

## TERMÉSZETES TÖLTŐANYAGOKKAL TÁRSÍTOTT TERMOPLASZTIKUS KEMÉNYÍTŐ (TPS) BIKOMPOZITOK FEJLESZTÉSE

Tamási Kinga<sup>1</sup>, Akerele Ayodeji<sup>2</sup>, Borsodi Eszter<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>*Kerámia és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem, Miskolc, Magyarország*

\*Kontakt szerző elérhetősége: [polkinga@uni-miskolc.hu](mailto:polkinga@uni-miskolc.hu)

### Absztrakt

*Munkánk során természetes töltőanyagokkal kezelt burgonyakeményítóből előállított termoplasztikus keményítő (TPS) alapú biokompozitokat állítottunk elő. Töltőanyagok: őrlött tojásbél, burgonyabél, kávézacc, zeolit, illetve a tölgyfaliszt volt, két különböző szemcseméretben (160 µm alatt és feletti tartományban) és 10 tömeg%-ban adagolva. Etalonnak töltetlen TPS-t vizsgáltunk. A mintákon Shore D keménység-, húzó -, dinamikus mechanikai analízis (DMA) vizsgálatokat hajtottunk végre.*

**Kulcsszavak:** TPS, keményítő, biokompozit, növényi hulladékok, biopolimerek

### 1. Bevezetés

Napjainkban egyre jobban felértékelődik a természetes vagy természetazonos anyagok használata. Elterjedésük oka feltételezhetően a környezetben nagy mennyiségben megtalálható műanyag hulladékok [1-3] és a műanyagokból származó, kérdéses eredetű vegyületek [4-6] jelenléte.

A műanyagipar legújabb trendjének számító, úgynevezett biopolimerek forradalmasíthatják a csomagolóipart [7, 8] és minden olyan területet, amely során a fogyasztók közvetlenül érintkezhetnek egy adott termékkel. A megújuló nyersanyagforrásból származó műanyagok előállítása teljes egészében növényi vagy állati eredetű biomassza felhasználására épül. Leggyakrabban olyan növényekből történik, amelyek nagy mennyiségben tartalmaznak egyszerű, könnyen átalakítható szénhidrátokat, mint például a keményítő. Ilyen többek között a búza [9-11], kukorica [12-14] termése, vagy a cukornád [15-17]

és a burgonya [18-20]. Mivel az említett terméket hagyományosan az élelmiszeriparban használják fel, előnyösebb lenne a mezőgazdaságban keletkező növényi hulladékok cellulóztartalmának hasznosítása is, azonban ez azonban jóval bonyolultabb feladat, megvalósítása pedig nem a leghatékonyabb.

A zöld növények sejtjeiben és számos mikroorganizmusban végbemegy a CO<sub>2</sub> és a H<sub>2</sub>O asszimilációja, amely során energiaforrásként felhasználható szőlőcukor (glükóz) keletkezik, az amidózban és az amilopektinben tárolódik. Az amidóz főként lineáris polimer, az amilopektin pedig elágazó polimer. E két makromolekula egy speciális gyűrűs szerkezetet hoz létre, az így keletkező 1-100 µm átmérőjű szemcse a keményítő [21].

A keményítőben található hidrogénkötések a mechanikai és hőenergia hatására felszakadnak, a kristályosság csökkenésével pedig olyan homogén, termoplasztikus keményítőt (*angolul: thermoplastic starch, TPS*) kaphatunk, amely

már alkalmas a hagyományos eljárásokkal (extrúzió, fröccsöntés) történő feldolgozásra. Ezért kutatásunk célja olyan kompozitok előállítása, amelyek tulajdonságaiból adódóan alkalmasak lesznek képlékeny állapotban formázható csomagolási termékek gyártására.

**1. Táblázat. Növényekben található keményítő tartalom összehasonlítása [21]**

Keményítő típusa	Amilóz [%]	Amilopektin [%]	Nedvesség tartalom [%]	Szemcse-átmérő [µm]	Kristályosság [%]
Búza	26-27	72-73	13	25	36
Kukorica	26-28	71-73	12-13	15	39
Burgonya	20-25	79-47	18-19	40-100	25

**2. A felhasznált adalékanyagok bemutatása**

**2.1. A kávézacc**

A kávézaccot javarészt szerves összetevők (cellulóz, lignin, hemicellulóz, poliszacharidok) alkotják, valamint polifenolokat és tannint [22] tartalmaz. A tannin tartalmú anyagokról érdemes tudni, hogy olyan poli-hidroxi és polifenol funkciós csoportokat tartalmaznak, melyek alkalmasak különböző nehézfémek megkötésére (Zn, Cu, Pb stb.).

