FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2001. március 23-24.

SILÓBÓL TÖRTÉNŐ ÜRÍTÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

Dr. Csizmadia Béla, Oldal István

Summary

In agricultural and food industry we have to store granules materials (for example grain crops, animal nutrients, silage, fertilizers, etc.) many times when it is needed for technology. Silos are wide spread solutions for this reason. Features of granules materials storing in silos are similar to fluids. The general purpose of this paper is to analyze the attributes of granules materials during emptying from silos.

A mezőgazdaságban létesített, ömlesztett takarmányok tárolására alkalmas berendezések egyik problémája a kiömlés tömegáramának meghatározása. Ezért átfolyásmérőkkel, elektronikus mérlegekkel, adagolószerkezetekkel szerelik föl a tárolókat. Ezek tervezéséhez az anyagáramlás pontosabb ismeretére van szükség. Ezeket a pontosabb ismereteket rendszerint csak előzetes, általában költséges kísérletekkel tudják behatárolni. Másik lehetőség, tapasztalati formulák alkalmazása, amelyek általában csak bizonyos körülmények között érvényesek, amit a felhasználó nem ismer vagy nem tud biztosítani. Ezért fontos a magok, takarmányok és egyéb ömlesztett mezőgazdasági anyagok kiömlésének alaposabb ismerete. Jelenlegi célunk olyan modellkísérletek elvégzése, amelyekből kapott eredményeket a valóságos silókra is átvihetjük. Az irodalomban szokásos szemesanyag fajták (búza, kukorica, stb.) helyett a halmazok fizikai, mechanikai jellemzőit vesszük figyelembe, ezek alapján fogalmazzuk meg a modelltörvényeket.

Modelltörvények megfogalmazása

Modelltörvényeket akkor kell létrehozni, ha modelleken végzett mérések eredményeit - mint esetünkben - más, valóságos szerkezetekre kívánjuk átvinni. A modelltörvények felírásának két alapvető módja szokásos: az egyenletanalízis és a dimenzióanalízis. Egyenletanalízist akkor is alkalmazhatunk, ha a jelenség leírását csak közelítően ismerjük. Ilyen eset lehet a tartályból való kiömlés kérdése is, ha valóságos, szemcsés anyag helyett a közelítő Q tömegáramot ideális folyadékokra határozzuk meg. Ez a Bernoulli-törvény segítségével egyszerűen elvégezhető:

$$\frac{p_A}{\rho_A} + \frac{v_A^2}{2} = \frac{p_B}{\rho_B} + \frac{v_B^2}{2} = \text{állandó} \quad (1)$$

Legyen a kiválasztott két pont a silótartály kiömlőnyílásánál lévő pont a nyitás előtt és a nyitás után (1. ábra.) Ha figyelembe vesszük, hogy:

- ideális folyadék esetén a sűrűség nem változik, azaz $\rho_A = \rho_B = \rho$,
- nincs belső súrlódás,
- nincs külső súrlódás,

akkor $p_A = (H + H_2) \rho g$. Az (1)-ből a Q tömegáram, amelyet $Q = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot v_B \cdot \rho$ összefüggéssel definiálhatunk, részletezés nélkül:

$$Q = \frac{\pi \sqrt{g}}{2\sqrt{2}} \sqrt{H + \frac{D-d}{2 \tan \alpha}} \rho \cdot d^2$$

Rendezés után, bevezetve az $x_1 = d/D$; $x_2 = D/H$; $x_4 = \tan \alpha$ dimenzió nélküli jellemzőket:

$$Q = \frac{\pi \sqrt{g}}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{x_2} + \frac{1-x_1}{2x_4}} \sqrt{D} \rho \cdot d^2.$$

A jelenséget, azaz a Q tömegáramot leíró egyenletet is alakítsuk dimenzió nélküli formára:

$$\frac{Q}{\sqrt{g} \sqrt{D} \rho \cdot d^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{x_2} + \frac{1-x_1}{2x_4}} \quad (2)$$

és vezessük be a

$$\kappa = \frac{Q}{\sqrt{g} \sqrt{D} \rho \cdot d^2} \quad (3)$$

dimenzió nélküli fajlagos relatív tömegáramot. A hasonlósági tételek kimondják, hogy ha a jelenséget leíró egyenletek dimenzió nélküli alakban megegyeznek, akkor a jelenségek hasonlóak.

A valóságos silóból történő ürítés tömegárama akkor modellezhető, ha a κ a modellre és a szerkezetre megegyező [1].

Vizsgáljuk meg mitől függ a κ relatív fajlagos tömegáram. A dimenzió nélküli egyenlet jobb oldala szerint - ideális folyadék esetén - az x_i faktoroktól. Belső súrlódással rendelkező szemcsés halmaz esetén pedig feltehetően még függ:

- a kifolyáskor fellépő fajlagos sűrűségváltozástól,
- a halmaz belső súrlódási szögétől (φ),
- a halmaz és a silófal közötti külső súrlódási tényezőtől (μ_f).

$$\kappa = \kappa\left(\frac{d}{D}; \frac{D}{H}; \operatorname{tg} \alpha; \frac{\Delta \rho}{\rho}; \operatorname{tg} \varphi; \mu_f\right)$$

Kísérleteink során a K értékének változásánál először a sűrűségváltozás és a falsúrlódás okozta hatástól eltekintettünk, de úgy készítettük el a modellsilót, hogy a továbbiakban ezen tényezők hatása is figyelembe vehető legyen.

