

BIOLÓGIAILAG LEBOMLÓ POLIMERBŐL TERVEZETT TERMÉKEK FRÖCCSÖNTÉS SZIMULÁCIÓJA ÉS VÉGESELEMES ANALÍZISE

Suhaj Anett

hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: anettsuhaj@gmail.com

Spisák Bernadett

hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki Kar
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: spbetti24@gmail.com

Absztrakt

Jelen cikk keretében egy biológiailag elbomló polimerből tervezett termék fröccsöntési folyamatának szimulációs és végeselemes vizsgálatára mutatnak be példát a szerzők. A szimulációk során kapott eredményekből arra a következtetésre jutottak, hogy a választott biológiailag lebomló polimer megfelel a vizsgált termékek alapanyagaként.

Kulcsszavak: biológiailag elbomló polimer, fröccsöntés, eldobható borotva

Abstract

Within the frame of this paper, the authors present an example of a simulation and finite element study of the injection moulding process of a product designed from a biodegradable polymer. From the results obtained during the simulations, it was concluded that the chosen biodegradable polymer is suitable as a raw material for the tested products.

Keywords: biodegradable polymer, injection moulding, disposable razor

1. Bevezetés

Napjainkban a műanyagok felhasználása rendkívüli ütemben növekszik. Kedvező tulajdonságaiból adódóan a különböző iparágak széles körben alkalmazzák. Világszerte évenként átlagosan 300 millió tonna műanyagot termelnek. Ennek 50%-ából eldobható termékek készülnek, amelyek rendkívül nagy lebomlási idővel rendelkeznek, így a világ hulladékterhelésének nagy részét a műanyagokból készült termékek adják [1]. A probléma egyik lehetséges megoldása lehet olyan műanyagok használata, amelyek biotikus környezetbe helyezve, vagy komposztálva a környezetre ártalmatlan, természetes anyagokra bomlanak.

2. Biopolimerek

A bio-alapú polimerek előállítása teljes egészében növényi vagy állati eredetű biomassza felhasználására épül. Általában ezek olyan növények, melyek nagy mennyiségben tartalmaznak egyszerű, könnyen átalakítható szénhidrátokat, mint például a cukor és a keményítő. Ezek közé a növények közé tartozik a cukornád, a búza és a kukorica. A biológiailag lebomló anyagok a természetben megtalálható mikroorganizmusok közreműködésével lebonthatók egyszerű, kis

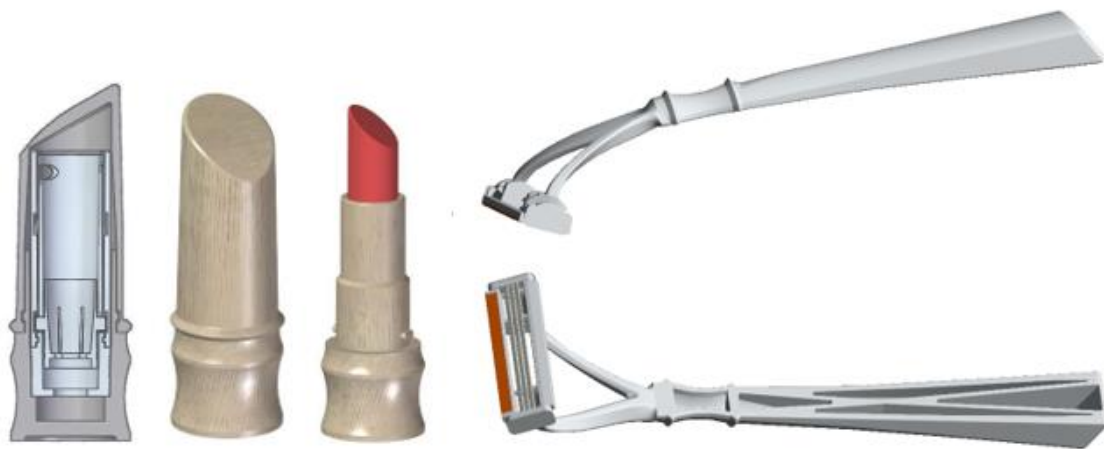
molekulájú vegyületekre, vízre, széndioxidra, valamint az élő szervezetek által hasznosítható egyéb anyagokra [2].

