

MISKOLCI EGYETEM



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

# **PNEUMATIKUS ELZÁRÓ-SZERKEZETTEL ÜRÍTETT ÖMLESZTETT ANYAG TÁROLÓ SILÓK ADAGOLÁSI MODELLJE**

Ph.D. értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE:

**Telek Péter**

okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA  
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMATERÜLET  
ANYAGMOZGATÓ GÉPEK TERVEZÉSE TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:

**Dr. Tisza Miklós**

egyetemi tanár, DSc

TÉMACSOPORT VEZETŐ:

**Dr. Lévai Imre**

Professor Emeritus

TÉMAVEZETŐ:

**Dr. Szaladnya Sándor**

Professor Emeritus

Miskolc, 2012.

## **Bíráló bizottság**

### *Elnök:*

Dr. habil Szabó Szilárd, CSc

tszv. egy. tanár, ME

### *Titkár:*

Dr. Kamondi László, PhD

tszv. egy. docens, ME

### *Tagok:*

Dr. Váradi Sándor, PhD

egy. docens, BMGE

Dr. Kröell-Dulay Imre, CSc

ny. egy. docens, ME

Dr. habil Kulcsár Béla, CSc

tszv. egy. tanár, BMGE

### *Hivatalos bírálók:*

Dr. M. Csizmadia Béla, CSc

egy. tanár, SZIE

Dr. Tolvaj Béla, PhD

egy. docens, ME

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az ipari folyamatok technikai hatékonyságának növeléséhez a meglévő berendezések, eszközök kapacitásainak maximális kihasználására van szükség. Ehhez felül kell vizsgálni a berendezések működését, és olyan módszereket kell alkalmazni azok méretezésére, amelyeket eddig bonyolultságuk miatt nem használtak. Jó példa erre a számítógépes szimulációk, véges elemes módszerek, és más korszerű megoldások terjedése.

Az ömlesztett anyagok adagolási folyamatára is elmondható ugyanez, ahol a pneumatikus elzáró-szerkezettel történő silóürítés méretezése hagyományosan tapasztalati, közelítő összefüggések alapján történik. Az így elérhető adagolási pontosság azonban nem megfelelő azokban a technológiai folyamatokban, ahol a minőséget alapvetően meghatározza az egyes anyagok aránya (pl. üvegyártás). Az adagolási pontosság növeléséhez új, a folyamatot jobban közelítő méretezési eljárásra van szükség, ami csak az adagolási folyamatra felírt általános modell alapján készíthető el.

## 2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITÚZÉSEI

Doktori kutatásaim célja az adagolási folyamat általános leírására alkalmas modell kidolgozása volt pneumatikus elzáró-szerkezettel üritett ömlesztett-anyag tároló silók esetén.

A modell alkalmazásával lehetővé válik:

- a kiömlő anyagmennyiség megfelelő pontosságú meghatározása az adagolási folyamat paramétereinek függvényében,
- az adagolási folyamat időszükségletének csökkentése,
- a követelményekhez jobban illeszkedő elzáró-szerkezetek tervezése, stb.

A gyakorlatban az ömlesztett anyagok adagolása egy külön adagoló-szerkezet közbeiktatásával történik, ezért a kapcsolódó szakirodalom nem foglalkozik az elzáró-szerkezet ilyen irányú méretezésével. Pneumatikusan működtetett elzáró-szerkezetekre vonatkozóan pedig egyáltalán nem ismert ilyen szakirodalom.

Kutatási célom eléréséhez a következő feladatokat kellett megoldanom:

1. Az adagolási folyamat definiálása és a modellben alkalmazható, pneumatikusan működtethető elzáró-szerkezetek kiválasztása
2. Az adagolási folyamatot befolyásoló ömlesztett anyagjellemzők vizsgálata, a szükséges paraméterek meghatározása
3. Pneumatikus munkahengerek működését leíró általános modell kidolgozása
4. Az adagolási folyamatot leíró általános modell kidolgozása
5. A modellek vizsgálatára alkalmas számítógépes programok elkészítése
6. Mérési folyamatok összeállítása és a modellek eredményeinek ellenőrzése

### **3. IRODALMI ELŐZMÉNYEK**

Ömlesztett anyagok adagolása alatt azt a folyamatot értjük, amikor egy szállító vagy tárolóeszközből, folytonos anyagáram, illetve nagyobb ömlesztett mennyiség formájában rendelkezésre álló anyagból, egy előírt recept, vagy más igény szerint kimért mennyiséget egy adott technológiai folyamatba, vagy egy másik szállítóeszközbe juttatunk.

A kutatás témájához igazodva, az értekezésben csak a tároló silók ürítésére alkalmazott, pneumatikus működtetésű, mechanikus elzáró-szerkezettel történő adagolással foglalkoztam, amely közvetlen, vagy mérleg-vezérelt, szakaszos adagolás esetén használható.

