

Diszkrét elemes anyagmodell paramétereinek meghatározása növényolajprés folyamatainak szimulációjához

Determination of discrete element material model parameters for simulating the process of vegetable oil press

*Földesi Bernát, Rádics János Péter, Kotroczi Krisztián, Tamás Kornél, Jóri J. István
BME, Gép- és Terméktervezés Tanszék
H-1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 1.*

ABSTRACT: During the process of plant oil extraction major part of the power input transforms into thermal energy caused by friction. The evolved heat has a very significant effect on the quality of the oil. With the support of discrete element method we can approach the mechanical and thermal phenomenon. It helps to identify and avoid disadvantageous designs of the press. In the present stage of our research we set up the mechanical model of the material according to the results of odometer tests.

1. BEVEZETÉS

A növényolaj-préselés rossz hatásfokánál fogva nagy energia igényű folyamat. A súrlódás révén jelentős mennyiségű hő szabadul fel. A hőterhelés befolyásolja a préstérben lévő, magban vagy már abból kiperéselt olaj hőmérsékletét és ezzel együtt annak minőségét is. Repceolaj előállítás során, ha a préselés alatt túl magas hőmérsékletre hevül fel az olaj, a megnövekedett foszfortartalom miatt a bioüzemanyag célú felhasználást megelőzően minőségjavító eljárás szükséges. A kutatás alapvető célja, hogy a diszkrét elemes (DE) szimulációk segítségével megvalósuljon a présben lejátszódó folyamatok megfelelő szintű közelítése, hogy megállapítható legyen az olaj hőmérsékletének a folyamat közbeni változása. Ugyanakkor a DE szimulációk mérnöki alkalmazása még nem annyira kiforrott, hogy azt az egyes problémákra rutinszerűen lehessen használni. Ezért a kutatás rész célját képezi a témára vonatkozó általánosan használható metódus kidolgozása.

2. KUTATÁSI MÓDSZEREK

2.1 DEM

A **diszkrét elemek módszere** (DEM) egy numerikus eljárás, mely a szemcsehalmozatokból felépülő anyagok mechanikai viselkedését írja le [1]. Minden DE modell különálló (diszkrét)

elemekből épül fel és az elemek érintkezésével létrejövő kapcsolatból áll. Az elemek önálló elfordulási és elmozdulási szabadságfokokkal rendelkeznek. Az elemek közötti kapcsolatok megszűnhetnek és újak jöhetnek létre. A vizsgálat tárgyát képező repcemag szemcsés tulajdonságú, ezért indokolt, hogy az analízist DE szimuláció segítségével végezzük. Az alkalmazott diszkrét elemes szoftver végtelenül merev elemeket használ. A DE szimulációs modell alapvetően az anyagot alkotó szemcsékből és a velük kölcsönhatásba lépő határfelületekből, más néven fal-elemekből áll. Az anyag makromechanikai viselkedését közvetve a beállított mikromechanikai paraméterek kölcsönzik.

2.2 Anyagjellemzők mérése

A megfelelő anyagmodell létrehozásához szükséges az anyag mind fizikai paramétereinek, mind mechanikai viselkedésének a mérése. A szakirodalomban megtalálhatóak a repcemag tulajdonságait tárgyaló publikációk [2][3][4], ám a különböző mérések számottevő eltéréseket mutatnak. A mezőgazdasági anyagok tulajdonságait számtalan hatás befolyásolja, így az alapvető paraméterek mérése minden különböző származású magmintánál indokolt. Ennek megfelelően a magminta fizikai tulajdonságainak a megállapításához megmértük a térfogatsűrűséget és a nedvességtartalmat. A szemcseméret eloszlás is fontos jellemzője a magmennyiségnek, viszont a jelenleg használt egyszerűsített anyagmodellben a szemcsék jellemző mérete a valós méret többszöröse és egyben mellőzi a szemcsék méreteloszlását. A térfogatsűrűség értéke alapján közvetve lehet beállítani a modell szemcséinek sűrűségét. A repcemag nedvességtartalma számottevően befolyásolja a fizikai és mechanikai tulajdonságokat [4]. Így a megállapított értékkel

jól jellemezhető a magminta, továbbá a szakirodalmi eredmények jó alapot adnak a mérési eredmények helyességének konstatálására.