Politejsav (PLA)

A politejsavat, röviden PLA-t biológiai alapú anyagokból, például búzából, kukoricából és cukorrépából kivont keményítőtől vagy cukorból állítják elő. A PLA jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, zsugorodása csekély, azonban rideg és az ütőszilárdsága kicsi. Feldolgozható a hagyományos polimer feldolgozási technológiákkal (pl.: fröccsöntés, vákuumformázás, palackfűvés). Lebomlásakor víz, humusz és szén-dioxid keletkezik, így nem szennyezi a környezetet. Lebomlása komposztban ($T > 60^{\circ}\text{C}$) néhány hónap alatt végbemegy. Biotikus környezetben nem bomlik, szobahőmérséklet mellett szinte teljesen stabil, így a belőle készített termék hosszútávon használható marad [3], [4]. Az eddigiekben említett kedvező tulajdonságai miatt a tervezett termékek anyagaként a PLA-t választottuk.

3. A termékek modellezése

Általában az emberek nincsenek tisztában a kozmetikai eszközök élettartamával. Gyártótól függően a rúzs szavatossága 1-2 év. Az eldobható borotva nemtől függetlenül széles körben használt termék, amely forgalomba kerülése után rövid használati idővel rendelkezik. Ezekből a termékekből nagy mennyiségű hulladék képződik, ezért ezek anyagának megváltoztatásával nagymértékben csökkenthetjük az ökológiai lábnyomot. Az 1. ábra a borotva és rúzs geometriáját szemlélteti.



1. ábra. A rúzs és a borotva 3D modellje.

Polimerből készült termékek esetében a leggyakrabban alkalmazott gyártástechnológiai eljárás a fröccsöntés, ezért mi is ezt az eljárást választottuk. A tervezés során figyelembe vettük a fröccsönthetőség érdekében alkalmazandó konstrukciós előírásokat. Fontos az oldalferdeség alkalmazása, illetve az egyenletes falvastagság biztosítása.

4. Fröccsöntés

A fröccsöntés egy olyan gyártási technika, amellyel különböző geometriájú alkatrészek állíthatók elő polimer anyagokból. Széles körben használt ipari termelésnél. Fröccsöntéssel viszonylag gyorsan és nagy számban is lehetséges bonyolult komponensek előállítását.

A fröccsöntés szimuláció elmélete

A szimulációk elvégzéséhez a Moldex3D szoftvert alkalmaztuk. A számítógépes fröccsöntési programok általában három fő egységből állnak, amelyek a grafikus tervezőprogram, a folyamat szimulációs program és a polimerek tulajdonságait tartalmazó adatbázis. Az első részben adható meg a termék geometriája. A fröccsöntési szimulációs programrészt részekre osztásos vagy végeselemes módszerrel vizsgálja a fröccsöntési folyamat során kialakult hő- és áramlási viszonyokat. A részekre osztásos módszernek az a lényege, hogy a program a bonyolult geometriájú szerszámot egyszerűbb részekre osztja szét, és az elemi utakra számítja ki a megfelelő egyenleteket. A végeselemes módszer segítségével ennél jóval pontosabb eredményeket kaphatunk, azonban a számítási igény is megnő [5]. A szimuláció során a gyártástechnológiai folyamat különböző szakaszai egymást követően egyszerre, de akár külön-külön is elemezhetőek. Ilyen folyamatok a kitöltés, az utónyomás, a hűtés és a deformáció. Eredményül a zsugorodás- és a vetemedés mértékét, a hegedési vonalak- és a légbuborékok helyét, az ömledékfrontnál lévő hőmérsékletet és a beömlő csatornáknál lévő hőmérsékletet kapjuk meg.

Az összecsapási vonalak akkor keletkeznek, amikor a szerszámüregben a térkitöltés során a polimer ömledékfrontok találkoznak. Az így kialakuló határfelületek kis szilárdsággal rendelkeznek, csökkentve ezzel a termék mechanikai tulajdonságait. Az összecsapási vonalak továbbá esztétikailag is ronthatják a termék minőségét, ugyanis a hegedési vonal mentén szemmel látható üregek is képződhetnek. Az összecsapási vonalak nem minden esetben jelentenek problémát. Ha az ömledékfrontok találkozásánál keletkező szögek nagyobbak, mint 45° , akkor a szerkezet megfelel az előírásoknak, azonban, ha ennél kisebb a hegedési szög, akkor szükség van a paraméterek megváltoztatására.

