

# Termékfejlesztés fröccsöntési és szerkezetintegritási szimulációkkal

## Product development with injection moulding and structural integrity simulations

CSÖRGŐ Zsombor László<sup>1</sup>, Dr. KOVÁCS Sándor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>kutató, <sup>2</sup>vezető kutató

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., H-3519 Miskolc, Iglói u. 2., +3646560110,

<http://www.bayzoltan.hu>

email: <sup>1</sup>[zsombor.csorgo@bayzoltan.hu](mailto:zsombor.csorgo@bayzoltan.hu), <sup>2</sup>[sandor.kovacs@bayzoltan.hu](mailto:sandor.kovacs@bayzoltan.hu)

### Abstract

*The innovative polymer technology work has involved the development of a marketed product using biodegradable polymers. We have built up injection moulding and structural integrity simulations of the product, in which the manufacturing parameters have been optimised. The force required for destructive failure was determined by different material models.*

**Keywords:** biopolymer, simulation, injection moulding, finite element, optimisation

### Kivonat

*Az innovatív polimertechnológiai munkafolyamataink folyamán egy piacon lévő termék fejlesztésével foglalkoztunk, amelyhez biológiailag lebomló polimereket alkalmaztunk. Felépítettük a termék fröccsöntési és szerkezetintegritási szimulációját, melyekben optimalizálásra kerültek a gyártási paraméterek. Meghatározásra került a roncsolásos tönkremenetelhez szükséges erőhatás mértéke a különböző anyagmodellek esetében.*

**Kulcsszavak:** bioműanyag, szimuláció, fröccsöntés, végeelem, optimalizálás

## 1. BEVEZETÉS

Az innovatív polimertechnológiai kutatásokkal foglalkozó fejlesztéseink során két komponensű biokompozitokat állítottunk elő. A kompozitok mátrixát politejsav alkotta, melyhez kétféle tömegszázalékban kukoricacsutka őrleményt kevertünk. Ezen biológiailag lebomló polimerek alkották a kutatásaink alapját. Fröccsöntési szimulációk segítségével optimalizálásra kerültek a fröccsöntési paraméterek a bioműanyagok használatával. A munkafolyamatok során egy termék fejlesztése valósult meg szoros együttműködésben a Borsod Plasztik Kft.-vel. Az általuk forgalmazott termék fejlesztését és a hozzá kapcsolódó gyártástechnológia tervezését valósítottuk meg. Első lépésben elkészítettük a gyártmány háromdimenziós modelljét, majd ezután felépítettük a fröccsöntési és a végeelemes szimulációkat. Reprodukáltuk a termék fröccsöntését, és ezt követően a bioanyagok is alkalmazásra kerültek a szimulációkban. Ennek mintájára optimalizálásra kerültek a fröccsöntési beállítások. A munkafolyamat során a termék karakterisztikus terheléseként két roncsolásos szerkezetintegritási vizsgálati módszer került kidolgozásra, melyhez elkészültek a végeelemes szimulációk. A vizsgálatok során a termék tönkremeneteléhez szükséges erő meghatározása volt a célfüggvény. A kapott eredmények alapján javaslatot tettünk a termék biokompozittal történő előállításához.

## 2. BIOPOLIMEREK ELŐÁLLÍTÁSA

Megalkottunk egy biológiailag lebomló, mezőgazdasági termékkel kevert politejsav (PLA) mátrixú polimert többféle összetételben. A politejsavhoz kukoricacsutka őrleményt kevertünk 5 és 10 tömegszázalékban, melyekkel a termékfejlesztés folyamán foglalkoztunk. Elkészítettük az anyagmodelleket a mátrix és töltőanyagok esetében, melyekből reverse engineering módszerrel elkészítettük az anyagminőségek