A szemcsés anyag makromechanikai viselkedését a mikromechanikai tulajdonságai kölcsönzik. A DE modellbe mikromechanikai paramétereket kell megadni. Viszont az anyag mikromechanikai paramétereinek körülményes mérése nem volna célravezető, mivel a szemcsés anyagot természetes jellege miatt jellemzi az inhomogenitás, továbbá az így beállított anyagmodell az egyszerűsítésekből adódóan eltérő makromechanikai viselkedést mutatna. Ezért a DE anyagmodellt **kalibrációs** eljárással érdemes közelíteni a valós anyaghoz, mely során a cél egy ismert makromechanikai viselkedés szimulációval való fokozatos közelítése az anyagi paraméterek finomhangolásával.

Ennek értelmében a mechanikai viselkedés megállapítására ödométeres és nyíródobozos méréseket végeztünk. Az ödométeres vizsgálat során az anyagot egy Ø100x80-as tömörítőhengerbe helyezük, majd egy dugattyúval állandó axiális sebességgel komprimáljuk. A mérés során egységnyi időközönként rögzítésre kerül a dugattyúra ható erő és annak elmozdulása. Az különböző sebességű kompressziókból kapott nemlineáris növekvő grafikon az anyag egyes sebességekhez tartozó kompressziós görbét adja eredményül.

A nyíródobozos mérés során az anyag direkt nyírással szembeni ellenállását vizsgáljuk a nyírási síkra kifejtett terhelés mellett. A nyírókészülék egy felső rögzített és egy alsó elhúzható félből áll. A felső fél fedlapja helyén egy függőlegesen mozgatható, terhelt tömörítőlap van. Az alsó rész állandó sebességű elhúzásával megállapítható az összeállítás adott terheléshez tartozó nyírási ellenállása. A nyírókészülékkel mért adatok feldolgozása és szimulálása még folyamatban van, így jelen cikkben ezzel kapcsolatos eredmények nem szerepelnek.

A mérések terén szükségszerű elhanyagolásokat tettünk egyes fizikai illetve mechanikai jellemzők esetében. Ennek értelmében a repcemag-fal súrlódási együtthatókat nem mértük le az egyes készülékek belső falán, hanem a szakirodalomban fellelhető mérési eredmények alapján határoztuk meg [2][3][4]. Az ödométeres vizsgálatok során nem került sor ismételt kompresszióra a rugalmas és maradó alakváltozás tanulmányozásához, mivel a létrehozandó egyszerűsített anyagmodellhez ezen értékek nem szükségszerűek. Továbbá a termikus jellemzők mérésétől is eltekintettünk.

2.3 Ödométeres mérés szimulációja

A szimuláció célja megtalálni azon mikromechanikai beállításokat, melyekkel jól közelíthető a mérés során lejátszódó makromechanikai jelenség. Ehhez először létre kell hozni egy kiindulási modellt. A hatásfelületeket a tömörítőhenger Ø100x80-as belső hengerfelülete és alsó síklapja, továbbá a dugattyú nyomófelülete alkotja.