**2. Táblázat. A kávézacc összetétele [22]**

Alkotók mennyisége [wt%]			
Hemicellulóz	36,7 ± 5,0	Összes polifenol	1,5 ± 1,0
Fehérje	13,6 ± 3,8	Lignin	0,05 ± 0,05
Cellulóz	8,6 ± 1,8	Koffein	0,02 ± 0,1
Összes cukor	8,5 ± 1,2	Tannin	0,02 ± 0,1
Klorogén sav	2,3 ± 1,0	Pektin	0,01 ± 0,005
Összes rost és zsír:			28,6 ± 13,9

*Gazonato és munkatársai* 2018-ban vizsgálták kukoricakeményítőből előállított TPS/kávézacc kompozitok szakítószilárdsági tulajdonságait. Munkájuk során 10, 15, 20, 25, 30 és 50 wt%-ban töltötték meg a mintákat, lágyítószer a glicerin volt. A megfigyelések azt támasztották alá, hogy a kávézacc a töltöttségi fok növekedésével arányosan növelte a szakítószilárdságot is, egészen 50 %-os töltöttségi szintig [22].

**2.2. Zeolit**

A zeolitok főleg nátrium-kalcium-aluminoszilikátok, mikroszerkezetüket tekintve üregesek és porózusak. Az üregei, csatornái biztosítják azt a lehetőséget, hogy azokban különböző moleku-

lák, vegyületek dúsuljanak. A pontos anyagi jellemzők feltárásához különböző mérési módszerek szükségesek, melyek eredményeiről a 3. táblázat tájékoztat [23]. *Belibi és munkatársai* (2012) nanoméretű TPS/zeolit kompozitok mechanikai tulajdonságait vizsgálták és megállapították, hogy a vízfelvételi hajlandóságot nem csökkentette a zeolit jelenléte, viszont a modulus és a szakítószilárdságot növelte [24].

**3. Táblázat. A zeolitok jellemző tulajdonságai és összetétele [23]**

Elemi cella összetétele	Na <sub>6</sub> / Al <sub>6</sub> Si <sub>30</sub> O <sub>72</sub> / 24 H <sub>2</sub> O	Oxidok (kémiai) összetétel [wt %]	
Kristályrendszer	monoklin	SiO <sub>2</sub>	70,5
Pórustérfogat [cm <sup>3</sup> /g]	0,34	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,5
MOHS keménység [-]	3-4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2
Izzítási veszteség [%]	7-8	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8
Külső felület [m <sup>2</sup> /g]	10-50	K <sub>2</sub> O	2,5
Belső felület [m <sup>2</sup> /g]	300-600	MgO	1,6
Csatornarendszer dimenziója [-]	2	CaO	1,8

**2.3. Tojánhéj**

A tojánhéj szilárd mészfal, 98 %-a kristályos kalcium-karbonát (CaCO<sub>3</sub>), amely a tojás mechanikai védelmét szolgálja, a másodlagos funkciója pedig az embrió ásványi anyag ellátásának biztosítása. A tojánhéj a tojás ösztömegeinek 10-13 %-át teszi ki, vastagsága 0,3-1,2 mm között változik. A tyúktojásé tipikusan 0,36 mm. A tojánhéj porózus anyag, a pórusok átmérője eltérő a belső oldalon 6-23 µm és a külső oldalon 1,5-6,5 µm. Ezek a tojás átjárhatóságát biztosítják. A tojánhéj áteresztí a gázokat, a nedvességet, kismértékben a folyadékot, valamint a mikrobákat is [25].

**4. Táblázat. A tojánhéj összetétele [25]**

Baromfi faj	Víz [wt%]	Szárazanyag [wt%]	Nyersfehérje [wt%]	Nyerszsír [wt%]	Nyomelemek [wt%]
Tyúk	70-74	26-30	12-13,5	11-12	1,5
Pulyka	70-74	26-30	12-13,5	11-12	1,7
Gyöngytyúk	70-74	26-30	12-13,5	12	0,8
Kacsa	70-72	28-30	12-13,0	13-15	1,4
Lúd	70-72	28-30	12-14,0	13-15	1,3

*Kasmuri és társai* (2018) megfigyelték, hogy a tojánhéjpor TPS kompozitok esetén 4,94 %-kal növelte a szakítószilárdságot, ami alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a tojánhéjpor töltőanyagként való felhasználása TPS esetén jelentősen javíthatja a kompozitok fizikai tulajdonságait [26].

