

MEZŐGAZDASÁGI MELLÉKTERMÉKEK HASZNÁLATÁVAL KÉSZÜLT KOMPOZITOK VIZSGÁLATA EVŐESZKÖZÖK GYÁRTÁSÁHOZ

TESTING COMPOSITES USING AGRICULTURAL BY- PRODUCTS FOR THE PRODUCTION OF CUTLERY

Ungár Péter¹, Dr. Kovács Sándor², Havas Zsuzsanna³

ABSTRACT

This paper describes a process that has resulted in an apricot seed shell reinforced polylactic acid (PLA) composite that can be used to make forks and knives. As part of the process, the composition of the material was determined using Digimat software, and manufacturability was investigated using injection moulding simulations. The mechanical properties were investigated using finite element simulations and compared with measurements. An additional goal is the use of the developed composite in additive manufacturing

1. BEVEZETÉS

A cikk egy olyan folyamatot mutat be, melynek során egy barackmaghéjjal erősített politejsav (PLA) alapú kompozit anyag jön létre, melyből villa és kés gyártható, amik megfelelnek a termékkel szemben támasztott mechanikai szilárdságra vonatkozó előírásoknak. További cél a kompozit additív gyártásban való felhasználása, melyhez jelen munka egy megelőző kutatás része. A pozitív eredmények esetén indokolt a fejlesztett kompozit additív gyártással való részletes vizsgálata.

A folyamat részeként az anyagösszetételt Digimat szoftver segítségével határoztuk meg, majd fröccsöntés szimulációkkal vizsgáltuk a gyárthatóságot mind próbatest, mind végtermék szintjén. A szilárdsági jellemzőket végelemes szimulációkkal vizsgáltuk, melyeket mérésekkel hasonlítottunk össze. Jelen cikk a folyamat szimulációs oldalára fókuszál.

A környezetvédelem és tudatosság népszerűbbé válásával megjelent az igény olyan mezőgazdasági melléktermékek alkalmazására korszerű, környezetbarát polimer kompozitok alapanyagaként, melyekkel fenntartható

végtermékek állíthatók elő. Egy lehetséges felhasználása ezeknek a tisztán műanyag, egyszerűhasználatos evőeszközök kiváltása.

Vizsgálatunk során mezőgazdasági melléktermékként a sárgabarackmag héja, valamint a dióhéj került elemzésre. Ezek mechanikai tulajdonságainak meghatározására a [1]-[9] cikkek szerzői különböző módszereket alkalmaztak. A leggyakrabban használt a nyomóvizsgálat volt, melyet eltérő nedvességtartalom, terhelési sebesség, terhelési irány mellett végeztek el.

2. ANYAGÖSSZETÉTEL

Az anyagösszetétel vizsgálatához összesen 450 különböző beállítású Digimat FE (Finite Element) szimuláció készült el. Az FE-modul lényege, hogy egy téglatestben adott paraméterek mellett a program létrehozza az erősítő szemcséket, így adott terhelési esetre kapott alakváltozás-erő görbéket végelemes módszerrel határozza meg.

A kompozit anyagmodell szimulációk során 3 mátrixanyagot, 2 erősítő anyagot, 3 szemcsealakot, 5 szemcseméretet és 5 töltöttségi szintet vizsgáltunk. A mátrixanyagok, valamint az erősítő anyagok Poisson-tényezőjének és rugalmassági modulusának meghatározása laboratóriumi vizsgálatokkal történt. A dióhéj és barackmaghéj anyagmodelljét egy-egy kezdeti, előzetesen létrehozott kompozit próbatest szakítóvizsgálatával validáltuk.

A kezdeti elképzelés szerint a három mátrixanyag polisztirol (PS), politejsav (PLA) és polipropilén (PP) volt. A töltöttségi szint tömegszázalékban 10-20-30-40 % és 50 %. A szemcseméret eloszlása alapján kiválasztható, hogy milyen eloszlású és méretű töltőanyag az -

¹ tudományos munkatárs, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Szerkezetintegritás és Gyártástechnológia Osztály

² vezető kutató, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Szerkezetintegritás és Gyártástechnológia Osztály

³ termékfejlesztési specialista, Inno-Comp Kft., Alkalmazástechnika

optimálisabb. A Digimat szimuláció során a terhelés nyomás irányú volt.

