



FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XIX.

Kolozsvár, 2014. március 20–21.

GERJESZTETT SILÓK KIFOLYÁSÁNAK MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

MODELING OPPORTUNITIES OF VIBRATIONAL HOPPERS

SAFRANYIK Ferenc⁽¹⁾, OLDAL István⁽²⁾, CSIZMADIA Béla⁽³⁾

(1)Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék,
2100, Gödöllő, Páter Károly út 1, Telefon: 00362852200-1426,
safranyik.ferenc@hallgato.szie.hu

(2)Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék,
2100, Gödöllő, Páter Károly út 1, Telefon: 00362852200-1426,
oldal.istvan@gek.szie.hu

(3)Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék,
2100, Gödöllő, Páter Károly út 1, Telefon: 00362852200-1423,
csizmadia.bela@gek.szie.hu

Abstract

The aim of this paper to examine our previous discrete element (DEM) discharge model, with which the whole domain of half angle of conical bins can be described, is suitable for determine the discharge rate of silos in case of vibrational discharge or not. Experimental measurements and also simulations were made with the same vibrational parameters (frequency and amplitude). Based on the simulation results, owing to the unacceptable high difference, our previous discharge model is unsuitable to describe the vibrational discharge (for all that the discharge rate is constant during the discharge process as in case of measurements).

Keywords: silo, vibrational discharge, DEM, granular materials

Összefoglalás

Munkánk célja, annak vizsgálata, hogy az általunk korábban kidolgozott diszkrét elemes (DEM) modell – amely a gravitációs ürítésű silók kifolyási jellemzőit, a teljes félkúpszög tartományban megfelelő pontossággal leírja – alkalmazható-e gerjesztett silók tömegáramának meghatározására is. Ehhez laboratóriumi körülmények között végeztünk vibrációs ürítési vizsgálatokat, majd ugyanazt a gerjesztést alkalmaztuk a diszkrét elemes modellen is. Az eredményeket összehasonlítva arra következtetésre jutottunk, hogy diszkrét elemes modell a gerjesztett kifolyás jelenségét minőségileg sem közelíti megfelelően a valóságot, és a kifolyási tömegáram értékeket sem tudjuk megfelelő pontossággal meghatározni, a szimulációs eredmények túlzottan nagy hibája miatt.

Kulcsszavak: siló, vibrációs ürítés, DEM, szemcsés anyagok.

1. Bevezetés, célkitűzés

Mezőgazdasági silók üzemeltetése során az egyik leggyakrabban jelentkező probléma az anyagáram elakadása, boltozódása a kifolyónyílás felett. Ilyen esetekben gravitációs úton a siló kiürítése nem lehetséges, ezért valamilyen kifolyást segítő berendezés alkalmazása szükséges. Az ilyen berendezések leggyakrabban *vibrációs elven* működnek és képesek a boltozódás megakadályozására. A gerjesztés kifolyási folyamatra gyakorolt hatása (pl.: hogyan változik a kifolyási tömegáram a rezgésparaméterek függvényében) azonban

megfelelő pontossággal nem jelezhető előre, a gerjesztett silók kifolyási tömegáramának meghatározására alkalmas modell még nem létezik. *Gravitációs üritésű* silók kifolyási tömegáramának meghatározására Oldal analitikus modellje [3] (csak tölcéses áramlás esetén), illetve az általunk korábban kidolgozott, kifolyási módtól függetlenül pontos diszkrét elemes modell [4] alkalmazható.

A diszkrét elemes módszer elméletileg kidolgozott eljárás, amellyel szemcsés halmazok viselkedését írhatjuk le [1], azonban gyakorlati alkalmazásával kapcsolatos kutatások jelenleg is folynak. A fő problémát a halmaz viszonylag nagyszámú „anyagállandóinak” (a diszkrét elemes modell paramétereinek) meghatározása jelenti.

Munkánk célja olyan modell kidolgozása, amellyel gerjesztett silók kifolyási tömegárama kellő pontossággal meghatározható. Ennek első lépését mutatjuk be munkánkban.

2. A gerjesztés hatása a kifolyási folyamatra

A gyakorlatban használt kifolyást segítő berendezések tervezése, kiválasztása főként tapasztalati úton történik, ezért a silók vibrációs üritésének kérdésköre számos kutatót foglalkoztat. Wassgren et al. [5] a siló tengelyére merőleges irányú rezgések, Hunt et al. [2] a siló tengelyével párhuzamos irányú rezgések kifolyási tömegáramra gyakorolt hatását vizsgálták.

Hunt et al. [2] és Wassgren et al. [5] feltételezései és kísérletei alapján a gerjesztett silók esetében, azok kifolyási tömegárama a rezgés frekvenciájától (ω), amplitúdójától (A), irányától (\bar{n}) és a kifolyási módtól is függ:

$$W = f(\omega, A, \bar{n}, \text{kifolyási mód}). \quad (1)$$

Wassgren et al. [5] kísérletileg bizonyították, hogy a siló szimmetriatengelyére merőleges irányú rezgések hatására a kifolyási tömegáram növelhető megfelelő frekvenciájú gerjesztéssel.