Fröccsöntés során problémát jelenthet továbbá a termék vetemedése. Vetemedés közben a darab méretei megváltoznak, de nem mindenhol azonos mértékben, a nagyobb keresztmetszetekben nagyobb mértékű alakváltozás jön létre. A vetemedést a geometria, a forma, a folyamat, és az anyag változtatásával befolyásolhatjuk [6], [7].

A fröccsöntés szimuláció

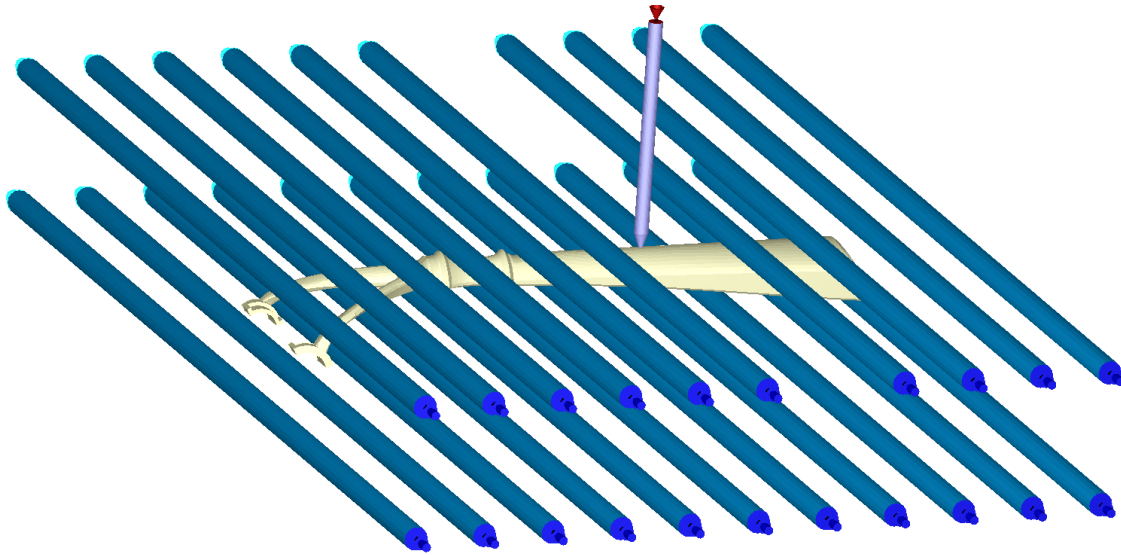
A szoftver a fröccsöntési szimulációt két nagy részre osztja szét, a tervezési és az analízis szakaszra. A tervezési szakasz magában foglalja az alapbeállításokat és a hálózást, amelyeket a Moldex3D Designerben készítettünk el. A geometria importálása és a beömlőnyílás elhelyezése után hűtőcsatorna rendszert definiáltunk a fröccsöntő szerszámhoz, melyet a 2. ábra szemléltet.

Ezek után következett a szerkezet hálózása. A pontosabb eredmények elérése érdekében a felületek közelében sűrűbb hálót alkalmaztunk. A borotva hálózását a 3. ábra mutatja be.

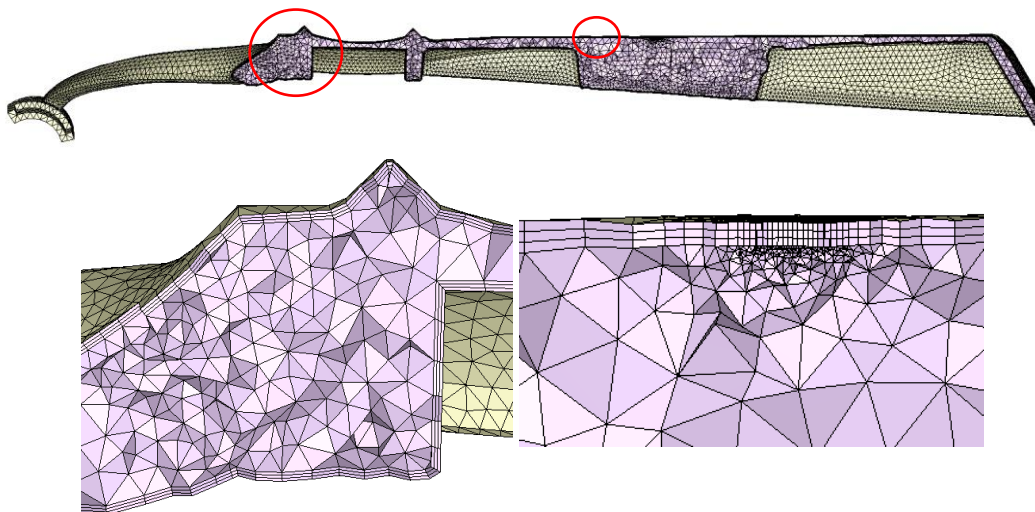
A technológiai folyamat paramétereinek beállítása után következik az analízis típusának a beállítása, amelynél a kitöltést, az utónyomást, a hűtést és a vetemedést vizsgáltuk. Egy fészkes szerszám esetén a kitöltési idő 0,263 másodperc.