Mivel ez a téma eddig sem a hazai, sem a nemzetközi szakirodalomban nem kapott megfelelő publicitást, ezért kutatásom első feladata a témához kapcsolódó szakterületek irodalmában történő elmélyülés és a szűkebb témához szükséges szintézisének megteremtése volt.

Az elzáró-szerkezettel végzett adagolási ciklust három, egymástól határozottan elkülönülő fázisra bonthatjuk, amelyek a nyitás, nyitott állapotban történő anyagkiáramlás és a zárás. Az adagolási folyamat legfontosabb paramétere az adagolt mennyiség, amely a három fázis alatt kiömlő anyagmennyiség összegeként adódik. Nyitott állapotban állandónak tekinthető az anyagkiáramlás (ha az anyagok viselkedésének és a siló kialakításának speciális eseteitől eltekintünk), a nyitás és a zárás alatt kiáramló mennyiség a kiömlési keresztmetszettől függ, amit a munkahenger, az ömlesztett anyag és az elzáró-szerkezet geometriája együtt határoz meg.

A kiömlési keresztmetszet figyelembevételének egyik (gyakorlatban alkalmazott) módszere az állandó kiömlési keresztmetszet és kiömlési sebesség figyelembevételével történő közelítés [22.]. Hátránya ennek az eljárásnak, hogy adagolt mennyiség meghatározására csak durva becslést ad.

Egy másik módszer az adagolási folyamat komplex leírása, amelyhez át kell tekinteni az egyes elemek közötti kapcsolatokat és befolyásoló tényezőket, külön-külön meg kell határozni az ömlesztett-anyagokra, a pneumatikus munkahengerekre és az egyes elzáró-szerkezet kialakításokra vonatkozó összefüggéseket.

#### **3.1. Elzáró szerkezetek**

Közvetlen és mérleg-vezérelt adagolásnál, külső anyagmozgató vagy adagoló berendezés alkalmazása nélkül, kizárólag az elzáró-szerkezet mozgatásával, a gravitációs erő kihasználásával történik az anyagok ürítése.

Az elzáró-szerkezetek lehetséges megoldásai [23.] közül csak a szabad kiömlést [24.] biztosító változatokkal foglalkoztam. Szabad kiömlés akkor valósul meg, ha az áramló anyagban csak vertikális sebesség-komponens ébred és horizontális irányú sebesség nem lép

fel. Egyéb esetekben a szerkezet, az irányváltoztatás és a falsúrlódás révén módosítja az áramlást. A szabad kiömlési feltételhez igazodva vizsgálataimnál csak a tolózárakat, valamint a szegmens-zárakat elemeztem részletesen.

Tolózárak [23.] esetén a kiömlés nyitása, illetve zárása egy síklap lineáris, alternáló mozgásával történik és a tényleges kifolyási keresztmetszet a mozgás minden fázisában merőleges a zárólap síkjára. A kiömlési jellemzők (elmozdulás, felület, erők) általában egyszerű módon számíthatók a működtetési mód meghatározó paraméterének (pneumatikus mozgathatóságnál a munkahenger elmozdulása) függvényében.

Szegmens-zárak [23.] esetén a kiömlés nyitása, illetve zárása egy, vagy két íves kialakítású záró-szegmens, adott csuklópont körüli alternáló mozgásával történik. A kiömlést meghatározó paraméterek felírásához szükséges a mozgatómechanizmus pontos ismerete és a működtetési mód jellemző paraméterével való kapcsolatának definiálása.

Tároló silók elzáró-szerkezeteit a szakirodalomban a geometriai méretekre, szerkezeti terhelésre és működtető erőszükségletre vonatkozóan méretezik. Az adagolási folyamat szempontjából a működtető erőszükséglet a legfontosabb paraméter, amelyre vonatkozóan a magyar szakirodalomban Andrási és Polonszky [23.] a ferde tolózárakra és a szegmenszárakra, Prezenszki [25.] a vízszintes tolózárakra és a szegmenszárakra, Knoll [1.] csak a függőleges tolózárakra ad meg összefüggéseket. Mindhárom szerző hasonló megközelítést alkalmaz és csak a maximális működtető erő meghatározására szorítkozik. Az összefüggések mechanikus működtetésű szerkezetekre vonatkoznak, ezért nem tudják figyelembe venni a pneumatikus működtetés sajátosságait.

### **3.2. Ömlesztett anyagok**

Ömlesztett anyagoknak nevezzük azokat a rendszerint különböző szemnagyságú, szilárd részeket tartalmazó, de általában egynemű anyagokat, amelyeket nagyobb tömegben, rendezetlenül és csomagolatlanul mozgatnak, tárolnak, szállítanak (pl. homok, érc, szén, gabonafélék, csavaranyák, stb.) [26.].

