

A SILÓÜRÍTÉS GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ DISZKRÉT ELEMES MODELLJE

Szerző(k) neve: Safranyik Ferenc, Dr. Oldal István

Abstract

Granular materials have great significance in almost every field of the industry. The transportation and handling of agricultural products, comestibles, compounds, chemicals and minerals have special needs that have to be taken into account as well as the design of the connected apparatuses. The solution of the upcoming problems regarding the discharge of silos (stop of mass flow, design of the connecting apparatuses, etc.) can result serious cost decrease during the design or re-design of a new type. The aim of my research is to model the discharge process of a silo by discrete element model. Additional aim is to validate the simulation results by experiments. I would like to establish a modelling method that allows the accurate determination of the outflow properties of granulates such as outflow type, or mass flow.

Key words:

Silo, silo discharge, discrete element modeling, DEM.

Összefoglalás

A szemcsés anyagoknak szinte minden iparágban nagy jelentőségük van. A mezőgazdasági termékek, élelmiszerek, műanyagok, vegyszerek, ásványi anyagok szállítása, kezelése, a kapcsolódó berendezések tervezése során különleges figyelmet kell fordítani speciális tulajdonságaikra. A silók ürítésekor jelentkező problémák (pl.: anyagáram elakadása, a kapcsolódó berendezések tervezése, stb.) megoldása komoly költségeket jelent egy-egy új típus fejlesztésekor, átalakításakor. Céлом egy olyan numerikus modell kidolgozása, amellyel a szemcsés anyag kifolyási jellemzői (kifolyási mód, tömegáram) elfogadható pontossággal meghatározhatók, illetve a modell helyességének igazolása mérési eredményekkel.

Kulcsszavak:

Siló, silóürítés, diszkrét elemek módszere, DEM.

1 Bevezetés, célkitűzés

A függőleges tárolók használhatóságának két alapvető feltétele van. Az egyik, hogy a betöltött anyag kiüríthető legyen a tárolóból, a másik alapvető feltétele a kifolyási tömegáram ismerete, amely a silóhoz kapcsolódó berendezések tervezése, kiválasztása szempontjából fontos.

A szakirodalomban számos kifolyási modellt találunk, azonban ezek többsége csupán tapasztalati megoldást ad a kifolyási tömegáram meghatározásához. Oldal analitikus kifolyási modellje [4] tölcéséres kifolyás esetén tisztán elméleti, térfogati kifolyás esetén pedig empirikus megoldást ad. Céлом egy olyan numerikus kifolyási modell megalkotása, amellyel mind tölcéséres, mind térfogati áramlás esetén elméleti úton, elfogadható pontossággal meghatározható a kifolyási tömegáram. Továbbá a kidolgozott modell helyességének igazolása tölcéséres kifolyás esetén, az analitikus modell felhasználásával.

2 Silók ürítése

Oldal munkájában [4] rávilágított, hogy a kifolyónyílás keresztmetszetén a kifolyási sebesség nem egyenletes eloszlású. Tölcséres kifolyás esetén a kifolyónyílásnál az anyaghalmoz sebességét a boltozat felületétől szabadeséssel megtett útból számította. Majd a sebességeloszlásnak a kifolyónyílás felületén vett integrálásával számította ki a kifolyási térfogatáramot, ebből határozta meg a kifolyási tömegáramot:

$$W = \frac{\pi\sqrt{2g}}{6} \cdot \sqrt{\delta} \cdot \rho_h \cdot (d - d_p)^{\frac{5}{2}}. \quad (1)$$

A modell érvényességi határai:

$$7d_p < d < 0,6D. \quad (2)$$

Az összefüggésben d_p a szemcsék átlagos átmérője, ρ_h a halmazsűrűség, $\delta = h/d$ pedig a boltozat alakfénytényezője (magasságának és szélességének aránya) [4]. A modell a kifolyást nagy pontossággal írja le, helyessége mérésekkel igazolt, tehát alkalmas a numerikus modell és paramétereinek helyességének igazolására is.

3 A kifolyás diszkrét elemes modellezése

A vizsgálat során búza fémsilóból történő kifolyását modelleztem diszkrét elemes módszerrel. Minden szimulációt az *EDEM Academic 2.1* (2008) diszkrét elemes modellező szoftverrel végeztem.

