

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS BÍRÁLATA

ÉRTEKEZÉS CÍME: Mezőgazdasági szemcsehalmozok mechanikai viselkedésének modellezése

ÉRTEKEZÉS SZERZŐJE: Dr. Keppler István

BÍRÁLÓ: Dr. Zsoldos Ibolya, MTA doktora

1. BEVEZETÉS

Keppler István MTA doktori értekezésének fő témája mezőgazdasági termények, szemcsehalmozok és talajminták mechanikai vizsgálatai, keverési és szárítási folyamatok hatékonyságának javítása.

Az értekezés szerkezete és kivitelezése megfelel az elvárásoknak. Kb. 30 %-ot tesz ki a kellő részletességgel bemutatott irodalomfeldolgozás, amelyet több, mint száz releváns irodalmi forrás felhasználásával állított össze. Számos ábrával, diagrammal, matematikai összefüggések leírásával együtt összességében tartalmas munkának látom. A fogalmazás általában érthető, logikus, olvasmányos. A szerkesztés és a kivitelezés igényes, szép munka.

Jelölt négy területen mutatja be kutatási eredményeit:

- szemcsehalmozok és talajminták nyíróvizsgálatai,
- rezgő talajművelő szerszámok vonóerőigénye,
- szemcsehalmozok keverésének hatékonysága,
- terményszárítókban zajló áramlási folyamatok.

A kutatómunkát két különálló fejezetben ismerteti. Először a módszertanról, majd ezt követően a kutatási eredményekről olvashatunk. Ebben a sorrendben szerkesztem a részletes bírálatot is.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A négy felsorolt területen alkalmazott módszertant, felhasznált eszközöket, anyagokat, modelleket mutatja be. Általában érthető, logikus a leírás. Helyenként megtévesztő, hogy már a módszertani fejezetben is kimond eredményeket, amik itt még nincsenek alátámasztva, vagy csak részlegesen vannak igazolva. Konkrét példákat mutatok az alábbiakban az észrevételek között. Ezek a problémák feloldódnak az eredmények fejezetekben. Pusztán az első olvasásnál okoznak kis zavart.

2.1. Szemcsehalmozokon és talajmintákon végzett nyíró kísérletek: a kísérletek elvét, menetét, működését ismerteti. Klasszikus, módosított klasszikus, valamint torziós talajnyíró berendezés és annak módosított változatait írja le. A szemcsehalmozok és talajminták nyíró kísérleteinek eredményeit DEM modellek validálására használta.

Észrevételek, kérdések:

- 3.1. ábra alatt: „Különböző előtömörítő erők felhasználásával meghatározhatjuk a halmaz nyírási tönkremeneteli határgörbéjét. Ennek a görbének lineáris közelítés esetén két paraméter, a c látszólagos kohézió és a φ belső súrlódási szög jól jellemzi a szemcsehalmoz mechanikai viselkedését.” De ez a két paraméter itt még nincs definiálva, magyarázva, az értekezésben csak később látszik a jelentésük és fontosságuk.
- 3.2. ábra után: „A szemcse – nyíródoboz méretarány így $0,1/0,0063=15,87$ - re adódott.” Inkább nyíródoboz - szemcse méretarány van megadva, nem fordítva.
- Miért nem olyan, realiztikusabb kétgömbös modellel dolgozott, ahol az egyik gömb sugara kisebb, úgy, mint a 2.1. ábrán Coetzee (2009) modelljében? (Később poliéderes szemcsealakokkal való számolást is említ.)
- 3.6. ábrán a függőleges tengelyen a T (kPa) a nyíróerő által keltett csúsztatófeszültség lenne? Nincs magyarázva a leírásban sem. „ T ” a jelölésjegyzékben sem szerepel, sőt, T_R a „Rayleigh időlépték” időt ad meg a jelölésjegyzékben. A nyírási tönkremeneteli határgörbét is jó lett volna röviden megmagyarázni.
- Hengeres nyírókészüléknél a nyomóerő biztosítására szolgáló nagyobb tömeg elnevezésére nem szerencsés a „szemcse” szó, hiszen a szemcsék a jóval kisebb magok, ha jól értelmezem a leírást: „A felső nyomólap fel-le mozgatásával fenntartott állandó normálerő problémáját más esetekben úgy küszöböltük ki, hogy egyetlen, a normál terhelés értékének megfelelően megválasztott súlyú szemcsével hoztuk létre a szemcsehalmoz függőleges terhelését...”.
- Kicsit részletesebb magyarázat jó lett volna: A szemcsehalmoz nyíróvizsgálatánál a nyomóerő és a nyíróerő iránya egymásra merőleges volt. A 3.10. ábrán mutatott módosított torziós talajnyíró készülék esetén bizonyára forgatással biztosítjuk a nyíróerőt. Mert ekkor lesz a két erő egymásra merőleges. (Erről csak később, a 3.14. ábránál tesz említést.) Forgatáskor hogyan, hol mérik a nyíróerőt? (Ezt is csak később, a 3.14. ábra után mondja meg, hogy a tengelyen méri az erőt.) Végül a módosított, vagy a klasszikus nyírókísérletet használta a DEM modellhez?
- Talajmodellnél miért használt duplagömbös alakot a talajszemcsékre a DEM modellben? A talajszemcsék alakja legjobban ehhez hasonlít?
- A termény- és talajszemcsékre használt geometriai alakzatokat megadja, de a szemcsék anyag- és mechanikai tulajdonságairól nem találtam említést a dolgozatban. Ez bizonyára szükséges volt a DEM modell számára. Hogyan oldotta meg? (Később 40. oldalon is csak annyit ír, hogy „a diszkrét elemes modell mikromechanikai paramétereit addig változtattuk, amíg elfogadható egyezést nem kaptunk a mért és a szimulációval meghatározott értékek között”)