Az ömlesztett anyagok paramétereinek leírására, jelentősen eltérő fizikai tulajdonságaik és folyási viselkedésük miatt, nem létezik olyan általános összefüggés-rendszer, amely minden anyagtípus esetén alkalmazható. Az adagolási folyamat modelljéhez szükséges paraméterek meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy az ömlesztett anyagok eltérő viselkedést mutatnak statikus (tárolt, nem mozgó anyaghalmoz) és mozgási (kiömlés, mozgathatóság) állapotban. Ez azt jelenti, hogy az adagolási folyamat során más összefüggéseket kell alkalmazni az elzáró-szerkezet bezárt (statikus állapot) és nyitott állapotában (mozgási állapot).

Vizsgálataimnál az ömlesztett anyagok statikus jellemzőinek meghatározására a Janssen-féle [27.] megközelítést alkalmaztam, amely széles körben alkalmazott eljárás a silószárban elhelyezkedő anyag jellemzőinek meghatározására. A kifolyógaratban érvényes

összefüggéseket Janssen elméletéből kiindulva Schulze [28.] írta le. A modell alkalmazhatósága korlátozott és nem ad egzakt megoldást, de analitikus összefüggéseket ad a feszültségek leírására. A magyar szakirodalomban is ez az eljárás a legelterjedtebb [29.].

A silóban tárolt anyag feszültségi állapota jelentősen megváltozik az elzáró-szerkezet kinyitásakor. A silószár és a kifolyógarat találkozásánál a siló geometria és a kifolyási jelleg függvényében jelentős nyomásnövekedés lép fel. A nyomásváltozás következtében az anyag statikus állapotában meghatározott feszültség értékek nem érvényesek a mozgási állapotra. Az elzáró-szerkezetet működtető erő meghatározásához csak a szájnylás (a kifolyógarat alsó keresztmetszete) mentén fellépő feszültségek értékére van szükség, melyre - egzakt megközelítés hiányában - a kutatók különböző összefüggéseket alkalmaznak. Kutatásaim során a Janssen-féle megközelítésen alapuló, magkifolyású állapotra felírt összefüggést alkalmaztam [31.]. Választásom oka kettős: egyrészt ez a módszer vertikális irányú szabad kiömlésre vonatkozik, másrészt a kiömlő mennyiség meghatározásánál is vizsgálom a modellt (többek között), ahol a mérésekkel összevetve jó eredményt ad. A kiömlő anyagmennyiség meghatározására sem ismert egzakt összefüggés, így a szakirodalomban számos módszer található, amely többé-kevésbé pontos közelítéssel, gyakorlati tapasztalatokon alapuló összefüggések segítségével adja meg a kiáramló anyagmennyiséget.

### **3.3. Pneumatikus munkahengerek**

Pneumatikus működtetésről akkor beszélünk, ha lineáris, vagy forgó mozgást sűrített levegő segítségével állítunk elő. Ezt úgy érhetjük el, ha egy dugattyút, vagy forgólapát két oldalának felületére adott nyomású levegőt vezetünk. A mozgást a felületek és a nyomások különbsége indukálja, amit a bevezetett tápnyomással (üzemi nyomással) lehet szabályozni (mivel a kisebb nyomású tér általában az atmoszférába ürül) [32.].

Kutatásaimban csak kétoldali működésű, lineáris dugattyús, véghelyzet fékezésű pneumatikus munkahengerekkel foglalkoztam.

A nemzetközi szakirodalomban régóta ismert a pneumatikus munkahengerek általános működési jellemzőit leíró differenciálegyenlet-rendszer [33.], amely az összefüggések bonyolultsága miatt analitikusan nem oldható meg. A nemzetközi szakirodalomban számos szerző foglalkozik a numerikus megoldással, illetve adott célokra történő alkalmazással. A mozgási fázisokra vonatkozó megoldási sémát ismertet Sorli et al. [34.] lineáris és forgató munkahengerekre vonatkozóan, de az általa felírt modell nem ad információt a mozgásmentes fázisokra vonatkozóan. Az adagolási folyamat szempontjából alapvető fontosságú a munkahenger teljes ciklusának vizsgálata, amelyhez definiálni kell a működés fázisait és az egyes fázisokban érvényes összefüggéseket.

## **4. A MEGOLDÁS MÓDSZERTANA**

Az adagolási folyamat általános modelljének felírásához a következő lépéseket végeztem el:

1. A pneumatikus munkahenger működésének modellezése
2. Az adagolásnál alkalmazott anyagok kiválasztása
3. Az elzáró-szerkezetek erőjátékának felírása
4. Az adagolási folyamat modellezése

### **4.1. A pneumatikus munkahenger modellezése**

A pneumatikus munkahengerek általános működési jellemzőit leíró differenciálegyenlet-rendszer numerikus megoldáshoz szükséges elméleti modell megalkotása során részletesen elemeztem a kétoldali működésű, lineáris dugattyús, véghelyzet fékezésű munkahengerek működési folyamatát és meghatároztam a működés pontos fázisait. Az egyes fázisok a munkahenger paraméterek függvényében, adott feltételek teljesülése esetén érvényesülnek, ezért megfogalmaztam a fázisváltási feltételeket. A differenciálegyenlet-rendszer elemei az egyes fázisokban eltérő alakot vesznek fel, ezért meghatároztam az adott fázisokban érvényes összefüggéseket és felírtam a numerikus megoldáshoz szükséges kapcsolatokat.