## 2.4. Burgonyahéj

A burgonya az egyik leggyakrabban fogyasztott zöldség a világon, ám a rengeteg burgonyahéj hulladékkezelési problémákat vet fel. Ezek a hulladékok tulajdonképpen ígéretes adalékanyag források is, hiszen 40-50 % élelmi rostot tartalmaznak, valamint gazdag polifenol- és vitaminforrások (riboflavin, aszkorbinsav, folsav és B6-vitamin). A részletes irodalmi kémiai összetételt az 5. táblázat foglalja össze [25]. A legtöbb burgonyahéjjal foglalkozó tudományos kutatás a burgonyahéjat a TPS alapanyagaként használta fel, nem pedig hozzáadott töltőanyagként. Ezért vizsgálataink ebből a szempontból újszerűnek mondhatók.

5. Táblázat. A burgonyahéj összetétele [27, 28]

Összetétel [wt%]	
Nedvességtartalom	85,06
Teljes szénhidráttartalom	68,70
Teljes oldott cukortartalom	1,00
Redukáló cukortartalom	0,61
Nitrogéntartalom	1,30
Fehérjetartalom	8,00
Zsírtartalom	2,60
Keményítőtartalom	52,14

## 2.5. Tölgyfaliszt

Az utóbbi időben rendkívül megnőtt az érdeklődés a faliszttal erősített kompozitok iránt. Ez az anyag számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik: a faliszt a természetből nagy mennyiségben, viszonylag olcsón hozzáférhető, kis sűrűségű anyag, amelyet nagy mennyiségben alkalmazhatunk töltőanyagként, így a gazdaságosság szempontjából is előnyös megoldás. A legnagyobb hátránya a jó nedvességfelvevő képessége, kis szerkezeti stabilitása, a komponensek közötti gyenge adhézió, valamint az, hogy minősége jelentősen függ a származási helytől és az időjárástól [29]. A tölgyfaliszt részletes kémiai tulajdonságait, összetételét a 6. táblázatban foglaltuk össze.

6. táblázat. A tölgyfaliszt szakirodalmi összetétele [29]

Nedvességtartalom [%]	6,46 ± 0,07
Fehérjetartalom [%]	4,14 ± 0,00
Zsírtartalom [%]	7,70 ± 0,00
Rosttartalom [%]	2,51 ± 0,30

Hamutartalom [%]	1,83 ± 0,17
------------------	-------------

Több tanulmány is foglalkozik faliszt/ biopolimer kompozitok vizsgálatával [30], kifejezetten TPS mátrixú mintákkal már kevesebben, illetve található olyan kutatás is, amelyben extra erősítő anyagokat, például manióka pépet alkalmaztak [31]. Megállapították, hogy a kombinált globulit-szálerősítésű kompozitok mechanikai tulajdonságai csökkentek, ezért minden tanulmány végén a töltőanyagok felületkezelését ajánlották.

## 3. Kísérleti rész

### 3.1. A mintaelőkészítés folyamata

A kiindulási alapanyag a Haas Natural étkezési burgonyakeményítő volt, melyet 36 m/m%-ban 87 %-os tisztaságú glicerinnel lágyítottunk. Az öt különböző töltőanyagot két különböző szemcseméretben és 10 wt% mennyiségben adagoltuk a TPS mátrixhoz. Ez összesen két különböző mintasorozatot jelent, mintánként 160µm alatti és feletti szemcseméretben adagoltuk a töltőanyagokat. A receptúra a 7. táblázatban látható.

7. táblázat. Kísérleti receptúra

Minták	Keményítő [g]	Glicerín [g]	Töltőanyag [g]	Összesen [g]
Töltetlen	38,40	21,60	-	60,00
Töltött	34,56	19,44	6,00	60,00

A bemérést követően egy félautomata keverő berendezés segítségével homogenizáltuk a mintákat, javítva a feldolgozhatóságot. Ezután egy szárítási művelet következett 75 °C-on és 30 percen keresztül, amit a minták hengerlése követett 150°C-on. A préselési folyamat 160 °C-on történt (Típus, Bürkle, Németország) 5 percig, az első két percben 200 bar-on, az utolsó három percben pedig 220 baron folytattuk tovább hűtővíz alkalmazása mellett. A próbatetek 100×100×4 mm-es négyzetlapok voltak, amelyekből stancolással készítettük elő a különböző vizsgálatokhoz a próbateteket. A receptúra összeállítása a [32] forrásban található kísérleti terv alapján történt.