Az eredményeket kiértékelve a hegedési vonalak szöge minden esetben meghaladta a 45° -ot, így nem rontják a darab mechanikai tulajdonságait. A legnagyobb mértékű vetemedés a borotvaszár elágazó végén található illesztő felületnél keletkezett (4. és 5. ábra). A deformáció maximális értéke 1 mm, amely ilyen kisméretű geometria esetén nem megfelelő, mivel ezen a területen pontos illeszkedésre van

szükség. Tehát a későbbiekben szükséges a vetemedés optimalizálása. A hűlés 30 másodpercet vett igénybe. A nyaki részen kétszer annyi időre van szükség a lehülésre, mint bármely más részen, ezért ezen a területen nagyobb mértékű hűtés használata ajánlott.



2. ábra. A hűtőcsatorna rendszer elrendezése.



3. ábra. A borotva hálózása.

A rúzs minden alkatrészére szintén elvégeztük a fröccsöntés szimulációt. A beállítások megegyeznek a borotva esetében használtakkal, ezért csak a szimulációk eredményeit mutatjuk be, amelyeket az 1. táblázat szemléltet.

1. táblázat. A fröccsöntés szimuláció során kapott eredmények az egyes rúzs alkatrészekre.

	1	2	3	4	5
Kitöltési idő [s]	0,193	0,101	1,509	0,101	0,139
Hűlési idő [s]	34,813	6,366	6,366	6,06	12,942
Összecsapási vonal minimális szöge	-	143,908°	89,045°	144,141°	32,891°
Maximális vetemedés [mm]	0,201	0,128	0,0494	0,0942	0,367

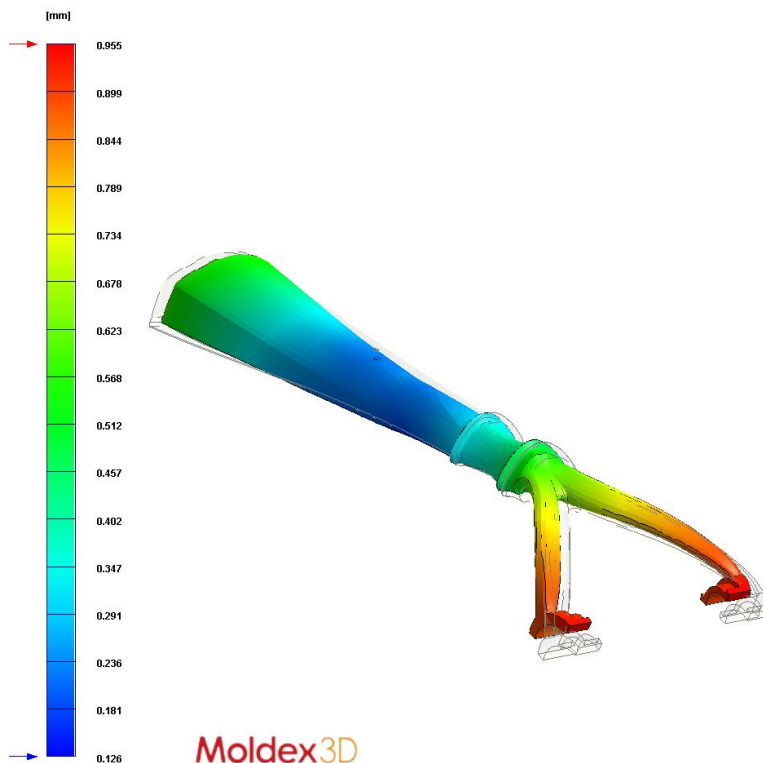
Az 5. alkatrész esetében az összecsapási vonalak minimális szöge 45° alatti, így ebben az esetben szükség van az előbbieken már említett paraméterek megváltoztatására. Jól látható, hogy a vetemedés értéke minden esetben 1 mm alatt marad és egyenletesen megy végbe, ezért ezek az alkatrészek a vetemedés szempontjából megfelelnek (4. és 5. ábra).