A modell alapján készítettem egy számítógépes eljárást MathCAD szoftver környezetben, amellyel a munkahengerek működési jellemzői numerikusan meghatározhatók, és összeállítottam egy mérési folyamatot, amellyel a munkahengerek működési jellemzői lemérhetők (nyomások a hengerterekben, dugattyú elmozdulás, sebesség és gyorsulás). A számított és a mért eredmények összehasonlításával minősítettem a modellt.

### **4.2. Az adagolásnál alkalmazott anyagok kiválasztása**

Az ömlesztett anyagok számtalan változatban fordulnak elő, és az egyes típusok között jelentős különbségek lehetnek a kiömlés közben mutatott viselkedésük alapján. Az adagolási folyamat modellezéséhez szemcsés, kohéziómentes, homogén szemcseeloszlású, jól folyó anyagtypust választottam, amelynél nem áll fenn a beboltózódás veszélye és a kifolyási tulajdonságok állandóak. A kiválasztott anyagtypus tulajdonságainak megfelelő anyagok közül vizsgálataim során búzát, PVC granulátumot és polietilén granulátumot alkalmaztam.

A kutatás során, a kiömlő mennyiségre vonatkozó módszerek (Beverloo-módszer [35.], Brit szabvány [36.], Oldal-módszer [37.], Janssen-módszer [31.], Johanson-módszer [38.]) az adott ömlesztett anyagokra vonatkozó alkalmazhatóságával kapcsolatban méréseket végeztem, amelyek alapján kiválasztottam az adagolási modellben felhasználható összefüggéseket.

### **4.3. Az elzáró-szerkezetek erőjátékának felírása**

Vizsgálatokat végeztem a silóelzáró-szerkezetekre vonatkozóan és az adagolási folyamat jellemzőinek (szabad kiömlés, szakaszos működés, stb.) függvényében kiválasztottam a pneumatikus munkahengerrel történő működtetés során alkalmazható típusokat.

Elemeztem a szerkezetek működését és meghatároztam a dugattyúerő meghatározásánál szerepet játszó erőket, valamint a dugattyú elmozdulás és az elzáró-szerkezetek mozgása közötti kapcsolatokat. Az elzáró-szerkezetek működtetésénél eltérő összefüggéseket kellett alkalmazni az anyag nyomásából adódó terhelés meghatározására a statikus és a mozgási állapot alatt. Vízszintes és ferde tolózár, illetve kéttagú szegmens-zár esetén felírtam az ömlesztett anyagban ébredő feszültségekből a munkahenger dugattyújára ható erők számítására alkalmas összefüggéseket.

### **4.4. Az adagolási folyamat modellezése**

Pneumatikus elzáró-szerkezettel ürített ömlesztett anyag tároló silók adagolási modelljének kidolgozásához feltártam az adagolási folyamat elemeit, definiáltam az egyes elemek szerepét, jellemzőit és meghatároztam a közöttük fennálló kapcsolatokat. Elemeztem a folyamat működését és definiáltam az adagolás fázisait. Az egyes fázisok az elzáró-szerkezet mozgásának függvényében, adott feltételek teljesülésekor érvényesülnek, ezért megfogalmaztam a fázisváltási feltételeket mind a nyitás, mind a zárás esetére.

Az adagolási folyamat fázisait beillesztettem, a pneumatikus munkahenger működési folyamatába és meghatároztam az egyes fázisokban érvényes összefüggéseket.

A modell alapján készítettem egy számítógépes eljárást MathCAD szoftver környezetben, amellyel az adagolási folyamat jellemzői numerikusan meghatározhatók. Összeállítottam egy mérési folyamatot (kisméretű siló és vízszintes tolózár alkalmazásával), amellyel az adagolási folyamat jellemzői lemérhetők (adagolt anyagmennyiség, adagolási idők, az elzáró-szerkezet mozgása, stb.). A számított és a mért eredmények összehasonlításával minősítettem a modellt.

## 5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az értekezésben bemutatott kutatások a következő új eredményeket tartalmazzák:

### 5.1. Kidolgoztam a kétoldali működésű, lineáris dugattyús, véghelyzet fékezésű pneumatikus munkahengerek működési modelljét. [1., 2., 3., 6., 8., 9., 10.]