2.2. Rezgő talajművelő szerszám merev és rugalmas rögzítését hasonlítja össze. Azt találta, hogy rugalmas rögzítés esetén a vonóerő igény kisebb. DEM modell

felépítéséhez talajvályú modellt épít. Már a módszer bemutatásánál látunk diagramot a vonóerő igény összehasonlítására.

Észrevételek, kérdések:

- A 3.18 ábrán fotón mutatja a rugalmas szerszámrögzítést. De a rögzítési mód nincs megmagyarázva, és a fotó alapján nem érthető a rugalmas rögzítési mód, esetleg csak sejthető. Röviden jó lett volna megmagyarázni.
- A talajvályú modellben most is duplagömbök a talajszemcsék. Miért használt duplagömböket? A talajszemcsék geometriája anizotróp? Milyenek a valóságos talajszemcsék?
- A talaj mikromechanikai tulajdonságainak meghatározását most is csak megemlíti. Jó lett volna ismertetni, pontosan milyen tulajdonságokat határozott meg.

2.3. Galton deszka működésén alapuló statikus keverőberendezést épített 3D nyomtatással. A keveredési folyamat DEM modelljét megalkotta, a modell validálását elvégezte saját kísérletek alapján. Később ezzel a módszerrel végzi különböző szemcsehalmozok keveredési folyamatainak vizsgálatait. A leírás most teljes mértékben érthető, teljes, hiánytalan.

2.4. Ipari és modell szárító berendezésekben lezajló szemcsés halmazok mozgásait hasonlítja össze. Ipari szárítóban betekintő ablakokban elhelyezett videokamerával készített felvételekkel mérte a sebességet. A kísérleteket DEM modell validálására használta.

Észrevételek, kérdések:

- Kicsit zavaró, hogy az Anyag és módszer fejezetben is leír olyan megállapításokat, amik itt még nincsenek megmutatva, igazolva (bár az Eredmények fejezetben később részletezi): „Az elvégzett mérések alapján két fő következtetés vonható le: 1. A lamellák jelenléte jelentősen befolyásolja a sebességviszonyokat, ezáltal a szemcsék áramlásának egyenletlenségét. 2. A működő szárítóberendezésben zajló légáramlási folyamatok nem gyakorolnak számottevő hatást a szemcsemozgási folyamatokra.”
- A faltól való távolságot hogyan mérte? A kamera volt elhelyezve a faltól 0, 2, 4, ..., 16 cm-re? Milyen magas, milyen széles a szárító berendezés?
- Hogyan mérte a sebességet? Pl. a videofelvételen diszkrét szemcsék sebességének átlagából?
- Ugyanolyan magasságban történtek a sebességmérések? A magasság szerint változik-e a sebesség, vagy csak a faltól való távolságtól függ?
- A 3.28. ábrán nem tudtam megfigyelni lamellákat, holott azt írja, hogy „a lamellák jelenléte jelentősen befolyásolja a szemcsék áramlási sebességét”.
- A 3.28. ábrán és a leírásban is hiányzik a különböző jelölő alakzatok megadása. Az öt különböző jelölő alakzat az öt különböző időpontban készült videofelvételnek felel meg?