5. Végelem szimuláció

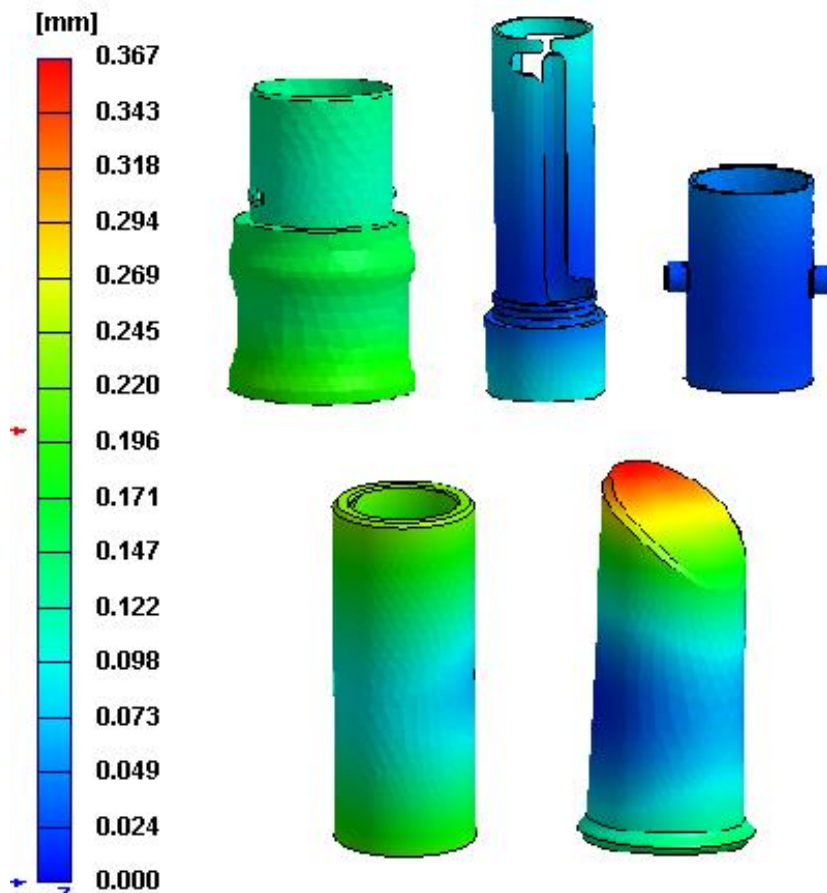
A terhelések hatásait végelem szimuláció segítségével vizsgáltuk meg.

Végelem szimuláció elmélete

A végelem módszer egy olyan számítógéppel segített mérnöki módszer, ahol közelítő numerikus megoldók segítségével meghatározhatjuk a fizikai rendszerek külső erők hatására adott válaszát. Alapja a virtuális munka elve.



4. ábra. A borotva és a rúzsalkatrészek vetemedésének mértéke.



5. ábra. A borotva és a rúzsalkatrészek vetemedésének mértéke 2.

A szerkezeteket nagyszámú, kisméretű idealizált diszkrét részekre bontjuk, melyek csomópontokon keresztül csatlakoznak egymáshoz. Egy végelemes analízis során általában több ezer egyenletet oldunk meg számítógépek segítségével egyidejűleg azért, hogy például egy szerkezeti analízis során meghatározzuk az ismeretlen mennyiségeket, mint az elmozdulás, szögelfordulás, vagy az alakváltozás és feszültség.