A pneumatikus munkahengerek általános működési jellemzőit leíró differenciálegyenlet-rendszer az összefüggések bonyolultsága miatt analitikusan nem oldható meg. A modell felírása során definiáltam a működés fázisait. Az egyes fázisok a munkahenger paraméterek függvényében, adott feltételek teljesülése esetén érvényesülnek, ezért megfogalmaztam a fázisváltási feltételeket.

A működést leíró differenciálegyenlet-rendszer elemei az egyes fázisokban eltérő alakot vesznek fel, ezért meghatároztam az adott fázisokban érvényes összefüggéseket és felírtam a numerikus megoldáshoz szükséges kapcsolatokat.

### 5.2. Mérésekkel igazoltam a pneumatikus munkahengerek elméleti működési modelljének eredményeit. [1., 3., 6., 9.]

A modell alapján számítógépes eljárást dolgoztam ki MathCAD szoftver környezetben, amellyel a munkahengerek működési jellemzői numerikusan meghatározhatók. A modell alapján számított és a mért eredmények összehasonlításával megállapítottam, hogy az elméleti modell a dugattyú elmozdulást tekintve, jól közelíti a mérési eredményeket (az eltérés minden vizsgált esetben kisebb, mint 5%)

- plusz mozgás esetén, a mozgási szakasz 90%-án,
- mínusz mozgás esetén a mozgási szakasz 75%-án.

Az eredmények igazolták, hogy a működési modell alkalmas az adagolási folyamatban történő felhasználásra, abban az esetben, ha az elzáró-szerkezet mozgása a dugattyúmozgás második szakaszára esik (ez megfelelő kialakítás esetén biztosítható).

### 5.3. Felírtam a dugattyúerő meghatározásához szükséges összefüggéseket az adagolási folyamatban alkalmazott elzáró-szerkezetek esetén. [4., 12., 13.]

A silóelzáró-szerkezetek vizsgálatával kiválasztottam a pneumatikus munkahengerrel működtetett adagolási folyamatnál alkalmazható típusokat (vízszintes és ferde tolózár, kéttágú szegmens-zár). Kimutattam, hogy az elzáró-szerkezetek működtetésénél eltérő összefüggéseket kell alkalmazni az anyag nyomásából adódó terhelés meghatározására a statikus és a mozgási állapot alatt.

A kiválasztott elzáró-szerkezetek esetén meghatároztam az ömlesztett anyagban ébredő feszültségekből a munkahenger dugattyújára ható erők figyelembevételére alkalmas összefüggéseket:

- ferde tolózárra:

$$F_R(t) = F_m(t) + F_v(t) + F_h(t)$$

- kéttagú szegmens-zárra:

$$F_R(t) = F_{\text{dug}}(t) + 2 \cdot \frac{F_{\text{szeg}}(t) + F_v(t) + F_h(t)}{\cos \gamma_c(t)}$$

ahol

|                   |                                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $F_m$             | - a henger mozgó elemeinek és a zárólap súlyából származó erő [N],           |
| $F_v$             | - az anyag vertikális nyomásából az elzáró elemre ható erő [N],              |
| $F_h$             | - az anyag horizontális nyomásából az elzáró elemre ható erő [N],            |
| $F_{\text{dug}}$  | - a munkahenger mozgó elemeinek súlyából származó erő [N],                   |
| $F_{\text{szeg}}$ | - az elzáró szegmens súlyából származó erő [N],                              |
| $\gamma_c$        | - a szegmens mozgása és a munkahenger helyzete által meghatározott szög [°]. |

Felírtam a dugattyúerő meghatározásánál szerepet játszó erőkre vonatkozó összefüggéseket és definiáltam a dugattyú elmozdulás és az elzáró-szerkezetek mozgása közötti kapcsolatokat.

#### **5.4. Kidolgoztam a pneumatikus munkahengerrel működtetett silóürítési folyamatok, szemcsés, kohéziómentes, szabad folyású ömlesztett anyagok adagolására alkalmas általános modelljét. [7., 11., 13., 15., 17., 19., 21.]**

A modell megalkotásához feltártam az adagolási folyamat elemeit, definiáltam az egyes elemek szerepét, jellemzőit és meghatároztam a közöttük fennálló kapcsolatokat. A modell kidolgozása során elemeztem a folyamat működését és definiáltam az adagolás fázisait. A folyamat során az egyes fázisok az elzáró-szerkezet mozgásának függvényében, adott feltételek teljesülésekor érvényesülnek, ezért megfogalmaztam a fázisváltási feltételeket mind a nyitás, mind a zárás esetére.

Az adagolási folyamat fázisait beillesztettem, a pneumatikus munkahenger működési folyamatába és meghatároztam az egyes fázisokban érvényes összefüggéseket.

#### **5.5. Mérésekkel igazoltam az adagolási folyamat általános elméleti modelljének eredményeit. [19., 20., 21.]**

A modell alapján számítógépes eljárást dolgoztam ki MathCAD szoftver környezetben, amellyel az adagolási folyamat jellemzői numerikusan meghatározhatók. A számított és a mért eredmények összehasonlításával megállapítottam, hogy az elméleti modell az adagolási folyamat alatt kiömlő mennyiséget tekintve jól közelíti a mérési eredményeket (az eltérés minden vizsgált esetben kisebb, mint 5%).