Az anyagmodell alapvetően az egyes részecskék érintkezésénél, azok relatív elmozdulása és az ébredő erő közötti összefüggést adja meg. Így meghatározható lineárisan rugalmas Coulomb-súrlódásos, de akár speciális képlékeny, illetve egyedi anyagmodell is. A nagy elemszámú DE szimulációknál a futtatási hosszt fokozatosan befolyásolja az alkalmazott kapcsolati modell komplexitása. Fontos, hogy az alkalmazandó anyagmodellt a kiválasztott jelenség szimulációjának jellege alapján kell létrehozni. Jelen esetben a csigás présmodell viszonylag alacsony sebességű kompressziójához. A kezdeti kalibrációs szimulációkban a fokozatos közelítés érdekében először **lineáris anyagmodell** lett közelítve a makromechanikai viselkedés. Ebben az esetben a kapcsolati modellt a normál és nyíró irányú merevségek és a részecskék közötti súrlódási együttható határozza meg. Mint az az alábbiakban kiderül, a kompressziós görbéjének megfelelő közelítéséhez végül nem volt szükség bonyolultabb kapcsolati modell alkalmazására.

Az egyszerű lineáris kapcsolatmodellel rendelkező kezdeti anyagmodell esetében egyenlőre nincs kitüntetett szerepe az anyag különböző kompressziós sebességekre való eltérő viselkedésének. Ezért a szimulációk csak a mért legnagyobb, 500 mm/min kompressziós sebességre lettek elvégezve.

2.4 Kalibráció

Előre feltételezhető, hogy az ödométeres mérés szimulációjánál az ellenállás legnagyobb része az elemek érintkezésénél a normálirányban ébredő erőből származik. Így vélhetőleg ezzel a szimulációval elsősorban a normálmerevséget lehet kalibrálni. Míg a nyíródobozos szimulációnál az elemek egymáson való elcsúszása miatt valószínűsíthetően az ellenállás legjelentősebb részét a nyírómerevség és a részecskék közötti súrlódási együttható adja, így ezen értékek kalibrálása is elvégezhető lesz.

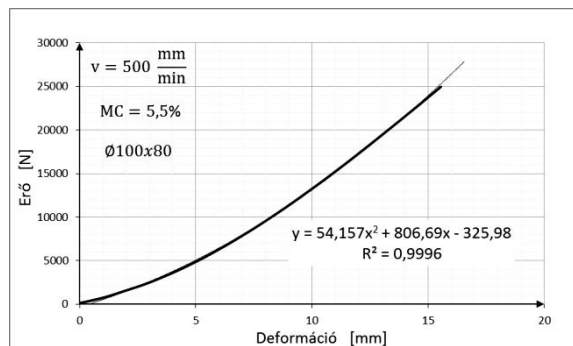
1. táblázat. Kezdeti anyagjellemzők és globális paraméterek

Paraméter	Érték
Normálmerevség	200 kN/m
Nyírómerevség	200 kN/m
Szemcseátmérő	7 mm
Szemcsesűrűség	1250 kg/m ³
Szemcse-szemcse sűrűlési együttható	0,2
Szemcse-fal sűrűlési együttható	0,2
Csillapítási együttható	0,7
Gravitációs gyorsulás	9,81 m/s ²

Az ödométeres szimulációnál a feltételezés felülvizsgálása érdekében két anyagi paraméter került változtatásra; a normálmerevség és a nyírómerevség. Így a futtatások eredményének a kiértékelésével megállapítható e két mennyiség és a kompressziós görbe alakulása közötti összefüggés. A szimulációval számított és a mérésrel kapott görbe összevetésének a legkézenfekvőbb módja az őket közelítő polinomok összehasonlítása. A mérési grafikon jól közelíthető egy másodfokú polinommal és ugyan ez megtehető a szimulált görbével is. Így tehát a kalibráció közvetlen célja a változó szimulációs paraméterek olyan kombinációjának megtalálása, melyek által produkált kompressziós görbének a közelítő másodfokú polinomja minél jobban közelíti a mért görbe másodfokú polinomját. A másodfokú polinom esetében a függvény értéke legjobban a négyzetes tag együtthatójától függ. Ennek értelmében a kalibráció során elsősorban a közelítő függvények másodfokú tagjának együtthatóival kell közelíteni a mérési görbe polinomjának másodfokú tagjához tartozó együtthatóját. A másik két együttható kisebb jelentősége miatt nem a legkisebb négyzetek módszerén alapszik a szimulációval kapott görbe közelítő függvényének és a mérési görbének az összehasonlítása. A kalibráció során a kezdeti normálmerevséget 100 kN/m-es egységenként változtatva került fokozatos közelítésre a keresett optimális érték. Majd a helyes tartomány megtalálása után, fokozatosan a tartomány felének megfelelő értékre lett állítva a normálmerevség. A szimulációk minden egyes beállított normálmerevségnél három különböző; 100, 200 és 300 kN/m-es nyírómerevségekkel lettek lefuttatva. Végül 18 futtatásra került sor.