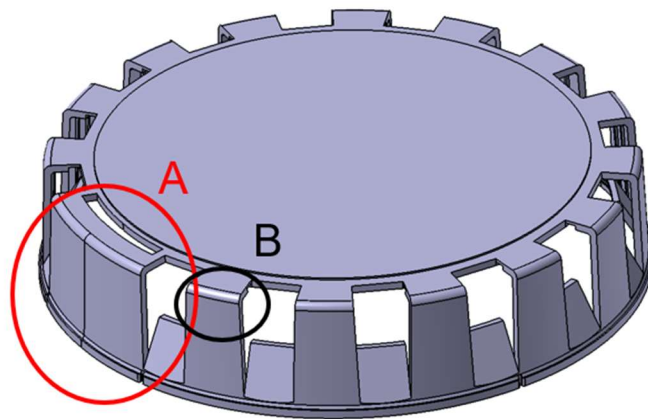
feszültség-nyúlás alakváltozási görbéit. Kimérésre kerültek a biokompozitok anyagjellemzői, melyek ismeretében előállítódott egy anyagfájl, amit a Moldex3D szoftverbe tudtunk importálni a fröccsöntési szimulációkhoz.

### 3. A FEJLESZETT TERMÉK

A Borsod Plasztik Kft. a magyar műanyagfeldolgozó ipar szereplőjeként modern gépparkkal gyártják kiváló minőségű termékeiket. Kiemelt produktumuk a KEG fedél, amelyet kifejezetten a söripari szektor számára fejlesztettek ki. Együttműködésünk során ennek a terméknek a fejlesztése valósult meg. Az innováció és a fenntarthatóság jegyében közösen dolgozunk egy környezetbarát, biológiailag lebomló KEG fedél megalkotásán. Az új termék lebomló alapanyagból készül, amely jelentősen hozzájárul az egyszer használatos műanyagok környezeti terhelésének csökkentéséhez.

### 4. A FRÖCCSÖNTÉSI SZIMULÁCIÓ

Háromdimenziós fröccsöntő CAE szimulációkat valósítottunk meg a Moldex3D szoftver segítségével. Előállítottuk a KEG fedél háromdimenziós modelljét, melyet az első ábra szemléltet. A modell felhasználásával a partner cégnél alkalmazott fröccsöntéshez hasonlóan építettük fel a szimulációinkat. A fedél 3D-s modelljének importálását követően definiáltuk a folyékony műanyag betöltésének beállításait, kijelöltük a fröccsöntött termék meglövési pontját. A „melt inlet” beállítási opciót választottuk, amely egyszerűbb futtatásokat eredményezett.



1. ábra: KEG fedél háromdimenziós modellje és kritikus részei: A: nyitófül, B: fogak

A szimulációk felépítésénél a szerszám geometriájának pontos modellje nem állt a rendelkezésünkre, így a „moldbase” beállítást használtuk, amellyel a továbbiakban is a valós gyártási folyamatnak megfelelő eredményeket kalkuláltunk ugyanakkor a szimulációk lefutási idejét jelentősen lecsökkentette. A fröccsszerszám hűtését egy egyszerűsített modellel oldottuk meg, amelynél 8 darab 4 milliméter átmérőjű hűtőcsatorna fut végig a modell alatt és felett. A hűtésre 20 °C-os vizet definiáltunk. A felépített szimulációs modell végelesemes hálójának az elkészítése volt a következő lépés, amely a 2. ábrán látható. A Moldex3D szoftverben egy automata hálógenerálás történik. A modellen egy 5 rétegű BLM (Boundary Layer Mesh) hálózási technikát alkalmaztunk. Ennek a hálózásnak az előnye, hogy lehetőség van a fröccsöntött alkatrész és a szerszám inzerterek deformációjának vizsgálatára is. A végelesemes hálót sűrű beosztással készítettük el, a minél pontosabb számítási eredmények érdekében.