- Többes szám 3. személyben említi, hogy „elkészítettek egy modellszárító berendezést”. Kik tervezték, kik építették?
- 3.32. ábrán a faltól mért relatív távolságot hogy értelmezi? Minek a százalékában?
- Mit ért a kukorica rézsűszöge alatt?
- A 3.41. ábra szerint 22° -nál kisebb lamellaszögekkel volna-e értelme foglalkozni? Folytatódna-e az áramlási egyenetlenség csökkenése?

3. EREDMÉNYEK

3.1. Nyíróvizsgálatok

Szemcsés halmazok nyírásánál 9 különböző mikromechanikai tényező hatásának erősségét vizsgálta DEM szimulációkkal. Minden paraméter esetében a tönkremeneteli határgörbe meredekségére (belső súrlódási szög φ) és tengelymetszetére (látszólagos kohézió c) kifejtett hatást vizsgálta. Torziós talajnyírásnál 2 különböző mikromechanikai tényező hatásának erősségét vizsgálta DEM szimulációkkal. Itt a látszólagos kohézióra és a belső súrlódásra gyakorolt hatásokat vizsgálta. Az eredményekből 10 következtetést von le, amelyek a szimulációs futtatásokból helyesen vannak megfogalmazva.

Észrevételek, kérdések:

- A szemcsés halmaznál vizsgált 8. paraméternél l/r helyesen a clumpot alkotó szemcsék középponti távolságának és sugarának és aránya és nem „a clumpot alkotó szemcsék sugarának és középponti távolságainak aránya”.
- A 4.1. táblázatban „clump hossz”-on a clumpot alkotó gömbök középponti távolságát érti? A szemcsesugár bizonyára a clumpot alkotó gömbök sugara. Minden esetben 2 azonos gömbből álló clumppal dolgozott?
- A 4.1-4.6. ábrák diagramjain hogyan jön ki a 37 futtatás? A független változóknál (mikromechanikai paramétereknél) mindig 5 különböző érték van. Egy értékkel többször lefuttatta a DEM szimulációt? Mit jelent a diagramokon a szórás egy adott független változó érték esetén? A DEM szimuláció futtatási eredményeinek van egy szórása? Azaz egymás utáni futtatások (azonos paraméterekkel) kissé különböző eredményt adnak?

3.2. Rezgő talajművelő szerszámok vonóerőigénye

A rezgő talajművelő szerszámok modelljében a vonóerőigény érzékenységét vizsgálta 6 különböző paraméterre. A sebességhányados (szerszámcsúcs sebesség / haladási sebesség) esetében mutatott ki számottevő érzékenységet. Kimutatta, hogy a sebességhányados növekedésével a vonóerőigény csökken. A szimulációs eredményeket összehasonlította saját mérésekkel és a szakirodalomban található mérési adatokkal. A saját szimulációk mennyiségileg lényegesen több eredményt adtak, mint az összehasonlításban szereplő adatok.

Észrevételek, kérdések:

- A 4.11. ábrán a kohézív kötésnek milyen szilárdságát mutatja?
- 4.10. – 4.14. ábrák diagramjait hány futtatási eredményből szerkesztette meg?
- A sebességhányados növekedésével a vonóerőigény csökkenése látszik más mérésekből is (Bandalana et. al., Shahgoli et. al.). Fogalmazza meg, hogy a saját számításokkal kimutatott csökkenő tendencia mennyivel ad több információt a jelenségről?

3.3. Galton keverő hatékonysága

Az ütközősorok száma, a kifolyónyílás és az első ütközősor közötti távolság, valamint az ütközősorok közötti távolság hatását vizsgálta a keverési indexre, vagyis a keverés hatékonyságára. Mind a három esetben egyértelmű összefüggést határozott meg, amelyek alapján az optimális értékek meghatározhatók.