**1.ábra.** Az alkalmazott alap- és töltőanyagokBalról jobbra haladva: burgonyakeményítő (Haas), zeolit, burgonyahéj, kávézacc, tölgyfaliszt, tojánhéj

Az 1. ábrán láthatók az általunk alkalmazott alap és adalékanyagok. A keményítő kereskedelmi forgalomból, a kávézacc, tojánhéj, faliszt és burgonyahéj háztartásból, míg a zeolit a Kerámia és Polimermérnöki Intézetből származnak. Minden adalékanyagot a bekeverés előtt tömegállandóságig szárítottunk, hogy az esetleges levegőből származó víztartalom ne befolyásolja a minták előkészítését és élettartamát. Az őrlési folyamatokat a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének Eljárástechnikai Tanszékén végeztük el, egy Retsch SM 2000 típusú vágómalomban, 750 1/perces őrlési fordulatszám

### 3.2. Módszerek

#### 3.2.1. Shore D keménység

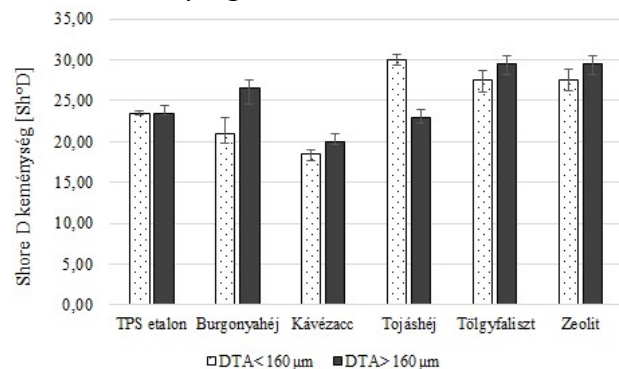
A keménységmérés az ISO 7619-1:2010 szabvány alapján hajtottunk végre (Zwick/Roell, Németország): Shore D mérőfejet alkalmazva, szobahőmérsékleten és 50% relatív páratartalom mellett, összesen 15 mérési ponton. A mérésből származó eredmények kiértékelése során a töltetlen TPS minta szolgált referenciaként, amely 23,5 ShD° értéket vett fel. A minták kiértékelése frakciónként és töltőanyagokként külön-külön is megtörtént (2. ábra).

**8.táblázat.** A vizsgált minták Shore D keménysége

Minta	Shore D keménység (ShD°)	
	$D_{TA}<160\mu m$	$D_{TA}>160\mu m$
TPS etalon	23,5 ± 0,28	
Burgonyahéj	21,0 ± 1,26	26,5 ± 1,89
Kávészacc	18,5 ± 0,78	20,0 ± 0,42
Tojánhéj	30,0 ± 0,57	23,0 ± 0,65
Tölgyfaliszt	27,5 ± 1,47	29,5 ± 1,23
Zeolit	27,5 ± 1,25	29,5 ± 1,29

A 160 µm-nél kisebb szemcsefrakcióval töltött minták keménysége a referenciához képest jelentősen változott. Ez a növekedés a zeolit és faliszt esetén 17 %-os, míg a tojánhéj esetén 27,5 %-os volt. A burgonyahéjjal és a kávézaccal töltött minták esetében a keménység csökkenését tapasztaltuk. A burgonyahéj 10,5 %-os, a kávézacc pedig 21 %-os csökkenést eredményezett.

Az egyes töltőanyagok frakciónkénti összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a tojánhéjon kívül mindegyik töltőanyag a 160 µm-nél nagyobb szemcseméret esetén magasabb átlagkeménység értéket mutatott a referenciához képest. Mindezek alapján elmondható, hogy a tojánhéj, faliszt és a zeolit töltőanyagként való felhasználása kedvezően befolyásolta a referencia minta keménységét mind a két frakció esetén.



**2.ábra.** A Shore D keménységmérés során kapott eredmények

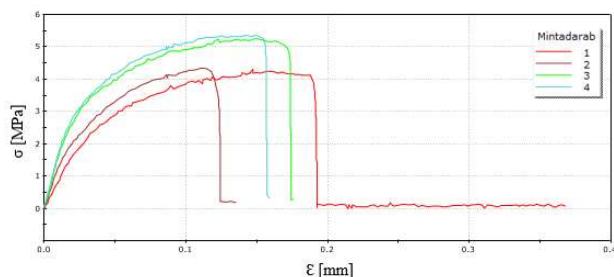
### 3.2.2. Szakítószilárdság

A vizsgálatok során az MSZ EN ISO 527 szabvány alapján kerültek elemzésre a piskóta alakú próbatestek: 40 mm hosszúságú, 20 °C-on, 50 %-os páratartalom és 12,5 mm/min alakváltozási sebesség mellett (Instron 5566, szoftver: Bluehill®).