3. EREDMÉNYEK

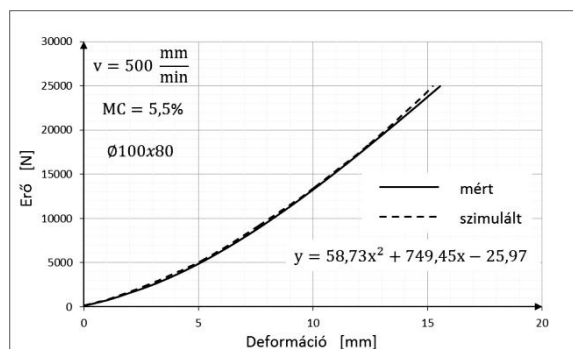
A kompressziós mérés átlagolt eredménye és a görbe másodfokú polinom közelítő függvénye az 1. ábrán látható. Az R^2 egyhez közeli értéke is mutatja, hogy a függvény jól közelíti a mérési görbét. Tehát magasabb fokú polinom alkalmazása nem indokolt.



1. ábra. Repcemag erő-deformáció diagramja tömörítőhengerben végzett kompressziósnál

A kapott görbét leginkább jellemző érték a másodfokú tag együtthatója, az 53,157 érték. A többi együttható kevésbé befolyásolja a függvényértékeket. A negatív konstans érték nullától való eltérését is elhanyagoljuk.

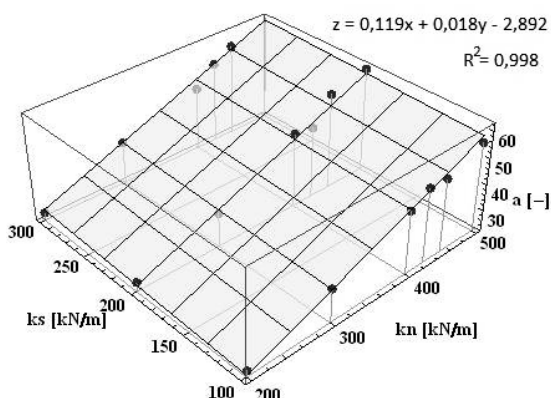
A kalibráció során a fokozatos közelítés érdekében a következő sorrendben lettek megadva a normálmerevség értékek: 200, 300, 400, 500, 450, 425 kN/m. A manuálisan kiválasztott legmegfelelőbbnek ítélt közelítést a $k_n=450$ kN/m és $k_s=200$ kN/m beállítás adta, melyet a 2. ábra mutat.



2. ábra. A manuális kalibráció eredményeként kiválasztott szimulációs görbe és a közelítő polinomjának egyenlete, illetve a mérési görbe

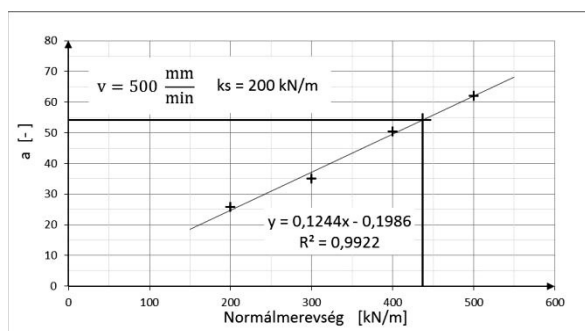
Az egyes normál- („ k_n ”) és nyírómerevség („ k_s ”) értékek kombinációival elvégzett szimulációkból kapott görbék másodfokú közelítéséből adódó négyzetes tagok együtthatóit („ a ”) háromtengelyű koordináta-rendszerben lehetett ábrázolni.