Észrevételek, kérdések:

- Az ütközősorok számának növelését úgy végezte, hogy azzal együtt a kifolyónyílás magasságát is növelte? Az ütközősorok távolsága pedig ugyanaz maradt?
- Jó lett volna látni egy olyan képet a kevert szemcsehalmozról, ahol a keverési index közel egy, és még legalább egy közbenső értékhez tartozó képet, pl. 0,5 körüli értékhez tartozó képet. Pl. a korábbi, 3.27. ábránál milyen a keverési index?
- Magyarban tizedesvessző van, tizedespont szerepel a 4.1. összefüggésben, és legtöbb helyen az értekezésben.
- A 4.2. összefüggésben „E” az első ütközősorra érkező szemcsék mozgási energiája? Mert ez nincs megnevezve a szövegben.
- A 4.2 és a 4.3. összefüggéseknél mennyi volt az R^2 értéke?
- Az ütközősorok közti távolság vizsgálatánál (4.19. ábra) miért nem adódtak 1-hez közeli keverési indexek, úgy, mint az ütközősorok számánál és kifolyónyílás magasságánál? Másképpen: a 4.17 és a 4.18. ábrán a keverési index megközelíti az 1 értéket. Ezekben az esetekben mekkora volt az ütközősorok közötti távolság? Ezek az esetek miért nem szerepelnek a 4.19. ábrán? Hiszen az 1-hez közeli értékek a legfontosabbak.

3.4. Terményszárítók anyagáramlásai

Modell terményszárítóban a szemcsehalmoz áramlásának egyenetlenségét határozta meg DEM szimulációval a fal és a szemcsék közötti és a szemcsék egymás közötti súrlódásának függvényében. Ezután egyenes lamellák esetén a lamellaszög hatását mutatta ki. Végül ciklois alakú lamellák és Bézier görbével meghatározott lamella alakok esetében is hasonlóan elvégezte az egyenetlenségi analízist, és kimutatta ezek előnyeit az egyenes lamellával szemben. Azért tartom fontosnak a kutatás módszertanát és az eredményeket, mert a sokrétű áramlási egyenetlenségi analízist csak modellberendezésben, szimulációval lehetett kimutatni, amit Jelölt kiválóan megoldott.

Észrevételek, kérdések:

- A 4.25. és 4.26. ábrákon hogy jön ki a százalékos eltérés? A függőleges tengely skáláját százzal szorozzuk? Hogy értelmezi a különbségeket? A mérések átlagértékeit vonja ki egymásból? Szemrevételezéssel nem úgy tűnik.
- A 4.27. ábrán mit jelentenek a különböző jelölő alakzatok?

4. ÖSSZEGZÉS

Az értekezésben négy kutatási területről szerepelnek új tudományos eredmények:

- szemcsehalmozok és talajminták nyíróvizsgálatai,
- rezgő talajművelő szerszámok vonóerőigénye,
- szemcsehalmozok keverésének hatékonysága,
- terményszárítókban zajló áramlási folyamatok.

Keppler István mind a négy területen matematikai modellt épített, a modelleket kísérleti úton validálta, igazolta, hogy alkalmasak valóságos folyamatok analízisére, majd szimulációs módszerrel jutott új tudományos eredményekre. Kiemelkedőnek tartom, hogy olyan értékes, új összefüggéseket állított fel, amelyeket kísérleti úton nem, vagy esetleg csak nagyon nehezen, hosszadalmasan, költségesen lehetett volna kimutatni. Az új összefüggések közvetlenül alkalmazhatók talajminták és szemcsés termékek nyíró igénybevételeinek tervezésénél, talajművelésnél, szemcsehalmozok keverési és szárítási folyamatainál a hatékonyság számottevő javítására.

Az előző fejezetekben megfogalmazott észrevételek, kritikák, kérdések tisztázhatók, kiegészíthetők, magyarázhatók írásbeli válaszban és szóbeli védésen, nem kérdőjelezi meg az új tudományos eredmények erősségét. Az értekezés új tudományos eredményeit hét Q2 és két lektorált angol nyelvű publikáció támasztja alá, ebből 5 elsőszerzős. (Jelöltnek az MTMT publikációs listájában számos más témájú, értékes folyóiratcikk is szerepel.) Az értekezés végén öt tézis szerepel, amelyeket elfogadok új tudományos eredményként azzal a megjegyzéssel, hogy a bírálóiban megfogalmazott észrevételeket és kérdéseket tisztázni kell.

Javaslom az MTA doktori értekezés nyilvános vitájának kitűzését, sikeres védés esetén az MTA doktora tudományos fokozat megítélését.

Győr, 2026. 01. 13.



Zsoldos Ibolya