A vizsgálati eredmények alapján elmondható, hogy az öt töltőanyag típus a szemcsefrakciók függvényében különböző mértékben befolyásolta minták modulusát, szakítószilárdságát és szakadási nyúlását a töltetlen TPS-hez képest. Ha a 160 µm alatti szemcsefrakciójú töltőanyagokkal töltött minták modulus eredményeit elemezzük, akkor elmondható, hogy az etalonhoz képest (21,40 MPa) a burgonyahéjjal és tojáshejjel kezelt minták értékei növekedtek, míg a kávézaccos (16,42 MPa), falisztes (19,85 MPa) és zeolitos (27,59 MPa) minták értéke csökkent. Ha a 160 µm feletti szemcsefrakciót vizsgáljuk, akkor megállapíthatjuk, hogy a burgonyahéj és a tojáshej jelentős mértékben csökkentett (14,85 MPa) a modulus értékén, míg egyedül a zeolit (26,62 MPa) stagnált.

9. Táblázat. A minták szilárdsági értékei

Minta	Young-modulus [MPa]		Szakítószilárdság [MPa]		Szakadási nyúlás [%]	
	$D_{TA}<160\mu$	$D_{TA}>160\mu$	$D_{TA}<160\mu$	$D_{TA}>160\mu$	$D_{TA}<160\mu$	$D_{TA}>160\mu$
	m	m	m	m	m	m
TPS etalon	21,4 ± 0,24	21,4 ± 0,24	4,3 ± 0,33	4,3 ± 0,33	44,8 ± 0,24	44,8 ± 0,30
Burgonyahéj	23,5 ± 0,32	14,7 ± 0,29	4,8 ± 0,17	3,0 ± 0,27	33,9 ± 0,41	28,5 ± 0,49
Kávézacc	16,4 ± 0,32	19,7 ± 0,45	3,2 ± 0,36	2,3 ± 0,23	31,7 ± 0,80	16,4 ± 0,74
Tojáshej	25,2 ± 0,57	14,9 ± 0,70	5,0 ± 0,66	3,3 ± 0,45	22,2 ± 0,42	20,7 ± 0,49
Tölgfalisztt	19,9 ± 0,78	17,3 ± 0,54	4,8 ± 0,41	5,0 ± 0,58	21,0 ± 0,81	16,7 ± 0,78
Zeolit	27,6 ± 0,65	26,6 ± 0,55	3,8 ± 0,38	4,4 ± 0,24	17,6 ± 0,61	17,1 ± 0,57



3. ábra. A tölgfaliszttel töltött minták ( $D_{TA}<160\mu$ ) párhuzamosainak húzógörbéi

### 3.2.3. Üvegesedési hőmérséklet meghatározása DMA módszerrel

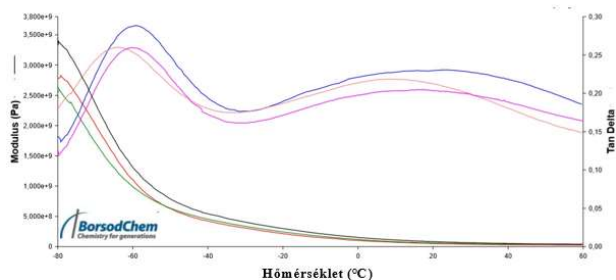
A dinamikus mechanikai analízis (DMA) bemutatja a polimerek kettős, viszko-elasztikus tulajdonságainak főbb vonásait és segítséget nyújt a műanyagok dinamikus erőter hatására lejátszódó relaxációs folyamatok megértésében. Az elemzés során meghatároztuk a minták üvegesedési hőmérsékletét ( $T_g$ ), amelynek ismerete jó kiindulási alapot fog nyújtani a lehetséges feldolgozási eljárások kiválasztásához (fröccsöntés, extrúzió stb.).