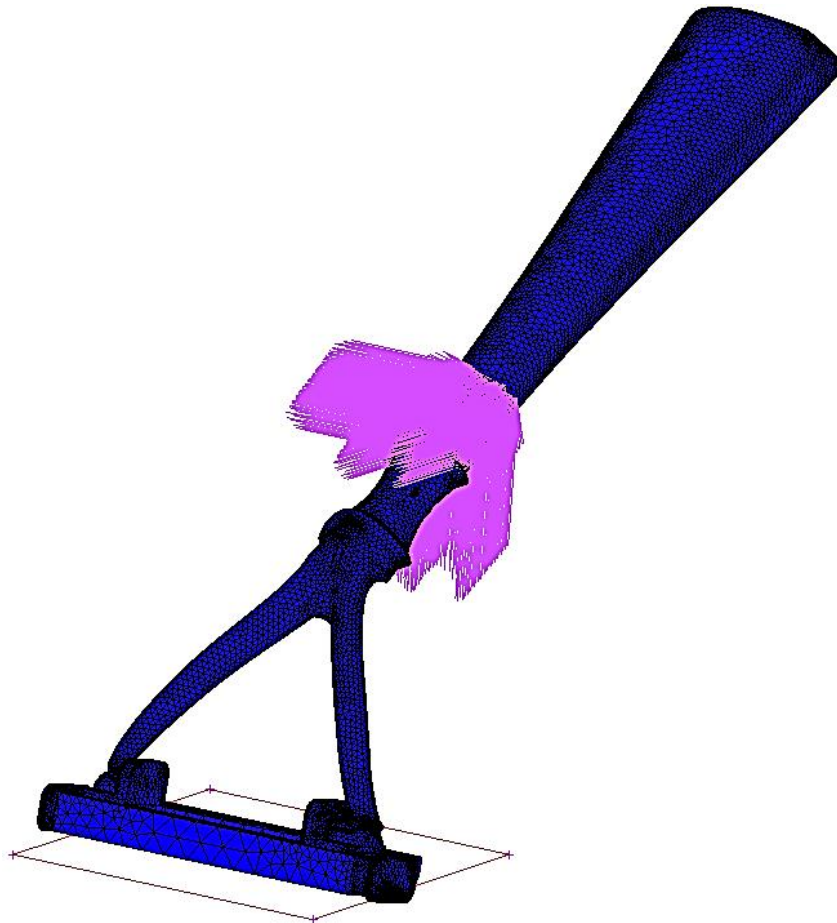
A végelemes analízis három fő szegmensre bontható. Az első szakasz a pre-processzálás, vagyis az előkészítés, amelyben először az általunk vizsgálni kívánt geometriát definiáljuk, majd ezt követően kiválasztjuk a megfelelő elemtípust, majd megadjuk az anyagjellemzőket. Szükséges ezeken kívül a megfelelő hálózás elkészítése. Egyes szoftverek esetén az előbbi lépések felcserélődhetnek. Utolsó lépésként a peremfeltételeket kell beállítanunk. A pre-processzálás után a második lépés a „megoldás“, az elsődleges mezőváltozók ismeretlen értékeinek meghatározása, valamint további, származtatott értékek meghatározása az elsődleges mező változók számított értékeinek felhasználásával. A harmadik rész a poszt-processzálás, amely magába foglalja az eredmények megjelenítését grafikus, diagram, táblázatos vagy egyéb formában. Az eredmények pontossága függ a probléma fizikai háttérének megértésétől, az alkalmazott elemek viselkedésétől és az alkalmazott egyszerűsítésektől és feltételezésektől [8].

Kontakt feladat

Számos fizikai probléma szimulálásánál szükség van arra, hogy modellezni tudjuk az elemek közötti kapcsolatot. A kontakt viselkedés analízise egy komplex feladat, mivel több geometriai test mozgását pontosan le kell követnie. Ez magába foglalja a felületek közötti súrlódás és a testek közötti hőátadás figyelembevételét. Numerikus szemszögből a lényeg az, hogy tudja érzékelni a testek között létrejövő mozgást, alkalmazzon kényszert a testek egymásba hatolásának elkerülésére, és megfelelő peremfeltételeket adjon meg a súrlódási viselkedés és hőátadás szimulálására [9].

Borotva végeelem szimulációja

A borotva esetében szükséges volt különböző végeelem szimulációk elvégzésére, mivel ennek a terméknek többféle terhelést is el kell viselnie. A szimulációk elvégzéséhez a Marc Mentat végeeselemes szimulációs szoftvert használtuk. Kétféle esetet vizsgáltunk meg. Az első esetben a borotválkozás kezdeti pillanatát szeretnénk volna szimulálni, ez az a pillanat, amikor a borotvát hozzányomják a bőrfelülethez. A második esetben emellett figyelembe vettük a borotva fejének az elmozdulását is.