Az eredmények igazolták, hogy az adagolási modell a három vizsgált anyag (búza, PVC granulátum és polietilén granulátum), a vizsgált siló és vízszintes tolózárral esetén a kiömlő anyagmennyiség tekintetében megfelelően írja le az adagolási folyamatot.

## 6. NEW SCIENTIFIC RESULTS

New results (theses) of the researches:

### **6.1. I have described a new operation model for double acting pneumatic cylinders with cushioning. [1., 2., 3., 6., 8., 9., 10.]**

The differential equation system describing the operation parameters of pneumatic cylinders can not be solved analytically because of the complexity of the calculation forms. During the development I have defined the operation phases. The phases of the operation process are activated in certain states depend on the cylinder parameters, so I have described the conditions for the activation of the different phases.

Elements of the differential equation system have different forms in the individual phases, so I have determined the actual calculation forms for the given phases and described the relations required by the numerical solution.

### **6.2. I have proved the results of the theoretical model of double acting pneumatic cylinders. [1., 3., 6., 9.]**

I have developed a computer program on MathCAD software based on the model which can numerically calculate the operation parameters of the cylinder. With the comparison of the calculated and the measured results I have proved that the theoretical model gives good evaluation for the movement of the piston (the differences in all of the analyzed settings are below 5%)

- at plus direction, in the 90% of the moving phase,
- at minus direction, in the 75% of the moving phase.

Results proved that the operation model of the pneumatic cylinder is suitable for the dosing process, if the discharging device moves only in the second movement phase of the piston (it can be solved with suitable structure).

### **6.3. I have determined the calculation forms of the forces acted on the piston rod at the applied discharging structures. [4., 12., 13.]**

Analyzing the discharging devices I have selected the types suitable for pneumatic operation (horizontal and inclined shutter and double segment gate). I have revealed that different calculation forms have to be applied for determining the loads from the pressure of the bulk material in static and outflowing state.

For the applied discharging devices I have determined the forms to calculate the forces acted on the piston rod from the pressure of the bulk material

- for inclined shutter:

$$F_R(t) = F_m(t) + F_v(t) + F_h(t)$$

- for double segment gate:

$$F_R(t) = F_{dug}(t) + 2 \cdot \frac{F_{sseg}(t) + F_v(t) + F_h(t)}{\cos \gamma_c(t)}$$

where

$F_m$  - force from the weight of moving elements of the cylinder and the shutter [N],

$F_v$  - force on the closing element from the vertical pressure of the material [N],

$F_h$  - force on the closing element from the horizontal pressure of the material [N],

$F_{dug}$  - force from the weight of the moving elements of the cylinder [N],

$F_{sseg}$  - force from the weight of the closing segment [N],

$\gamma_c$  - angle determined by the movement of the segment and the position of the cylinder [°].

I have described the calculation forms of the forces which have effect to the force acted on the piston rod and defined the relations between the piston movement and the moving of the discharging devices.

**6.4. I have described a general model for the dosing process of bulk solids stored in silos using discharging devices operated by a double acting pneumatic cylinder, which is valid for granulated, cohesion free, free flowing bulk solids. [7., 11., 13., 15., 17., 19., 21.]**

To develop the model I have revealed the elements of the dosing process, defined the roles and characterizations of the elements and determined their relations. Analyzing the procedure I have determined the phases of the dosing process.

Phases of the operation process are activated in certain states depend on the movement of the discharging device, so I have described the conditions for the activation of the different phases for the opening and also the closing direction.

I have fitted the phases of the dosing process into the operation process of the pneumatic cylinder and determined the calculation forms for the actual phases.

**6.5. I have proved the results of the general model of dosing processes. [19., 20., 21.]**

I have developed a computer program on MathCAD software based on the model which can numerically calculate the parameters of the dosing process. With the comparison of the calculated and the measured results I have proved that the theoretical model gives good evaluation for the quantity of the outflowed bulk material (the differences in all of the analyzed settings are below 5%).

Results proved that the general model of the dosing process for the three analyzed material (wheat, granulated PVC powder, granulated Polyethylene powder), for the analyzed small silo and for horizontal shutter is suitable to calculate the quantity of the outflowed bulk material.

## **7. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA, TOVÁBBFEJLESZTÉSI IRÁNYOK**

Teljes és mindenre kiterjedő elemzést nem folytattam, mert értekezésem célja elsősorban a modell kidolgozása és alkalmazhatóságának bemutatása volt. Mivel a vizsgálatokat egy adott anyagcsoport, siló-geometria és elzáró-szerkezet esetén végeztem el, ezért az alkalmazhatóság is e környezetben bizonyított.