Az eredményeket dimenzió nélküli viszonyszámok segítségével értelmezték: a gerjesztett esetben mért tömegáramot (W) a gravitációs kifolyás során mért tömegáramhoz (W_0) hasonlították, és a fajlagos kifolyási tömegárammal (Ψ) jellemezték:

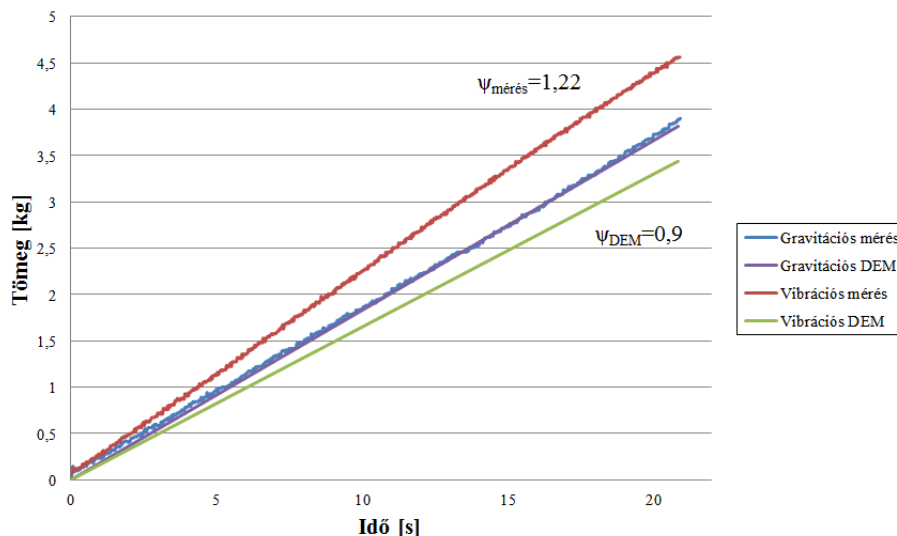
$$\Psi = \frac{W}{W_0}. \quad (2)$$

3. Kísérleti vizsgálataink, szimulációs eredmények.

A jelenség vizsgálatához laboratóriumi kifolyási vizsgálatokat végeztünk 105 mm belső átmérőjű, 500 mm magasságú hengeres, 60°-os félkúpszögű, kúpos garattal ellátott modellsilóval. A garatra szerelt elektromos vibrátor segítségével a siló tengelyére merőleges irányú rezgéssel gerjesztettük a silót miközben mértük a kifolyt búza tömegét és a silógarat gyorsulását. Gravitációs üritéssel is végeztünk méréseket. A kifolyási idő-tömegváltozás függvényt minden esetben mértük (1. ábra). A vibrációs kifolyási vizsgálatokat 120 Hz-es frekvenciájú 0,1 mm amplitúdójú rezgéssel végeztük. A szakirodalomban leírtakhoz hasonlóan kísérleteink is azt mutatják, hogy a siló tengelyére merőleges irányú rezgéssel növelhető a kifolyási tömegáram: ennek fajlagos értéke méréseinknél $\Psi_{mérés}=1,22$.

A méréssel megegyező geometriai és rezgésjellemzők mellett diszkrét elemes szimulációkat végeztünk. Itt a szemcsés halmazt az eddig alkalmazott és a gravitációs üritésnél már bevált, általunk korábban kidolgozott paraméterekkel modelleztük. Ennek eredményeként a kifolyási diagramok gerjesztés esetén is lineárisak (1. ábra, zöld színű adatsor), azonban a diszkrét elemes modell szerint gerjesztés hatására csökken a kifolyási

tömegáram, tehát ez a modell gerjesztés esetén minőségileg sem közelíti megfelelően a valóságot.



1. ábra. Mért és szimulált kifolyási diagramok

A diszkrét elemes kifolyási modell gerjesztés esetén mutatott hibája nagy valószínűséggel a szemcsék kölcsönhatását leíró Hertz-Mindlin-féle kapcsolati modellben [1] keresendő. Ebben a modellben a szemcsék ütközésekor, a csillapító hatást kifejező, ütközési tényezőnek nevezett paraméter hatása nem minden esetben úgy érvényesül, mint a mechanikában megismert ütközési tényezőnek. Ennek bizonyítására paraméter érzékenységi vizsgálatot végeztünk.