Kivehető volt az együttható és a merevségi értékek közötti lineáris összefüggés, így egy síkfelület függvényével közelítettük a kapott ponthalmazt, melyet a 3. ábra mutat.



3. ábra. A szimulált kompressziós görbét közelítő másodfokú polinomok négyzetes tagjainak együtthatói (a) a normál- (kn) és nyírómerevségek (ks) függvényében

A függvény jól mutatja, hogy a nyírómerevség értékétől csekély mértékben függ a vizsgált együttható. Tehát a közelítés megvalósítható olyan függvénnyel is ahol az együttható értékét függetlenítjük a nyírómerevségtől. Így valójában már elegendő a kéttengelyű koordináta-rendszerben való ábrázolás. Ez alapján bizonyosságot nyer, hogy az ödométeres kalibrációs futtatásokat elég egy kiválasztott nyírómerevségi érték mellett (200 kN/m), csupán a normálmerevséget változtatva elvégezni. Elegendő lett volna 200, 300, 400, 500 kN/m-es normálmerevségekkel elvégezni a szimulációkat, amik alapján közelítő függvény segítségével kiszámítható, hogy a másodfokú polinom négyzetes tagjának együtthatója alapján milyen normálmerevség mellett kapjuk meg legvalószínűbben a kívánt kompressziós görbét (4. ábra).



4. ábra. A szimulációs kompressziós görbét közelítő másodfokú polinomok négyzetes tagjainak együtthatói (a) a normálmerevségek függvényében, állandó nyírómerevség mellett

Tehát a diagram alapján a mérési görbét közelítő másodfokú polinom $a=53,157$ -es értékhez tartozó normálmerevség $kn=437$ kN/m.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A DEM használatával, kalibrációs szimulációk segítségével sikerült olyan DE anyagmodellt létrehozni, mely jól közelíti az ödométeres kompresszió során tapasztalt mechanikai viselkedést. Bebizonyosodott, hogy a kompressziós vizsgálat szimulációja során az ellenállást legnagyobb mértékben az egyes elemek kapcsolatánál létrejövő normálerők határozzák meg a nyíróerőkkel ellentétben. Ennek értelmében a vizsgálat szimulációja alkalmas a normál irányú kapcsolat kalibrációjára. A létrehozott anyagmodell további pontosításához a nyíródobozos mérés kalibrációs szimulációinak a futtatása szükséges, mely során a nyírómerevséget és az elemek közötti súrlódási együtthatót is be lehet állítani.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a mérésekhez szükséges eszközök biztosításáért a gödöllői VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézetnek és a szoftveres támogatásért a BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszéknek.

6. IRODALOM

- [1] Cundall P.A., Strack O.D.L., A discrete numerical model for granular assemblies. Geotechnique, 29 (1), 47-65, 1979.
- [2] Izli N., Unal H., Sincik M., Physical and mechanical properties of rapeseed at different moisture content, International Agrophysics, 23 (2), 137-145, 2009.
- [3] Calisir S., Marakoglu T., Ogut H., Ozturk O., Physical properties of rapeseed (Brassica napus oleifera L.), Journal of Food Engineering, 69 (1), 61-66, 2005.
- [4] Boac J.M., Casada M.E., Maghirang R.G., Harner J.P. III, Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modeling discrete particles, Transactions of the ASABE, 53 (4), 1201-1216, 2010.
- [5] Sitkei György, A mezőgazdasági anyagok mechanikája, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.