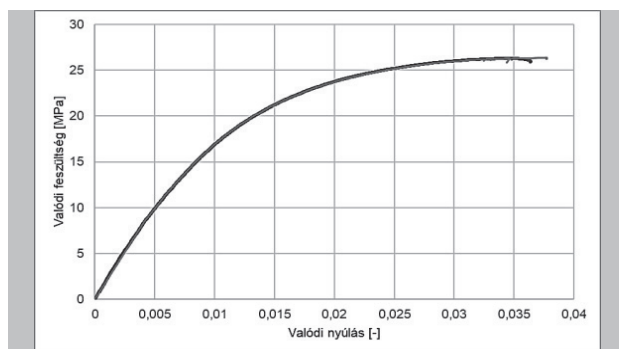
Az eredmények alapján a PP alapú kompozitok rugalmasabb, míg a PLA és PS alapú kompozitok ridegebb viselkedést mutattak. A PS további vizsgálatát elvetettük, mert környezetvédelem szempontjából hátrányosabb, mint a PLA és szilárdsági szempontból sem mutatott előnyösebb tulajdonságokat.

A próbatestes vizsgálatokhoz 6 kompozitot választottunk ki, melyek közül 2 kopolimer PP, 2 homopolimer PP és 2 PLA alapú volt. A barackmaghéj előnyösebbnek bizonyult a diónál. Az ideális töltöttségi szint PP esetében 30 %-os, míg PLA-nál 20 %-os volt. A szimulációk eredményei azt mutatják, hogy a finom szemcseméret kedvezőbb a nagyobb szemcsemérethez képest. Ez alól az egyik kopolimer PP alapú kompozit képez kivételt.

3. PRÓBATESTES VIZSGÁLATOK

A végtermékek vizsgálatához az anyagok képlékeny szakítógörbéire volt szükség. Ehhez próbatestes szakításokat kellett végezni. A gyárthatóság vizsgálata lehetővé tette, hogy a 6 kompozitból kiválasszuk a 3 legmegfelelőbbet, mellyel a végtermékek vizsgálatát el lehetett végezni. A fejlesztett kompozitokat összehasonlítottuk meglévő, iparban használt kompaund anyagokkal is.

A végtermékek vizsgálata céljából az MSC Marc vége-selemes programban létrehozott anyagmodelleket szükséges validálni. Ehhez a szakítóvizsgálatok szimulációi mérésekkel kerültek összehasonlításra, melyek jó egyezést mutattak, ahogy azt az 1. ábra is mutatja az egyik homopolimer PP alapú anyagnál.



1. ábra. Szakítóvizsgálatok mérési és szimulációs eredményei az egyik homopolimer PP alapú kompozitnál

A fröccsöntés szimulációkhoz a Moldex3D programot használtuk fel. A szabványos szakítópróbatetek szimulációja

mellett a vízfelvételi próbatetek modellezése is megtörtént. Az anyagokat több szempont alapján rangsoroltuk, melyek közül a legfőbb szempont a kitöltési nyomás, átlagos teljes deformáció, és a síktól való maximális eltérés volt.

A fröccsöntési szimulációk eredményei alapján kiválasztott három kompozit a finom szemcseméretű kopolimer PP, az egyik homopolimer PP és az egyik PLA alapú anyag lett.

4. VÉGTERMÉKEK VIZSGÁLATA

A kifejlesztett anyagokból prototípustermékek, villák és kések készültek. Gyártástechnológiai vizsgálatokat végeztünk Moldex3D-vel, valamint Design of Experiment (DOE) kísérlettervezéses módszerrel optimalizáltuk a folyamatok paramétereit. Elkészítettük a mechanikai vége-selemes szimulációkat a prototípus termékekre a jellemző igénybevételek figyelembevételével. Ehhez a próbatetekeken validált anyagmodelleket használtuk. A szimulációkat összehasonlítottuk laboratóriumi mérésekkel.

4.1 Fröccsöntés szimulációk

A Moldex3D modell elkészítésekor elős lépés a CAD geometriák importálása, továbbá a szerszám geometriájának definiálása volt. A szimuláció mindkét prototípus termékhez egy 20 fészkes szerszámmal készült el, ahogy azt a 2. ábra is szemlélteti. Az elosztócsatorna 3 elágazást tartalmaz, míg a szimmetrikus kialakítás ellenére sem egyezik meg a fröccsnyomás minden fészkekben.



2. ábra. 20 fészkes elrendezés villa fröccsöntés szimulációjának esetére

A fröccsöntés szimulációk előnye, hogy a szerszám módosítása nélkül vizsgálhatóak meg különböző gátelrendezések, paraméterek, geometriai módosítások hatásai. Egy új termék gyártása előtt költséghatékony művelet, ha a próbagyártás előtt szimulációval támogatjuk meg a tervezési folyamatot.