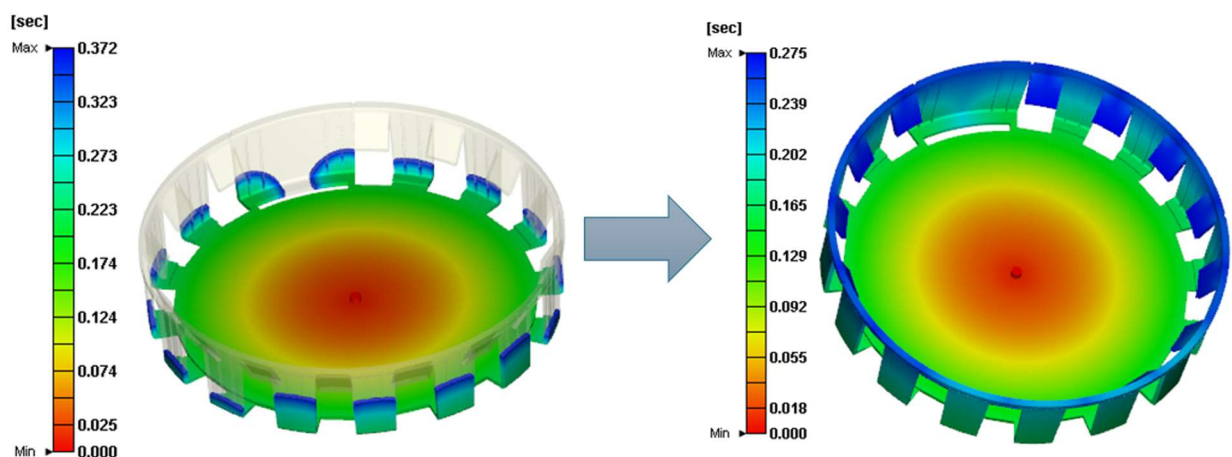


2. ábra: Végelelemes háló Moldex3D szoftverben

## 5. FRÖCCSÖNTÉSI SZIMULÁCIÓK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

A szimulációkat első körben polisztirol anyagminőséggel végeztük el, mellyel az eredeti termék készül. A Moldex3D adatbázisából kiválasztottunk egy általános célú merev, átlátszó, hőre lágyuló polisztirolt, mely paramétereiben megfelelt az eredeti anyagminőségnek. Viszkózitási értéke 16g/10 min MFI volt. A fröccsöntési konfigurációk esetében pedig a partner által alkalmazottakat állítottuk be.

A következő lépésben ugyanezen megalkotott szimulációs folyamatot futtattuk le az általunk készített politejsav anyagminőséggel. A politejsav a polisztirolhoz képest sokkal ridegebb anyag és viszkozitása is nagyobb, ebből adódóan rosszabb folyási tulajdonsággal rendelkezik olvadék állapotban. A vizsgálatok során ugyanazon fröccsöntési beállításokat alkalmaztuk, mint az első lépésben. A szimulációból levonható következtetés, hogy a fészek kitöltése nem valósult meg, így optimalizálni kellett a fröccsöntési paramétereket. Meghatároztuk a szükséges fröccsnyomást és fröccsöntési sebességet a politejsav anyag esetében. Az optimalizált fröccsöntési beállításokkal a szimulációk már problémamentesen lefutottak.



3. ábra: Sikertelen (balra) és sikeres (jobbra) üregkitöltés a politejsav anyaggal

Az utolsó lépésben a fejlesztett kukorica – PLA biokompozittal végeztük el ezen fröccsöntési szimulációkat. A tapasztalatok alapján, és a nagymértékű PLA tartalom alapján a fröccsöntési beállításokon radikálisan nem változtattunk. A kapott eredmények tekintetében a tiszta PLA és a töltöttséggel rendelkező anyagminőségek esetében jelentős eltérések nem voltak, így ezt a két anyagminőséget egyként tudtuk kezelni a szimulációkban. Az első táblázatban az alkalmazott fröccsöntési beállítások láthatóak a különböző anyagoknál.

Applikált fröccsöntési beállítások

1. táblázat

| Anyagminőségek                     | Polisztirol             | Politejsav, biopolimerek |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Áramlási sebesség                  | 25 cm <sup>3</sup> /sec | 35 cm <sup>3</sup> /sec  |
| Dugattyú pozíció                   | 8 mm                    | 10 mm                    |
| Kitöltési idő                      | 0.335 sec               | 0.275 sec                |
| Befecskezendés maximális sebessége | 18.94 mm/sec            | 26.51 mm/sec             |
| Befecskezendés maximális nyomása   | 21.5 MPa                | 60 MPa                   |
| Utónyomás                          | 20 MPa                  | 20 MPa                   |
| Utónyomás ideje                    | 1.2 sec                 | 1.2 sec                  |
| Olvadási hőmérséklet               | 220 °C                  | 200 °C                   |