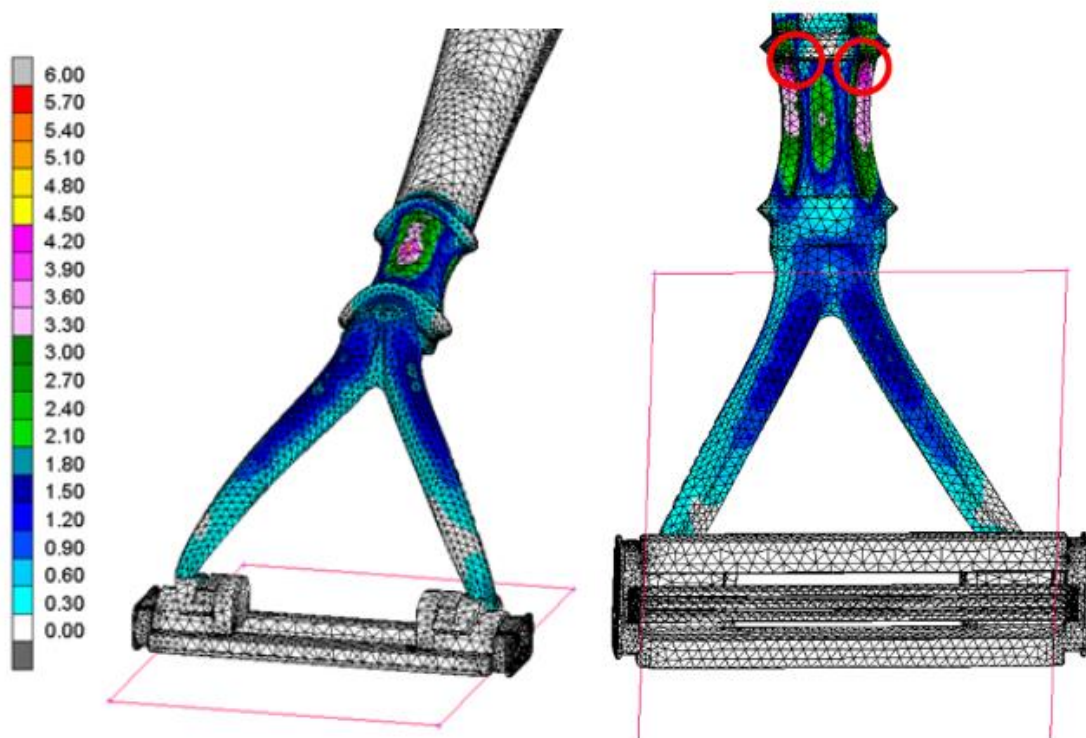


6. ábra. A borotva szabadságfokainak lekötése és a felületek egymáshoz viszonyított elhelyezkedése.

Az első esetben a borotvát a fejére merőleges irányú erővel terheltük. Ennek értékét 2 N-re becsültük.

A geometria hálóját a COMSOL Multiphysics program segítségével készítettük el. A hálót beolvastuk a Marc Mentat szoftverbe, ezután elkezdtük a számításhoz szükséges adatok definiálását. A szimuláció elvégzéséhez szükséges a borotva anyagának megadása, amely megegyezik a fröccsöntés szimulációnál kiválasztott PLA biopolimerrel, azonban a mechanikai szimuláció során ennek az anyagnak csak a lineárisan rugalmas viselkedését vettük figyelembe. A borotva pengéjének egy hagyományos acél mechanikai tulajdonságait használtuk, szintén lineárisan rugalmas anyagjellemzőkkel definiálva. Az eszköz igénybevételének vizsgálatára kontakt feladat megoldása szükséges, melynek során meghatározható, hogy az eszköz milyen mechanikai igénybevételt szenved el a használat során. A kontakt feladat megoldásakor az egyik érintkező test maga a borotva, melyet lineárisan rugalmas testként veszünk figyelembe, a másik érintkező test a felhasználó személy testrésze. A felhasználót merev testként, jelen esetben sík lemezként modellezzük. Így a felhasználó és az eszköz közötti érintkezés során fellépő mechanikai igénybevétel meghatározható.

Következő lépésként megadtuk a szükséges peremfeltételeket. A felhasználók legtöbb esetben a nyél nyak közeli részénél fogják meg a borotvát, ezért a 6. ábra által szemléltetett csomópontokban lekötöttük a nyél szabadságfokait.