A kidolgozott modell közvetlen és mérleg-vezérelt adagolás esetén alkalmazható hatékonyan, számottevő előny elsősorban olyan ipari feladatoknál (élelmiszeripar, vegyipar, stb.) jelentkezhetsz, ahol más, bonyolultabb megoldásokat alkalmaznak az ömlesztett anyagok adagolására.

A kidolgozott modell alkalmazásával:

- adott siló, elzáró-szerkezet és ömlesztett anyag esetén meghatározható az adagolási folyamat szabályozásához szükséges
  - ciklusidő (közvetlen adagolás esetén), vagy
  - mennyiség (mérleg-vezérelt adagolás esetén),
- a különböző silók, elzáró-szerkezetek és munkahengerek esetén meghatározhatók az adott feladatra leginkább alkalmas eszközök és megoldás változatok.

Ahhoz, hogy általános érvényű megállapításokat tehessünk, a vizsgálatokat ki kell terjeszteni más anyagokra, silókra és elzáró-szerkezetekre.

A legfontosabb továbbfejlesztési irányok:

- más típusú, kohéziómentes ömlesztett-anyagok vizsgálata,
- kohézív ömlesztett-anyagok ürítésének vizsgálata,
- valós folyamatokban működő silók vizsgálata,
- az elzáró-szerkezet geometria és a kiömlési folyamat jellemzői közötti kapcsolatok vizsgálata,
- DEM módszer alkalmazási lehetőségének vizsgálata.

## 8. AZ ÉRTEKEZÉSHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

- [1.] Szaladnya S., Németh J., Telek P.: Pneumatikus elemek tereinek töltése és ürítése. Pneu-Hidro'96 Konferencia kiadvány, pp.: 83-86., Miskolc, 1996.
- [2.] Szaladnya S., Németh J., Telek P.: Pneumatikus munkahengerek működésvizsgálata. MicroCAD'96 Konferencia, Anyagmozgatás, logisztika, robotika szekció kiadványa, pp.: 93-102., Miskolc, 1996.
- [3.] Szaladnya S., Németh J., Telek P.: Silók pneumatikus zárószerkezetének tervezése. Géptervezés-termékfejlesztés'96 szeminárium kiadványa, pp.: 239-245. Miskolc 1996.
- [4.] Szaladnya S., Németh J., Telek P.: Silók pneumatikus zárószerkezetének méretezése. MicroCAD'97 Konferencia, Szilikátipar és porkohászat szekció kiadványa, pp.: 33-41., Miskolc, 1997.
- [5.] Szaladnya S., Telek P.: Szilikátiparban alkalmazott pneumatikus munkahengerek levegő-felhasználásának optimalizálása. Gép IL évfolyam, 1998/4-5. pp.: 82-83., ISSN 0016-8572
- [6.] Szaladnya S., Telek P.: Pneumatikus munkahengerek alkalmazás-specifikus vizsgálata. FMTÜ Konferencia kiadvány, pp.: 241-244., Kolozsvár, 1998.
- [7.] Szaladnya S., Telek P.: Dimensioning principals of pneumatic system controlling the quantity of outflow material discharging from bulk solid storage silos. Miskolci Beszélgetések '99 konferencia kiadványa, pp.: 99-103., Miskolc, 1999.
- [8.] Szaladnya S., Németh J., Telek P.: Pneumatikus ütőhengerek méretezésének matematikai alapjai. FMTÜ Konferencia kiadvány, pp.: 109-112., Kolozsvár, 2000.
- [9.] Szaladnya S., Németh J., Telek P.: Pneumatikus ütőhengerek méretezése. Gépgyártástechnológia XL. évfolyam, pp.: 5-8., 2000. szeptember 9. HU ISSN 0016-8580
- [10.] Szaladnya S., Telek P.: Effects of random parameter changing of pneumatic devices to the operation of materials handling equipment. MicroCAD 2003. Konferencia, O: Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika szekció kiadványa. pp.: 57-62., Miskolc, 2003.
- [11.] Szaladnya S., Telek P.: Theoretical principals of computer analysis of silo discharging devices operated by pneumatic actuators. MicroCAD 2007. Konferencia, N: Anyagáramlási rendszerek és logisztikai informatika szekció kiadványa, pp.: 115-121. Miskolc, 2007.