### 5.1. Fröccsöntési eredményekből levont következtetések

A lefutott fröccsöntési szimulációk kiértékelése után összehasonlítottuk az eredményeket a különböző anyagminőségek esetén. Egy ilyen kiemelt paraméter a fröccsnyomás volt, melynél fontos pont a fröccsöntési út nyomásesése is. A polisztirol anyagnak a maximális fröccsnyomása körülbelül harmada a politejsav mátrixú anyagokhoz képest. A legnagyobb értéket az 5 m/m% töltöttségű kukorica – PLA keveréknél tapasztaltuk. A szimulációs eredményekből a záróerő értékét vizsgáltuk még kiemelten, mely a folyékony műanyag ömledék szerszám zárósíkján kifejtett erőt mutatja. A tendencia ebben is megfigyelhető az anyagok különbségében, mint a fröccsnyomásnál. A legnagyobb záróerő értéket az 5 m/m% kukorica – PLA biokompozitnál tapasztaltuk. A számszerűsített értékeket a 2. táblázat tartalmazza.

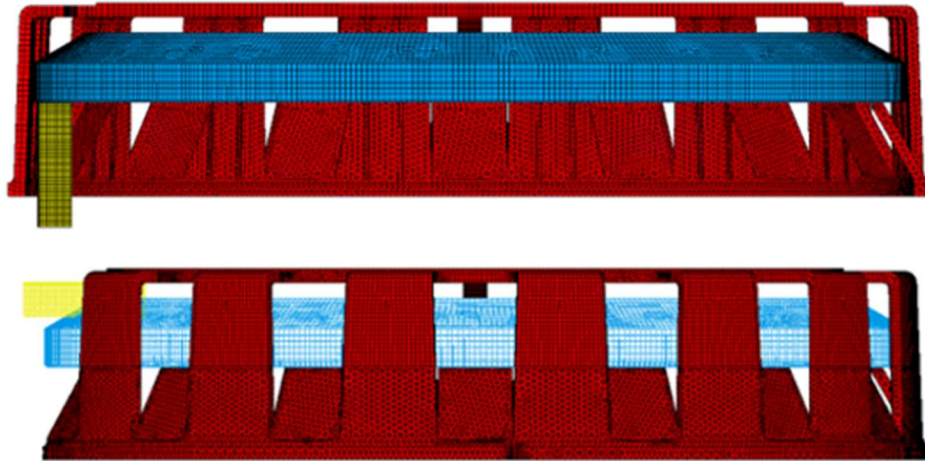
Maximális fröccsöntési eredmények

2. táblázat

| Anyagminőségek     | Fröccsnyomás | Záróerő     |
|--------------------|--------------|-------------|
| PS                 | 21.4 MPa     | 70607.88 N  |
| PLA                | 55.5 MPa     | 169655.05 N |
| 5% Kukorica + PLA  | 59.8 MPa     | 180442.36 N |
| 10% Kukorica + PLA | 53.9 MPa     | 161809.73 N |

## 6. SZERKEZETINTEGRITÁSI SZIMULÁCIÓ FELÉPÍTÉSE

A KEG fedél végeselemes szerkezetintegritási szimulációja során kétféle roncsolásos vizsgálati módszert vizsgáltunk, amely a felhasználás során jelentkeznek, ezekhez elkészültek a végeselemes modellek. A fedél - melyet az 1. ábra szemléltet - két legfontosabb része a nyitófül, amelyet nyitás során először le kell törni, majd a lap nyitásával a fogakat kell feltörni. A vizsgálatok során az ezekhez szükséges erő meghatározása volt a célfüggvény. A munka során először az eredeti polisztirol anyaggal történtek meg a vizsgálatok, amellyel validálni lehetett a végeselemes modellt. A második szakaszban a fejlesztett 5 és 10 m/m% kukoricával kevert politejsavval készültek el a szimulációk. A végeselemes modell három kontakt testet tartalmaz, melyeket a fedél végeselemes hálójával együtt a 4. ábra szemléltet. Az alátámasztás és a terhelő szerszám merev felületekként lettek definiálva, melyek érintkeznek a végeselemes hálóval rendelkező fedéllel. A terhelő szerszámot mindkét esetben egy csomópont vezérli a szerkezetintegritási szimulációk folyamán.