3.1 Szemcsemodell és kapcsolati modell

A búzaszemek geometria modelljét és a diszkrét elemes modellhez szükséges mikromechanikai jellemzőket a Szent István Egyetem, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszékén működő, szemcsés anyagokkal foglalkozó kutatócsoport határozta meg [2]. A vizsgálatok során merev, gömbökből álló összetett elemeket alkalmaztam. A búzaszemek geometriai modellje három gömbből álló összetett elem. A szemcse középpontjában lévő gömb 3 mm , a két szélső gömb pedig $2,5\text{ mm}$ sugarú. A szélső gömbök középvonalának távolsága a szemcse szimmetriatengelyétől $2 - 2\text{ mm}$.

A szimulációk során a szemcsék, illetve a szemcsék és a falak közti kapcsolatok leírására a Hertz-Mindlin-féle „no slip” kapcsolati modellt használtam [5].

1. táblázat: A búzaszemek és a siló anyagának mikromechanika jellemzői [2]

Mikromechanikai jellemző	Búza	Acél
ν [-]	0,4	0,3
G [Pa]	$3,58 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^{10}$
ρ [kg/m^3]	1460	7500
C_r [-]	Búzára v.: 0,5	-
	Acélra v.: 0,6	Búzára v.: 0,5
μ_0 [-]	Búzára v.: 0,3	-
	Acélra v.: 0,25	Búzára v.: 0,25
μ_r [m]	Búzára v.: 0,01	-
	Acélra v.: 0,01	Búzára v.: 0,01

3.2 Geometriai modell

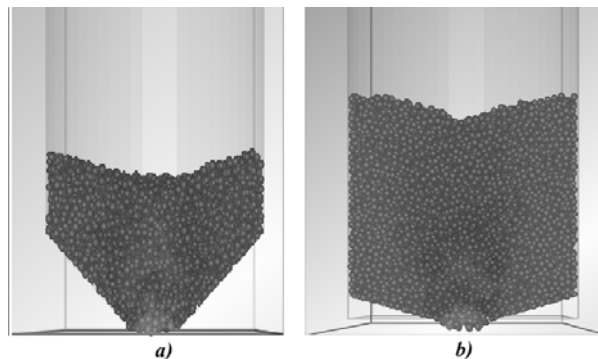
A silótest hengeres kialakítású $h = 0,7 \text{ m}$ magasságú és $D = 200 \text{ mm}$ átmérőjű. A szimulációkat két különböző félkúpszögű garattal végeztem el: $\theta_1 = 30^\circ$; $\theta_2 = 60^\circ$. Mindkét garat esetén a kifolyónyílás átmérője $d = 60 \text{ mm}$.

3.3 A szimuláció paraméterei

A szimuláció első lépése a siló feltöltése. Ekkor a szoftver létrehozza az anyaghalmazt egy előre kiválasztott térfogatban. A diszkrét elemek (a búzaszemek) pozícióját, a kiválasztott térfogaton belül véletlenszerűen generálja a szoftver [1]. A számításgépi igény csökkentése érdekében nem a teljes silót töltöttem fel búzával, csupán a silótest háromnegyedét. Miután a szoftver létrehozta a halmazt, a szemcsék a gravitáció hatására lehullanak a zárt silóba, így feltöltik azt. A kifolyónyílás egészen addig a pillanatig zárt, amíg a halmaz nyugalomba kerül (a teljes rendszer mozgási energiája elhanyagolhatóan kicsiny nem lesz). Ezután az összes anyag kiürül a silóból.