Ahogy korábban említettük, a TPS egy jellemzően amorf, hőre lágyuló műanyag, ezért a szilárd-olvadék közötti átmeneti hőmérséklet-tartománya szélesebb, mint a kristályos hőre lágyuló műanyagok esetében. A vizsgálat -80 és 120 °C közötti hőmérséklettartományon belül történt, 1 Hz frekvencián és 2 °C/perc felfűtési sebesség mellett Perkin-Elmer DMA 8000 típusú berendezéssel.

A vizsgálat során megállapítottuk, hogy legalacsonyabb üvegesedési hőmérséklete a zeollittal töltött (-62,48 és -56,11 °C), míg második legalacsonyabb pedig a tölgfaliszttel kezelt minták rendelkeztek (-61,14 és -59,73 °C). Legmagasabb a burgonyahéj tartalmú próbatesteknek volt (-52,00 és -52,98 °C). Az etalon minta az 59,0 °C-kal a negyedik legmagasabb értéket produkálta.

10. Táblázat. A DMA vizsgálatok során mért üvegesedési hőmérsékletek

Minta	$T_g$ [°C]	
	$D_{TA}<160\mu$	$D_{TA}>160\mu$
TPS etalon	-59,1	-59,1
Burgonyahéj	-53,0	-52,0
Kávézacc	-59,6	-60,0
Tojáshej	-55,4	-57,2
Tölgfalisztt	-61,1	-59,7
Zeolit	-56,1	-62,5



4.ábra. A tölgyfaliszttal töltött minták ( $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ) párhuzamosainak DMA diagramja

#### 4. Összefoglalás

Jelen vizsgálataink során csomagolóipari célra szánt, természetes eredetű töltőanyagokkal (*fa-liszttel, burgonyahéjjal, tojánhéjjal, zeolittal és kávézaccal*) kezelt termoplastikus keményítő (TPS) minták termomechanikai tulajdonságait elemeztük. A vizsgálatok különlegessége volt, hogy a töltőanyagokat két különböző szemcsefrakcióban adagoltuk az alappolimerhez ( $D_{TA}<160\mu\text{m}$  és  $D_{TA}>160\mu\text{m}$ ). A minták előállítása hengersizéken történt, lágyítószernek 87%-os tisztaságú glicerint alkalmaztunk. Az elkészített mintákon *Shore D keménységet*, szakítószilárdságot és DMA analízist végeztünk el, etalonnak töltetlen TPS-t alkalmaztunk.

Az eredmények tekintetében az alábbi megállapítások tehetők: a legmagasabb keménységet a tölgyfaliszttal (29,5 ShD°,  $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ), zeolittal (29,5 ShD°,  $D_{TA}>160\mu\text{m}$ ) és tojánhéjjal (30,0 ShD°, kezelt minták érték el, míg legmagasabb szakítószilárdsága a tölgyfalisztes (5 MPa,  $D_{TA}>160\mu\text{m}$ ) és zeolitos (4 MPa,  $D_{TA}>160\mu\text{m}$ ) próbatesteknek volt.

A töltőanyagok egyértelműen javították a szakadási nyúlás értékeket a TPS etalonhoz képest (44,8 %), míg legalacsonyabb értékkel a tölgyfaliszttal (16,7 %,  $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ) és a zeolittal kezelt (17,6 %,  $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ) próbatestek rendelkeztek. A DMA analízis során (üvegesedési hőmérséklet meghatározása) a szemcsefrakciók mérete között lehet eltérő értékeket látni, legalacsonyabb  $T_g$  értéke szintén a zeolit (-62,5 °C,  $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ) és a tölgyfaliszttal (-61,1 °C,  $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ) mintáknak volt.

A burgonyahéjas próbatesteknek -53,0 °C ( $D_{TA}<160\mu\text{m}$ ) és -50,0 °C ( $D_{TA}>160\mu\text{m}$ ), míg az etalonnak 59,0 °C volt. Általánosan elmondható

tehát, hogy a zeolit, tojánhéj és faliszt töltőanyagok javították a keményítő mátrix tulajdonságait, míg a burgonya és a kávézacc rontották. Azonban ahhoz, hogy messzemenő következtetéseket vonjunk le, további kísérletek szükségesek, mint például a vegyszerállóság és gázáteresztőképesség vizsgálata.

#### Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 számú, „Fiatalodó és megújuló Egyetem – Innovatív tudásváros A Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” című projekt keretében meghirdetett „Fiatal Kutatók az Egyetemért” keretén belül valósult meg.