A technológiai paramétereket a kezdetifuttatáshoz a Moldex3D által javasolt értékeknek vettük fel. A kísérlettervezési optimalizálás során a szoftver ezen kezdeti szimulációs eredményeket felhasználva, adott mennyiségű változó (kitöltési idő (kitöltés sebessége), utánnomási idő, olvadék hőmérséklete, a szerszám hőmérséklete) iterálása mellett többszöri futtatásra hajtódik végre mindaddig, míg a célértékként előírt teljes vetemedés minimalizálás be nem következik. Egy ilyen kisebb DOE mátrixhoz 9+1 futtatás szükséges. Ez összesen a két prototípusnál és három anyagnál 60 futást eredményezett.

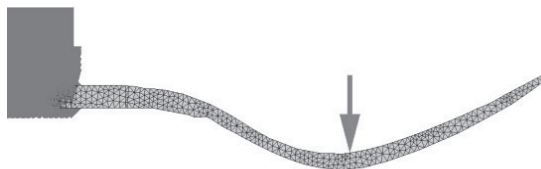
A DOE szimulációk során megkapjuk a megadott változók S/N arányát, vagyis a jel/zaj szintet. Ez megadja, hogy a paraméterek megváltoztatása milyen mértékben befolyásolja a célértéket. A nagyobb S/N arány jelenti a kedvezőbb beállítást. Ezek alapján definiálható az optimalizált paraméter kombináció.

A teljes vetemedés átlagának csökkenése a két PP alapú anyagnál villa geometriával 12 % és 5 % volt, míg késnél 7 % és 2 %. A PLA és barackmaghéj kombinációjánál ez az érték villánál 26 % a kiinduló szimulációhoz képest. A késnél a Moldex3D által javasolt kezdeti beállításai voltak a legkedvezőbbek.

4.2 Végeselemes szimulációk

A folyamat során fontos szempont volt a mechanikai szilárdsági megfelelés, illetve az evőeszköz felhasználásakor fellépő terhelések esetén a termék szerkezetintegritása. Ehhez a [10] kereskedelmi cikk leírás villánál két vizsgálatot, késnél egy vizsgálatot írt elő, melyeket egy saját elrendezéssel is kiegészítettünk.

Az első vizsgálat a villa flexibilitás vizsgálata, mely során a termék megfogása a száron, a terhelése a fogak tövéénél történik, ahogyan azt a 3. ábra is vázolja.

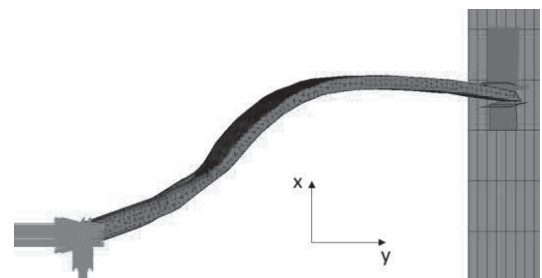


3. ábra. Villa fogtövének terhelése

Az előírás szerint a megfogás a fogak tövétől 50,8 mm-től indul. A terhelés megoszlik a csomópontokon, így a keresztmetszet mentén egyenletes. Az előírás szerint 4,44 N-nál a villa lehajlása nem haladhatja meg a 22,225 mm-t.

A második vizsgálat a villánál a fogak terhelhetősége volt. Ehhez a terheléseket a villa fogainak a végétől számított 6,35 mm-re kell elhelyezni. Az előírás szerint 4,44 N-os tömeget kell dróton egy bemetszett részben elhelyezni. A villa fogai megfelelőek, hogyha nem törnek el és nem lesz olyan nagy az alakváltozás, hogy a terhelés lecsússzon róla. A szimuláció során hogyha a fogak és a vízszintes sík pozitív szöget zárnak be egymással, a villa megfelel.

A villa harmadik típusú vizsgálata a valódi használat során fellépő terhelést szimulálja. Ehhez a villa szárát megfogva egy terhelő felülettel nyomjuk össze a darabot. A szára 70 °-os szöget zár be a vízszintessel. A fogak végének megtámasztására a szimulációban további felületek kerültek kialakításra, ahogy az a 4. ábraán is látható. Eredményül egy erő-elmozdulás diagramot kapunk, valamint azt az erőt, melynél a villa károsodást szenved.



4. ábra. Villa terhelhetőségi vizsgálata

A késnél - a villához hasonlóan - a rugalmasságot szükséges vizsgálni, melyhez a befogást úgy kell elvégezni, hogy 101,6 mm legyen szabad a kés végétől számítva. A terhelést a kés hegyétől 12,7 mm-re kell elhelyezni. Az előírás szerint a kés megfelel, hogyha a lehajlása 4,44 N hatására nem haladja meg a 38,1 mm-t.

A másik két vizsgálati módszer a kés használata során fellépő terhelés szimulálása. A villához hasonló módon a kést is egy felülettel terheljük, mellyel a kés szára a vízszintessel 70 °-ot, illetve 25 °-ot zár be.

