáscsökkenés figyelhető meg, ami a görbe enyhe lejtését okozza. Ezt avval

indokoljuk, hogy változékony volt a szemcseméret a töltetben, amit használtunk, így a nedvesség távozásával a kisebb szemcsék belsejében a nedvességtartalom gyorsabban lecsökkent a sebesség növekedésével. Az átmérő 1,7 és 2,4 mm közötti. Az a feltevésünk, hogy egy szélosztályozón való szétválogatást követően, aminek során egységes szemcseméretre lehet jutni, vízszinteshez közelebbi görbe adódna ki a kérdéses szakaszon.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fluidizációs technológia nagyobb érintkezési felületet biztosít a száradó szemcséknek, mint az álló ágyas szárítás. Látható, hogy a fluidizációs szárításnak mennyi fázisa van, és hogy milyen kapcsolatban vannak a szárítótérben létrejövő áramlási képek a légsebességgel. A fluidizációs diagramra kettő ábra is be volt mutatva, az eredményekből látható volt, hogy a nyomásesés követi a második diagram alakját, noha kis ingadozásokkal, eltérésekkel, a kísérletsorozat összhangban van az elméleti háttéranyaggal. A jelenség során több áramlási fajta is létrejöhet, ezek a buborékos, turbulens vagy normál fluidizációs állapotok. Ezt az befolyásolja, hogy mekkora sebességű levegővel történik a szárítás, valamint az, hogy milyen anyagot rakunk a szárítótér belsejébe, mekkora annak nedvességtartalma.

A folyamathoz $1,7 - 2,4 \text{ mm}$ eloszlású zeolit szemcsék kerültek felhasználásra. A kezdeti szakaszon megfigyelhető az exponenciális növekvő jelleg. Az eltérésekre magyarázat adható. A fluidizáció kezdetekor a lokális maximum hiányára a gömbi geometria adhat okot, míg az állandó nyomásesés, fluidizáció szakaszán az enyhe lejtés háttérében az eltérő átmérőjű részecskék állnak. A kihordáskor a részecskék száma fokozatosan csökkent, így ebben a szakaszban ezért tart lefelé a diagram. A hatodik mérés eltérő alakját az okozhatta, hogy a nedves szemcsék a szárítótér falára tapadtak, így azok nem vettek részt a folyamatban. Az összehasonlításakor kapott görbék, noha néhol keresztezik egymást, látható, hogy a nagyobb nedvességtartalmakhoz a fluidizáció sebességtartományában mindig nagyobb nyomásesés tartozik, valamint az is, hogy a fluidizáció minimális és maximális sebessége mindig jobbra tolódik a nedvességtartalom növelésével.

6. FORRÁSOK

- [1] Clément Talbotec. „Laboratory Internship Report Fluidised Bed Drying”, 2023. június-szeptember
- [2] „Chapter 12 - Professional Reference Shelf (umich.edu)”, é. n.
<http://websites.umich.edu/~elements/fogler&gurmen/html/12chap/html/12prof2a.htm>.
- [3] Szabó, Viktor. „Fluidizációs szárítás hő- és anyagátadási folyamatainak modellezése”, 2019.
- [4] „A Definitive Guide to Fluid Bed Granulation Process (Updated) (saintytec.com)”, é. n.
<https://www.saintytec.com/fluid-bed-granulation-process/>.
- [5] Faraj, Fadhil, Jamal Ali, és Sarmad Najim. „Heat Transfer Coefficients in Air-Solid Fluidized Bed Using Vertical Heating Element”. *Engineering and Technology Journal* 41, sz. 9 (2023. szeptember 1.): 1–12. <https://doi.org/10.30684/etj.2023.140024.1451>.
- [6] Arezki Bounaceur. „Interaction lit fluidisé de particules solides-rayonnement solaire concentré pour la mise au point d’un procédé de chauffage de gaz à plus de 1000 K”, 2009. augusztus 12. <https://pastel.hal.science/tel-00409692/document>.
- [7] Valerie TANNER. „Etude d’un contacteur a lit fluidise en CO2 sous pression Application a l’enrobage par le procede RESS”, 2006. 09.
<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/49/053/49053107.pdf>.
- [8] Mouhoubi Seloua és Khaled Ghoulane. „Réalisation, mise au point et étude des caractéristiques hydrodynamiques d’un réacteur à lit fluidisé liquide-solide de section rectangulaire – Université de Béjaïa – MOUHOUBI Seloua KHALED Ghoulane”, 2013. 025. <https://theses-algerie.com/2831508486543676/memoire-de-master/universite-abderrahmane-mira---bejaia/r%C3%A9alisation-mise-au-point-et-%C3%A9tude-des-caract%C3%A9ristiques-hydrodynamiques-d-un-r%C3%A9acteur-%C3%A0-lit-fluidis%C3%A9-liquide-solide-de-section-rectangulaire>.
- [9] László Krisztina. „Légszárító deszikkánsok vizsgálata 1. Deszikkánsok vizsgálata használat előtt: szorpció tulajdonságok jellemzése kémiai és mechanikai tesztek 2. Meghibásodott szárítókból származó minták vizsgálata.”, 2023. 031.
- [10] Dr. Poós, Tibor. „Kutatási jelentés a Knorr-Bremse Hungária Kft. és a BME Gépészmérnöki Kar Szárítás Kutatócsoport között »Porozitás mérő kialakítása légszárítók

vizsgálatához és deszikkáns halmaz kopásmennyiségének mérése« címmel végzett projekt alapján”, 2013. Budapest.