4. Következtetések

Vibrációs ürités esetén a szemcsék egymáshoz viszonyított sebessége nagyobb, mint gravitációs üritésnél. Ezért megvizsgáltuk, hogy a Hertz-Mindlin-féle kapcsolati modellben a szemcsék között ébredő erő, csillapításból származó komponense, állandó csillapítási tényező esetén, hogyan változik a szemcsék sebességének függvényében. A szemcsék közt ébredő erő, csillapításból származó komponense a Hertz-Mindlin-féle kapcsolati modell szerint [1]:

$$F_n^d = -2\sqrt{\frac{5}{6}}\beta\sqrt{s_n m^*} v_n^{rel}, \quad (3)$$

ahol:

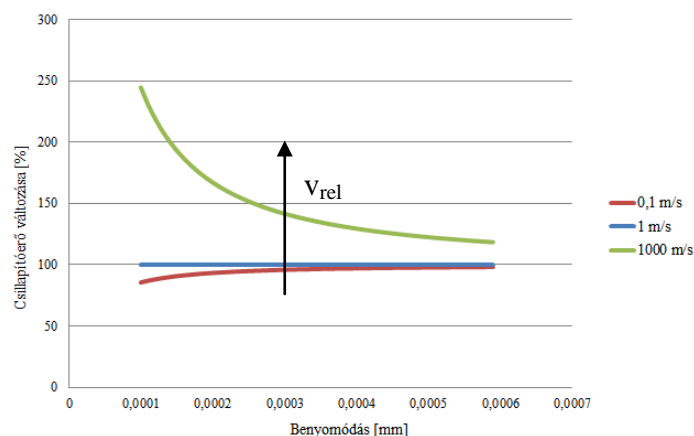
- m^* : a szemcsék redukált tömege.

- v_n^{rel} : a normál irányú relatív sebessége.

- β , a csillapítási tényező, $\beta = \frac{\ln e}{\sqrt{\ln^2 e + \pi^2}}$, az e pedig az ütközési tényezőnek nevezett paraméter.

- $s_n = 2Y^* \sqrt{R^* \delta_n}$, Y^* a szemcsék redukált rugalmassági modulusa, δ_n a szemcsék normál irányú összenyomódása, R^* redukált szemcsesugár.

A csillapító erőt, a szemcsék benyomódásának függvényében, 0,1 m/s, 1 m/s és 1000 m/s-os relatív sebesség és ugyanakkora értékű csillapítási tényező esetén vizsgáltuk. A 2. ábrán jól látható, hogy a csillapító erő, a szemcsék sebességének növekedésével növekszik, és nem független a szemcsék egymáshoz viszonyított sebességétől. Kis sebességnél hatása elhanyagolható.



2. ábra: Csillapítóerő a szemcsék benyomódása függvényében

5. Összefoglalás

Kísérleti vizsgálatainkkal bizonyítottuk, hogy a szakirodalomban leírtakkal összhangban a siló tengelyére merőleges irányú rezgésekkel növelhető a kifolyási tömegáram.

Bebizonyosodott, hogy a korábban létrehozott diszkrét elemes kifolyási modell, amely áramlási módtól függetlenül alkalmas szemcsés anyagok kifolyási tömegáramának elfogadható pontosságú meghatározására gravitációs üritésű silók esetén, a siló tengelyére merőleges irányú periodikus gerjesztés esetén minőségileg sem megfelelő, és a kifolyási tömegáram meghatározására is alkalmatlan. Paraméter érzékenység vizsgálattal bizonyítottuk, hogy a hiba a Hertz-Mindlin-féle kapcsolati modellben keresendő: a szemcsék ütközésekor fellépő csillapító hatás, azok sebességének növekedésével egyre jelentősebb. Tehát a modellben, ütközési tényezőnek nevezett paraméter nem a mechanikából ismert ütközési tényező.

Gerjesztés hatására megnő a szemcsék sebessége, emiatt a gravitációs esethez képest jelentősebb mértékű a szemcsék közt ható csillapítás, ezért csökken a szimulációknál a kifolyási tömegáram gerjesztés esetén. A probléma megoldása érdekében olyan kapcsolati modellt szeretnénk kifejleszteni, amelyben az ütközési tényező mechanikai hatása a valósághoz hasonlóan érvényesül.

Köszönetnyilvánítás

Munkánk a Dr. Oldal István által elnyert, Magyar Tudományos Akadémia, Bolyai János ösztöndíja finanszírozásával készült.

Irodalom

- [1] Bagi K.: *A quasi-static numerical model for micro-level analysis of granular assemblies*, Mechanics of material 16 (1-2), 1993, pp. 101-110.
- [2] Hunt M.L., Weathers R.C., Lee A.T., Brennen C.E., Wassgren C.R.: *Effects of horizontal vibration on hopper flows on granular materials*, Physics of Fluids, Vol. 11, Num. 1, 1999, pp. 68-75.
- [3] Oldal I; Keppler I; Csizmadia B; Fenyvesi L.: *Outflow properties of silos: The effect of arching*, The Society of Powder Technology Japan. Published by Elsevier B. V. and The Society of Powder Technology Japan, 2011, pp. 293-298.
- [4] Safranyik F., Oldal I.: *3D DEM model of silo discharge*, University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Institute of Agricultural Engineering, Scientific Journal, AGRICULTURAL ENGINEERING XXXVIII, No. 2, 2013, ISSN 0554-5587, pp. 23-34.
- [5] Wassgren C.R., Hunt M.L., Freese P.J., Palamara J., Brennen C.E.: *Effects of vertical vibration on hopper flows of granular materials*, Physics of Fluids, Vol. 14, Num 10, 2002, pp.3440-3448.