A szimulációk eredményeit az 1. táblázat foglalja össze. Az erő-elmozdulás görbék a mérésekkel összehasonlítva jó egyezést mutattak.

A két PP alapú kompozit közül a homopolimer PP mátrixanyagú volt a kedvezőbb szilárdság és gyárthatóság szempontjából is. A PLA alapú anyag megfelelt minden elvárásnak és erősebb volt a másik két kompozitnál. Az alapanyag előállítása a környezetvédelem

szempontjából ennél a legkedvezőbb. Összességében a továbbiakban ezzel az anyaggal érdemes dolgozni.

1. táblázat. Mechanikai szimulációk eredményei

Mennyiség	Mátrix-anyag	Érték	Megjegyzés
Villa fogtövének terhelése			
Lehajlás [mm] Határ 22,225 mm	kopo. PP	9,604	Megfelel
	homo. PP	8,684	Megfelel
	PLA	4,28	Megfelel
Villa fogainak terhelése			
Maximális lehajlás [mm]	kopo. PP	21,168	Megfelel
	homo. PP	18,05	Megfelel
	PLA	8,021	Megfelel
Villa terhelhetőségi vizsgálata			
Maximális erő [N]	kopo. PP	31,55	/
	homo. PP	40,9	
	PLA	78,43	
Kés oldalirányú terhelési vizsgálata			
Lehajlás [mm] Határ 38,1 mm	kopo. PP	37,723	Határon van
	homo. PP	30,863	Megfelel
	PLA	14,379	Megfelel
Kés terhelhetőségi vizsgálata 70 °-ban			
Maximális erő [N]	kopo. PP	20,74	/
	homo. PP	34,54	
	PLA	48,76	
Kés terhelhetőségi vizsgálata 25 °-ban			
Maximális erő [N]	kopo. PP	23,81	/
	homo. PP	27,73	
	PLA	38,48	

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk bemutatott egy folyamatot, mely során három lehetséges mátrixanyagból és két erősítő anyagból kiválasztásra került 6 darab kombináció, mellyel próbatestes és szimulációs vizsgálatokat végeztünk el. Ezek eredményei alapján 3 anyaggal kétféle prototípusterméket elemeztünk gyárthatóság és mechanikai tulajdonságok szempontjából. Így jutottunk el egy olyan anyaghoz, melyből mezőgazdasági melléktermékeket felhasználva környezetkímélő módon lehet fröccsöntéses technológiával a felhasználásnak megfelelő szerkezeti

tulajdonságokkal rendelkező evőeszközöket gyártani. A továbbiakban a pozitív eredmények nyomán indokolt a fejlesztett anyag additív gyártásban való felhasználásának vizsgálata.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával valósult meg az „Alkalmazás orientált anyag-, technológia-, elméleti és vizsgálati módszerek fejlesztése - a tudásintenzív hazai ipar fejlődésének szolgálatában” című és TKP2020-NKA-18 számú projekt keretében. Köszönjük az együttműködést szakmai partnerünknek, az Inno-comp Kft.-nek.

7. IRODALOM

- [1] BRAGA, G.C et al.: Mechanical behaviour of macadamia nut under compression, 1999.
- [2] FAROOGH S., MOHAMMADALI H. D.: mechanical behaviour of Walnut under Cracking Conditions, Journal of Applied Sciences, 2008., ISSN 1812-5654
- [3] E. ALTUNTAS, Y. ÖZKAN; Physical and Mechanical Properties of Some Walnut (Juglans regia L.) Cultivars, International Journal of Food Engineering, 2008.
- [4] SEZAI E. et al.: Comparison of Some Physico-Mechanical Nut and Kernel Properties of Two Walnut (Juglans regia L.) Cultivars, 2011., ISSN 0255-965X
- [5] KOYUNCU, MA., K. EKINCI, E. SAVRAN: Cracking characteristics of walnut. Biosyst. Eng., 2004.
- [6] HOJAT A., HAMZEH F. AND HOSSEIN M.: Some Physical and Mechanical Properties of Apricot Fruits, Pits and Kernels (C.V Tabarzeh), University of Tehran, 2008., ISSN 1818-6769
- [7] HOJAT A., HAMZEH F. AND HOSSEIN M.: Post Harvest Physical and Mechanical Properties of Apricot Fruits, Pits and Kernels (C.V. Sonnat Salmas) Cultivated in Iran, University of Tehran, 2009.
- [8] KUBILAY V., FARUK Ö.: Mechanical behaviour of apricot pit under compression loading, Cukurova University, Turkey, 2004.
- [9] OLANIYAN, A. M., OJE, K.: Some aspects of the mechanical properties of shea nut, Biosystems Engineering, 2002.
- [10] A-A-3109B, kereskedelmi cikk leírás, 2006.