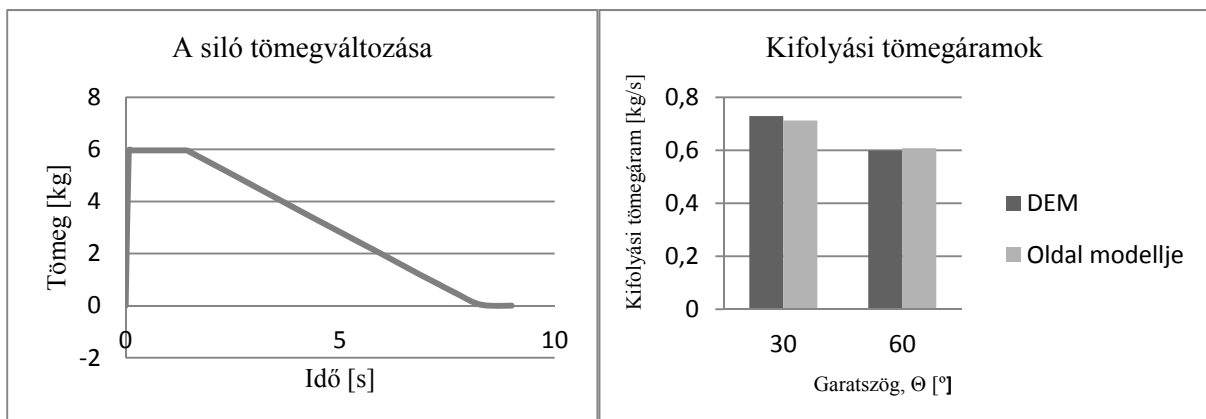
4 Eredmények

Az ürítés során 30° és 60° -os garatszög esetén is a vártakozásnak megfelelő tölcséres kifolyás alakul ki (1. ábra).



1. ábra: a) Tölcséres kifolyás $\Phi=30^\circ$; b) Tölcséres kifolyás $\Phi=60^\circ$

A diszkrét elemes szimuláció eredményei alapján meghatároztam a siló tömegváltozását. A silóban tárolt anyag tömege lineárisan csökken az idő függvényében (2/a ábra).



2. ábra: a) A siló tömegváltozása; b) Kifolyási tömegáram értékek

Ez azt jelenti, hogy a silóban lévő anyagoszlop magasságának csökkenése ellenére állandó mennyiségű anyag folyik ki időegység alatt a silóból, azaz a kifolyási tömegáram független az anyagoszlop magasságától és az egyenes meredekségével egyenlő. A szimulációval meghatározott átlagos kifolyási tömegáram értékek csupán 2%-os eltérést mutatnak (2/b ábra) az Oldal modelljével [4] számítottakhoz képest. A numerikus modell tehát alkalmas a kifolyási tömegáram meghatározására is. A modell érvényességi határainak meghatározása viszont további vizsgálatokat igényel.

5 Összefoglalás

Tölcséres áramlási mód esetén a numerikus modellel kapott kifolyási mód egyezik a szakirodalomban publikált eredményekkel. A tömegáramra az analitikus modellel egyező eredményt kaptam és a szimuláció még az ürítési folyamat utolsó szakaszában, ürülő garat esetén is jól leírja az ürítési folyamatot, amire a teljesen töltött garatra érvényes analitikus modell nem képes.

A fentiek azt jelentik, hogy a diszkrét elemes modell tölcseres áramlás esetén alkalmas búza fémsilóból történő kifolyásának elfogadható pontosságú modellezésére. A továbbiakban méréseket kell végezni annak meghatározása érdekében, hogy a térfogati kifolyási mód leírására is alkalmas-e a numerikus modell.

6 Irodalomjegyzék

1. C. González-Montenallo, Á. Ramírez, E. Gallego, F. Ayuga: Validation and experimental calibration of 3D discrete element models for the simulation of the discharge flow in silos, BIPREE Research Group, Universal Politécnica de Madrid, Spain, 2011, 114-118 oldal
2. Keppler I; Kocsis L; Oldal I; Farkas I; Csátár A.: *Grain velocity distribution in a mixed flow dryer*, The Society of Powder Technology Japan. Published by Elsevier B. V. and The Society of Powder Technology Japan, 2011, 824-827 oldal
3. Masson, S; Martinez, J.: *Effect of particle mechanical properties on silo flow and stresses from distinct element simulations*, Powder Technology 109, 2000.
4. 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, 293-298 oldal
5. Raji, A. O; Favier, J. F.: *Model for deformation in agricultural and food particular materials under bulk compressive loading using discrete element method, Theory, model development and validation*, Journal of Agricultural Engineering Research, 2004 361-369 oldal

Safranyik Ferenc, MSc II. évf. hallgató

Szent István Egyetem, Mechanikai és Géptani Intézet, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék
Magyarország, 2100; Gödöllő, Páter Károly u. 1.

Telefon: 0036-30616-8462

E-mail: safranyik.ferenc@hallgato.szie.hu