#### Felhasznált irodalom

- [1] Harris L., Liboiron M., Charron L., Matther C. (2021): Using citizen science to evaluate extended producer responsibility policy to reduce marine plastic debris shows no reduction in pollution levels, **Marine Policy**, vol. 123., pp. 104-319.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104319>
- [2] Kurniawan S. B., Abdullah S.R.S., Imron M.F., Ismail N.I. (2021): Current state of marine plastic pollution and its technology for more eminent evidence: A review, **Journal of Cleaner Production**, vol. 278., pp. 123-537.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123537>
- [3] Fadeeva Z., Van Berkel R. (2021): ‘Unlocking circular economy for prevention of marine plastic pollution: An exploration of G20 policy and initiatives’, **Journal of Environmental Management**, vol. 277., pp. 111-457.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111457>



- [4] Deng H., He J., Feng D., Zhao Y., Sun W., Yu H., Ge C. (2021): Microplastics pollution in mangrove ecosystems: A critical review of current knowledge and future directions, **Science of Total Environment**, vol. 753., pp. 142-151.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142041>
- [5] Zimmermann L., Göttlich S., Oelmann J., Wagner M., Völker C. (2021): What are the drivers of microplastic toxicity? Comparing the toxicity of plastic chemicals and particles to *Daphnia magna*, **Environmental Pollution**, vol. 267., pp. 115-392.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115392>
- [6] Bolívar-Subirats G., Rivetti C., Cortina-Puig M., Barata C., Lacorte S. (2021): Occurrence, toxicity and risk assessment of plastic additives in Besos river, Spain, **Chemosphere**, vol. 263. pp.128-132.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128022>
- [7] Azmin S. N. H. M. A., Hayat N.A.B.M., Nor M. S. M. (2020): Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre, **Journal of Bioresources and Bioproducts**, vol. 5 (4)., pp.248-255.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003>
- [8] Aversa C., Poupolo M., Barletta M. (2020): Tailor-Made Bioplastics for Environmentally Friendly Food Packaging: A Methodological Approach to a Challenging Problem, **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**, vol. 4., pp. 605-616.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10799-4>
- [9] Domene-López D., Delgado-Marín J.J., Martín-Gullon I., García-Quesada J. C., Montalbán M. G. (2019): Comparative study on properties of starch films obtained from potato, corn and wheat using 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate as plasticizer, **International Journal of Biological Macromolecules**, vol. 135., pp. 845-854.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbio-mac.2019.06.004>
- [10] Martin O., Averous L., Della Valle G. (2003): In-line determination of plasticized wheat starch viscoelastic behavior: impact of processing, **Carbohydrate Polymers**, vol. 53 (2)., pp. 169-182.  
[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00040-7)
- [11] De Bondt Y., Liberloo I., Roye C., Goos P., Courtin C. M. (2020): The impact of wheat (*Triticum aestivum* L.) bran on wheat starch gelatinization: A differential scanning calorimetry study, **Carbohydrate Polymers**, vol. 241., pp. 116-262.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116262>
- [12] Santos T. A. Spinacé M. A. S. (2021): Sandwich panel biocomposite of thermoplastic corn starch and bacterial cellulose, **International Journal of Biological Macromolecules**, vol. 167. pp. 358-368.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbio-mac.2020.11.156>
- [13] Zou Y., Yuan C., Cui B., Liu P., Wu Z., Zhao H. (2021): Formation of high amylose corn starch/konjac glucomannan composite film with improved mechanical and barrier properties, **Carbohydrate Polymers**, vol. 251. pp.117-139.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117039>
- [14] Li W., Zhang Z., Wu L., Zhu Z., Xu Z., Wu J. (2021): Cross-linking/sulfonation to improve paste stability, adhesion and film properties of corn starch for warp sizing, **International Journal of Adhesion and Adhesives**, vol. 104., pp. 102-120.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102720>