- [12.] Telek P.: Silóelzáró szerkezetek elmozdulása és a működtető pneumatikus munkahenger dugattyújának mozgása közötti kapcsolat meghatározása. GÉP LVIII. évfolyam 2007/5-6. ISSN 0016-8572 pp.: 71-77.
- [13.] Szaladnya S., Telek P.: Comparison analysis of silo discharging devices operated by pneumatic actuator. Budowa Maszyn i Zarzadanie Produkcja No. 8. 2008. ISSN 1733-1919 pp.: 101-111.
- [14.] Szaladnya S., Telek P.: Pneumatikus automatizálás eszközei, a tervezés módszerei, exkluzív példatár. Építésügyi Tájékoztatási Központ Kft., ISBN 978-963-513-216-4 pp.: 1-173. Budapest, 2009.
- [15.] Telek P.: Ömlesztett anyagok kiömlési modelljei gravitációs silóürítés esetén. MicroCAD 2009. Konferencia, O: Anyagáramlási rendszerek, Logisztikai informatika szekció kiadványa, pp.: 203-209. Miskolc, 2009.
- [16.] Telek P.: Logistical criterions and strategies for storage of bulk materials. ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS, Theory and Practice, Vol. 3. Edited by B. Illés, B. Skowron-Grabowska, P. Telek, pp.: 51-56., HU ISSN 1789-2198, Miskolci Egyetem 2009.
- [17.] Illés B., Németh J., Telek P.: Evaluierung der Berechnungsmethoden zum Austrag von Massenfluss-Silos. Innovationen gegen die Krise. 14. Fachtagung Schüttgutförderertechnik in Magdeburg, pp.: 175-184. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2009.
- [18.] Telek P.: Ömlesztett-anyag tárolás a korszerű termelési folyamatokban. (Korszerű raktározási technikák V.) TRANSPACK Csomagolási, anyagmozgatási, logisztikai szaklap 2010/3. szám pp.: 40-42. HU ISSN 1587-7183, Horizont Média Kft.
- [19.] Illés B., Németh J., Telek P.: Computer aided calculation method for the silo discharge by a pneumatic actuator. Anlagen – Bauteile - Computersimulationen. 16. Fachtagung Schüttgutförderertechnik Magdeburg, pp.: 221-230. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2011.
- [20.] Telek P.: Számítógépes módszer pneumatikus munkahengerrel történő silóürítés méretezésére. XXVI. microCAD International Scientific Conference, J. section: Material Flow Systems. Logistical Information Technology and Technical Language, University of Miskolc, 29-30 March, 2012. CD kiadvány. ISBN: 978-963-661-773-8
- [21.] Telek P.: General model of silo discharges operated by a pneumatic actuator. ADVANCED LOGISTIC SYSTEMS, Theory and Practice, Vol. 6. Edited by B. Illés, S. Kot, P. Telek, HU ISSN 1789-2198, Miskolci Egyetem 2012. (Megjelenésre elfogadva)

## 9. HIVATKOZÁSOK

- [22.] Knoll I.: Anyagmozgatás a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1983. ISBN 963 231 479 4
- [23.] Andrási Gy.; Polonszky Gy.: Tárolás. Termékek fogadása, raktározása, megóvása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1971.
- [24.] Woodcock, C. R.; Mason, J. S.: Bulk solids handling. Leonard Hill, Glasgow and London, 1987.
- [25.] Prezenszki J.: Raktározástechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984. ISBN 963 10 57364
- [26.] Felföldi L. (szerk.): Anyagmozgatási kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1975. ISBN 963 10 0423 6
- [27.] Janssen, H. A.: Getreidedruck in silozellen. Zeitschr. d. Vereines deutscher Ingenieure 39. pp.: 1045-1049. 1895.
- [28.] Schulze, D.: Untersuchungen zur gegenseitigen Beeinflussung von Silo Austragorgan. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 1991.
- [29.] Sitkei Gy.: A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981. ISBN 963 05 2673 5
- [30.] Oldal I.: Szemcsés anyagok kifolyási és boltozódási tulajdonságai. Ph.D értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő, 2007.
- [31.] Németh J.: Ömlesztett-anyagok rakodása és tárolása. Előadás főlíák. Miskolci Egyetem, 2000. pp.: 1-132.
- [32.] Barber, A.: Pneumatic Handbook. Elsevier Advanced Technology, Oxford 2006. ISBN 185617249X
- [33.] Elek I., Hudáky J.: Az ipari pneumatika alapjai. Interpress, Budapest 1979.
- [34.] Sorli, M.; Gastaldi, L.; Codina, E.; de las Heras, S.: Dynamic analysis of pneumatic actuators. Simulation Practice and Theory 7. (1999) pp.: 589-602.
- [35.] Beverloo, W. A.; Leniger, H. A.; van der Felde, J.: The flow of granular solids through orifices. Chem. Engineering Sciences 15. pp.: 260-269. 1961.
- [36.] British Standards Institution (Ed): Draft design code for silos, bins, bunkers and hoppers. ICS 65.020.40 Published by BSI in association with the British Materials Handling Board 1987.
- [37.] Oldal I.; Keppler I.; Csizmadia B.; Fenyvesi L.: Outflow properties of silos: The effect of arching. Advanced Powder Technology (2011), doi:10.1016/j.apr.2011.03.013
- [38.] Johanson, J. R.: Method of calculating rate of discharge from hoppers and bins. Trans. Min. Engineers AIME 232. pp.: 69-80. 1965.