7. ábra. A borotvában ébredő redukált feszültség eloszlása.

A kezdeti pillanatban csak a terhelésből származó igénybevételeket szeretnénk volna szimulálni, ezért a felület elfordulását megakadályoztuk. A bőr és a borotva kezdeti érintkezésének idejét egy másodpercre becsültük. Mivel kontakt feladatról van szó, ezért ennek az elemzése nem egy, hanem több időlépésben történik. Egy másodperc alatt nyolc időlépésben adtuk rá a terhelést a szerkezetre, melynek nagysága 2

N volt. A terhelés hatására az anyagban maximálisan 8,34 MPa redukált feszültség ébred, mivel ez az anyag szakítószilárdsága alatti érték, ezért a borotva az ilyen fajta igénybevételt elviseli.

A második szimuláció esetében összetett igénybevételt vizsgáltunk, ahol az előzőekben megadott terhelés mellett a felületet a z tengely körül 5°-kal elforgattuk. Az összetett igénybevételből származó redukált feszültség maximális értéke 10,81 MPa, amely ebben az esetben is a borotva nyelének nyakánál jött létre. Ez az érték szintén az anyag szakítószilárdsága alatt van, tehát a borotva az ilyen típusú terhelésnek is ellenáll.

6. Összefoglalás

Az előzőek alapján megállapíthatjuk, hogy ezek a termékek fröccsöntés segítségével előállíthatók. A rüzs esetében a fröccsöntés paramétereinek kismértékű változtatásával a modell a gyártás szempontjából megfelelő. A borotva esetében szükséges a geometria változtatása, mivel a hosszú hűlési idő miatt nem valósítható meg a termék költséghatékony gyártása. Az eldobható borotvának különböző terheléseket kell elviselnie, ezért ezek vizsgálatára végelelemes szimulációkat végeztünk. A szimulációk során kapott eredményeinkből, arra a következtetésre jutottunk, hogy a választott biológiailag lebomló polimer megfelel a vizsgált termékek alapanyagaként. A jelenlegi szimulációk és ismeretek jó alapot biztosítanak a további fejlesztésekhez.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani mindenekelőtt témavezetőnknek, Vadászné Dr. Bognár Gabriellának, aki szakértelmével nagyban segítette munkánkat. Köszönet illeti Bézi Zoltánt és Dr. Beleznai Róbertet, akik szakmai tapasztalataikkal és hasznos tanácsaikkal segítették a végelelemes szimulációk elvégzését és a dolgozat létrejöttét. Köszönjük a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.-nek a szakmai támogatást és a lehetőséget a szimulációk elvégzésére.

7. Irodalomjegyzék

- [1] L. W. Kille, R. Stephens: *Plastics, human health and environmental impacts: The road ahead*, [https://journalistsresource.org/studies/environment/pollution-environment/plastics-environmental-health-literature-review_\(2017.11.03.\)](https://journalistsresource.org/studies/environment/pollution-environment/plastics-environmental-health-literature-review_(2017.11.03.))
- [2] Biopolimerek, <https://sites.google.com/site/plasticehungary/bioplastics> (2017.11.03.)
- [3] Dr. Tábi T.: *Biopolimerek, biopolimer kompozitok*, előadás, 2015.
- [4] Dr. Bodnár I.: *Hulladékgazdálkodás IV. Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása és hasznosítása*, előadás, 2016.
- [5] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: *A polimertechnika alapjai*, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000.
- [6] Result Interpretation of Moldex3D FillingCoreTech System Co., Ltd. 2013
- [7] E. Chen: How Injection Molding Simulation Helps Reduce Warp Issues (webinar) CoreTech System Co., Ltd., 2017.
- [8] Beleznai R.: A végelelem módszerről általában, 2016, prezentáció
- [9] Marc 2010 User's Guide, MSC.Software, <http://www.mssoftware.com/> (2017.11.03.)

Jelen cikk a szerzők engedélyével jelent meg másodközlésben. Az első megjelenés bibliográfiai adatai: Suhaj Anett, Spiusák Bernadett: *Biológiailag lebomló polimerből tervezett termékek fröccsöntés szimulációja és végelelemes analízise*. Diáktudomány: A Miskolci Egyetem Tudományos Diákköri Munkáiból 11. pp. 126-133. (2018)