A kísérleti berendezés és mérési eredmények

A kísérletek elvégzéséhez az 1. ábrán látható mérő és kiértékelő berendezéssel

felszerelt silómodellt használtuk [2]. A $D=440$ mm átmérőjű átlátszó műanyag hengert erőmérő cella közbeiktatásával függesztettük fel, amelyhez az alsó végén egy cserélhető kúpos toldat csatlakozik. Három kúpot készítettünk 50 mm és 100 mm átmérőjű kifolyónyílással. A kúpokra jellemző félkúpszög $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$. A kúpokon egy billenő záró szerkezetet helyeztünk el, amelyet egy behúzó mágnes segítségével gombnyomással oldottunk. A szemcsés anyag egy mérlegen nyugvó edénybe folyt ki.

1 ábra

Silómodell

A számítógépes adatgyűjtő rendszer az idő függvényében mérte az erőket. A mintavételezési frekvencia 50 Hz volt. A mérőberendezés kialakítása lehetővé tette a kifolyás térbeli megfigyelését is. Valamennyi - az alábbiakban meghatározott - kísérleti beállításnál háromszoros ismétléssel az alábbi jellemzőket mértük: a kifolyónyílás nyitásának időpontjától kezdve az idő függvényében:

- a kifolyó anyagáram tömegének változását a silóban és az edényben,
- a keletkező járulékos erőknek a változását.

Ezeket következő faktorok függvényében vizsgáltuk: $x_1=d/D$; $x_2=D/H$; $x_3=\operatorname{tg} \varphi$; $x_4=\operatorname{tg} \alpha$. Az egyes faktorok hatásának meghatározását a Box-Wilson-féle kísérleti terv alapján végeztük el teljes faktoriális kísérlettel. Ehhez az egyes faktorok megvalósítható szélső

értékeihez tartozóan két kísérleti beállítás tartozik [3]. Az x_1 ; x_2 ; x_3 két határértéke az előző adatokból számítható volt, a $\text{tg}\varphi=0,5873-0,6459$ határértékeket vehetett fel. Ez esetünkben négy faktorra $2^4=16$ kísérleti beállítást jelent.

A kísérleti beállítások, és a mérési eredmények átlagértékei, valamint szórásai (a + jel az adott faktor maximális értéke, a - jel annak minimális értéke).

$x_1(d/D)$	+								-							
$x_2(H/D)$	+				-				+				-			
$x_3(\text{tg}\varphi)$	+		-		+		-		+		-		+		-	
$x_4(\text{tg}\alpha)$	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Sorsz.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q	3,219	3,495	1,908	2,15	3,258	3,467	2,02	2,12	0,474	0,563	0,289	0,343	0,466	0,559	0,289	0,341
$S_Q^2 \cdot 10^5$	119	0,536	4,131	0,284	11,57	37,77	7,043	6,311	1,005	0,006	0,095	0,063	3,429	0,107	0,025	0,013
κ	0,22	0,238	0,174	0,196	0,222	0,236	0,184	0,193	0,129	0,154	0,105	0,125	0,127	0,153	0,105	0,124
$S_\kappa^2 \cdot 10^6$	81,15	0,366	3,761	0,258	7,889	25,76	6,412	5,746	2,743	0,017	0,344	0,228	9,353	0,291	0,093	0,047

A mérési eredményekből faktorokban lineáris függvény legkisebb négyzetek módszerével történő illesztésével határoztunk meg egy közelítő függvényt. Az egész kísérlethez tartozó szórásnégyzet kiszámítása után a Student-próba felhasználásával a közelítő függvény hibahatárát - $\Delta\kappa$ - és ebből az együtthatók hibahatárát számoltuk ki. Az együtthatók hibahatára alapján a függvényt egyszerűsítettük a nullától szignifikánsan nem különböző együtthatók elhagyásával. A közelítő függvény helyességét Fisher-próba segítségével ellenőriztük. Végül közbülső helyen is ellenőriztük az eredményt (pl. 45° -nál). A közelítő függvény:

$$\kappa = 2,506 \frac{d}{D} \text{tg}\varphi - 0,841 \frac{d}{D} + 0,153 \text{tg}\varphi - 0,016 \text{tg}\alpha - 0,027,$$

amelyből Q a (3) szerint számítható a $0,11<d/D<0,22$; $0,54<D/H<1,1$; $0,58<\text{tg}\alpha<1,7$; $0,58<\text{tg}\varphi<0,64$ határok között.

Irodalom

[1] Szűcs Ervin: Hasonlóság és modell, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.

[2] Szüle - Csizmadia - Soós - Petróczki: Szemcsés anyagok kifolyási és boltozódási tulajdonságai, MTA-AMB XXV. Tanácskozás Gödöllő, 2001.

[3] Csizmadia Béla, Koppányi Imre: Mérés és modellezés Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.

Dr. Csizmadia Béla, egyetemi tanár
Oldal István, V. évfolyamos hallgató
 Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék
 2103. Gödöllő Páter Károly u. 1.