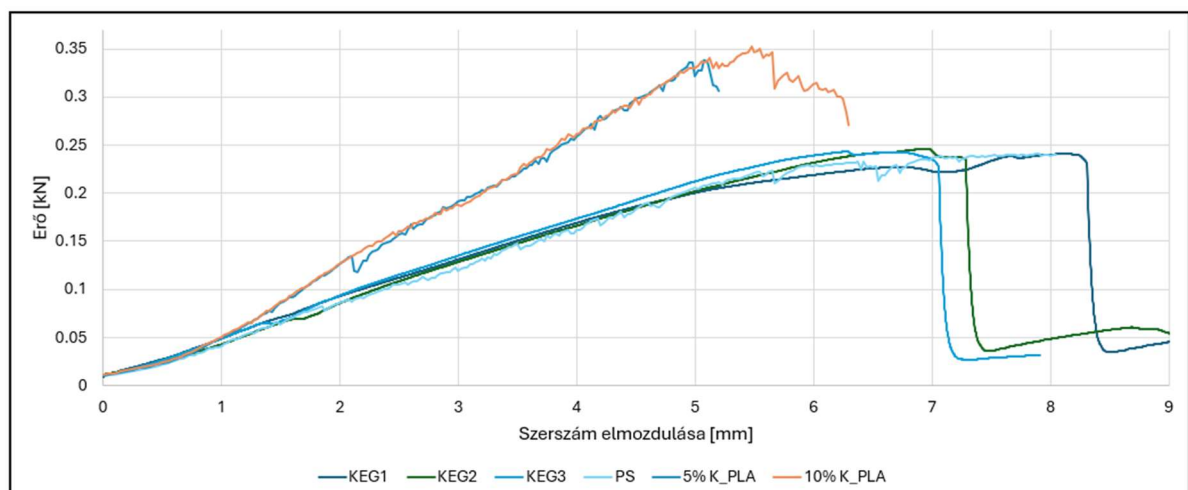


4. ábra: Végeselemes modell három része (piros: fedél, kék: alátámasztás, sárga: terhelő szerszám)  
 Felül: Nyitófül vizsgálatához  
 Alul: Lapfelnyitás vizsgálatához

## 7. VÉGESELEMES SZIMULÁCIÓK EREDMÉNYEI

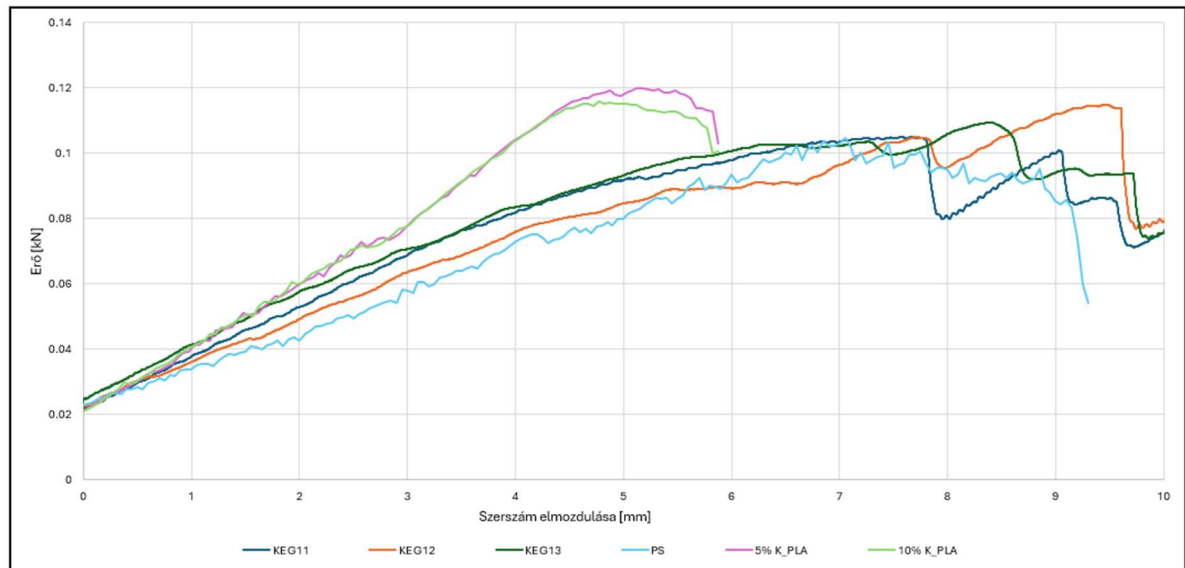
A feladat során a sebességfüggő anyagtulajdonság megállapítása mellett több paraméter is vizsgálatra került: a súrlódási tényező a műanyag és fém között, a szerszám orientációja, a megtámasztás orientációja, a szerszám elhelyezkedése és a megtámasztás geometriai bizonytalansága. Megállapítható volt, hogy a nem sebességfüggő tulajdonsággal rendelkező anyagmodellek nem alkalmasak a szimulációkhoz.