- [15] Asrofi M., Sapuan S.M., Ilyas R.A., Ramesh M. (2020): Characteristic of composite bioplastics from tapioca starch and sugarcane bagasse fiber: Effect of time duration of ultrasonication (Bath-Type), **Materials Today Proceedings**, Accepted Manuscript
- [16] Roldán-Carillo T., Rodríguez-Vázquez R., Díaz-Cervantes D., Vázquez-Torres H., Manzur-Guzmán A., Torres- Domínguez A. (2021): Starch-based plastic polymer degradation by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* grown on sugarcane bagasse pith: enzyme production, **Bioresource Technology**, vol. 86 (1)., pp. 1-5. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00142-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00142-6)
- [17] Fitch-Vargas P. M., Camacho-Hernández I. L., Martínez-Bustos F., Islás-Rubio A. R., Carillo-Canedo K. I., Calderón-Castro A., Jacobo-Valenzuela N., Carillo-López A., Delgado-Nieblas C. I., Aguilar-Palazuelos E. (2019): Mechanical, physical and microstructural properties of acetylated starch-based biocomposites reinforced with acetylated sugarcane fiber, **Carbohydrate Polymers**, vol. 219., pp. 378-386. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.043>
- [18] Cai Z., Cadek D., Smejkalová P., Kaderabková A., Nová M., Kuta A. (2021): The modification of properties of thermoplastic starch materials: Combining potato starch with natural rubber and epoxidized natural rubber, **Materials Today Communications**, vol. 26. pp. 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101912>
- [19] Ren Y., Wu Z., Shen M., Rong I., Liu W., Xiao W., Xie J. (2021): Improve properties of sweet potato starch film using dual effects: Combination Mesona chinensis Benth polysaccharide and sodium carbonate, **LWT-Food Science and Technology**, vol. 140., pp. 110-679. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110679>
- [20] Wang W., Han L., Wei K. (2021): Plastic film mulching affects N<sub>2</sub>O emission and ammonia oxidizers in drip irrigated potato soil in northwest China, **Science of Total Environment**. vol. 754., p. 142. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142113>
- [21] Hargitai H., Dogossy G. (2011): Polimer-technika, **Széchenyi István Egyetem, Győr**, 5. f. ISBN-szám: 978-615-5391-23-1.
- [22] Gazonato E. C., Maia A.A.D., Da Silva Moris V. A., De Paiva J. M. F. (2018): Thermo-mechanical Properties of Corn Starch Based Film Reinforced with Coffee Ground Waste as Renewable Resource, **Materials research**, vol. 22 (2)., Accepted Manuscript 1980-5373.
- [23] Barkóczy M., Szakál P. (2007): Az éltető zeolitok, **Biokultúra**, vol. 4. pp. 1-9. [10.1371/journal.pone.0031599](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031599).
- [24] Belibi P.C., Daou T.J., Ndjaka J.M.B., Michelin L., Brendle J., Nsom B., Durand B. (2012): Tensile and water barrier properties of cassava starch composite films reinforced by synthetic zeolite and beidellite, **Journal of Food Engineering**, vol. 115, pp. 339-346. [10.1016/j.jfoodeng.2012.10.027](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.027)
- [25] Czeglédi L., Posta J., Stündl L. (1992): Baromfitenyésztés 1: A termékelőállítás biológiai alapjai, **Oktatási Jegyzet**, Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma 978-615-5183-37-9.
- [26] Kashmuri N., Zait M.S.A. (2018): Enhancement of Bio-plastic using Eggshells and Chitosan on Potato Starch Based, **International Journal of Engineering & Technology**, vol. 7, pp. 110-115. [10.14419/ijet.v7i3.32.18408](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.32.18408)
- [27] Farvin S., Surendraraj A., Jacobsen C. (2012): Potatoes: Production, Consumption and Health Benefits, **Nova Science Publishers**, New York (USA), ch. 11. 978-1-62100-714-2.



- [28] Arapoglou D., Varzakas T., Vlyssides A., Israilides C. (2010): Ethanol production from potato peel waste (PPW), **Waste Management**, vol. 30 (10), pp. 1898-1902.  
[10.1016/j.wasman.2010.04.017](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.017)
- [29] Couturier M. F., George K., Schneider M. H. (1996): Thermophysical properties of wood-polymer composites, **Wood Science and Technology**, vol. 30., pp. 179–196.  
<https://doi.org/10.1007/BF00231632>
- [30] Jullanun P., Yoksan R. (2020): Morphological characteristics and properties of TPS/PLA/cassava pulp biocomposites, **Polymer Testing**, vol. 88., pp. 106-117.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106522>
- [31] Khan M.Z. R., Srivastava S. M., Gupta M. K. (2020): A state-of-the-art review on particulate wood polymer composites: Processing, properties and applications, **Polymer Testing**, vol. 89., pp. 106-117.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106721>
- [32] Balázs I., Müller P., Móczó J., Fekete E., Pukánszky B. (2014): A keményítő módosítása – A faliszt hatása a termoplasztikus keményítő mechanikai és funkcionális tulajdonságaira, **MŰANYAG- ÉS GUMIIPARI ÉVKÖNYV**, vol. 12., pp. 57-66.  
[1589-6269](https://doi.org/10.1589-6269).