A polisztirol anyaggal megtörtént a szimulációk validációja a mérésekkel egybevetve, így a modell felhasználható a biokompozitok vizsgálatához mindkét roncsolásos esetben. Az 5. ábra mutatja a nyitófül felnyitásához szükséges erőt a szerszám elmozdulásának függvényében. A biokompozit anyagok esetében nagyobb erő szükséges a tönkremenetelhez. Hasonló eredményt kaptunk a lapfelnyitás vizsgálatánál, amelynek erő – elmozdulás diagramját a 6. ábra szemlélteti. Nagyobb erő szükséges a biokompozit anyagok esetében, viszont a töréshez szükséges szerszám-elmozdulás csökkent a polisztirolhoz képest.



5. ábra: Erő-elmozdulás görbék a polisztirol mérésekkel, polisztirol és biopolimer szimulációkkal a nyitófül tönkremenetele során

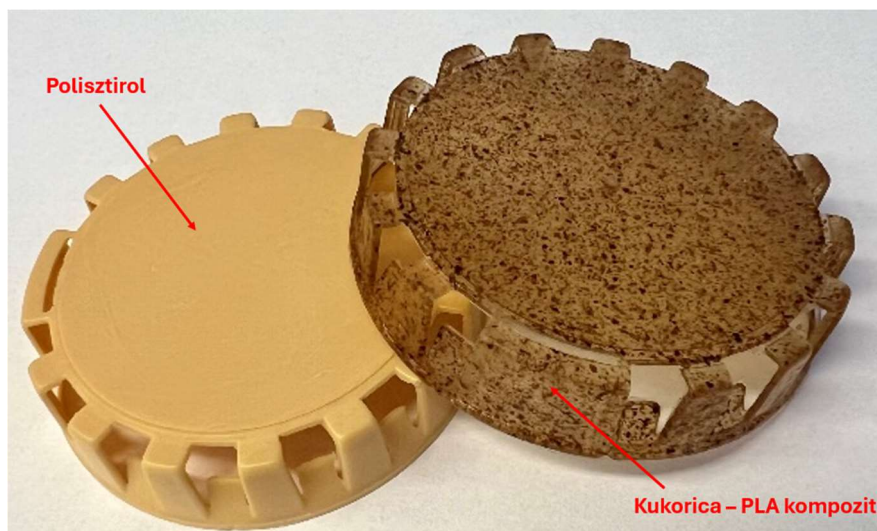




6. ábra: Erő-elmozdulás görbék a polisztirol mérésekkel, polisztirol és biopolimer szimulációkkal a lapfelnyitás elemzése esetén

## 8. TERMÉKFEJLESZTÉS EREDMÉNYE

A fröccsöntési és szerkezetintegritási szimulációk eredményeiből és tapasztalataiból levonható következtetésekkel megalkottunk egy jól alkalmazható vizsgálati eljárasmódot a termék fejlesztéséhez. Ajánlásaink alapján a KEG fedél gyártó partnerünk sikeresen előállította a terméket a biodegradábilis kompozit anyagminőségből, mely a 7. ábrán látható.



7. ábra: Fröccsöntött KEG fedelek

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Project no. TKP2021-NKTA-07 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the TKP2021-NKTA funding scheme.

A TKP2021-NKTA-07 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.