



MISKOLCI
E G Y E T E M
UNIVERSITY OF MISKOLC

MISKOLCI EGYETEM
ANYAG- ÉS VEGYÉSZMÉRNÖKI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI TANÁCS



Keményítő alapú biopolimerek alkalmazásának vizsgálata természetes töltőanyagokkal

Készítette: Tóth Marcell János

Szalézi Szent Ferenc Gimnázium 12.A. tanulója

Konzulens: Polyákné Kovács Annamária

Miskolci Egyetem Anyag-és Vegyészmérnöki Kar

Miskolc

2023.

Konzulensi hozzájárulás

TDK dolgozat címe: Keményítő alapú biopolimerek alkalmazásának vizsgálata természetes töltőanyagokkal

Szerző(k) neve: Tóth Marcell János

Első konzulens neve: Polyákné Kovács Annamária

Első konzulens beosztása: tudományos segédmunkatárs

Aláírással igazolom, hogy a fenti adatokkal megadott TDK dolgozatot/alkotást én vezetem. A szerző(k) által benyújtott tartalmi kivonatot átolvastam és jóváhagytam. Vállalom, hogy az elkészült dolgozatot a beadás előtt ugyanilyen alaposan átolvasom, és ha úgy ítélem meg, hogy az nem teljesíti a követelményeit, akkor a beadását nem támogatom.

Dátum: 2023.11.14.

konzulens aláírása:

Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet és tiszteletemet kifejezni mindazoknak, akik hozzájárultak ahhoz, hogy a dolgozatom elkészüljön.

A dolgozat elkészülésében elsősorban Polyákné Kovács Annamária a Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Kar Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézet PhD hallgatója, tanszéki mérnöke segített, aki sok energiával és figyelemmel járult hozzá jelen dolgozatom létrejöttéhez.

Szeretném továbbá megköszönni a Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Kar Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézetnek, hogy a méréshez használt eszközöket biztosította.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	7
2. Biopolimerek bemutatása	8
2.1. Definíciók.....	8
2.2. A biopolimerek környezetvédelmi jelentősége	9
2.3. Biopolimerek alkalmazása napjainkban	11
2.4. Politejsav.....	13
2.5. Keményítő.....	14
3. Keményítő alapú biopolimerek vizsgálata természetes töltőanyagokkal	16
3.1. Felhasznált alapanyagok.....	16
3.2. Mintaelőkészítés folyamata	16
3.3. Mérési eredmények bemutatása.....	18
3.3.1. Shore D keménységmérés	18
3.3.2. Szakítószilárdság mérés	24
4. Konklúzió, eredmények értékelése.....	30
5. Felhasznált irodalomjegyzék.....	31

Absztrakt

Jelen TDK dolgozat keményítő alapú polimer (TPS), kávé és szalmarostot tartalmazó kompozit tulajdonságainak megismerését és alkalmazhatóságát vizsgálja. Gyakran előfordul, hogy a műanyag és polimer, mint fogalom egybeolvad a köztudatban, de ez korántsem így van. A műanyag lényegében polimer és segédanyagok együttese, amit valamilyen szintetikus folyamattal állítunk elő. A biopolimerek egyre nagyobb teret hódítanak- annak köszönhetően, hogy napjaink egyik környezetvédelmi problémáját is redukálni tudják. Ezen polimerek vagy megújuló forrásból vagy pedig biológiai úton degradálnak és számos esetben ezen kettő együttese jellemzi. A biopolimerek használatára és kutatására a környezet megóvására való igénye miatt egyre növekvő tendencia figyelhető meg. Egyik legnagyobb előnye a komposztálhatóság, a megújuló nyersanyagok használata és a lehetséges biokompatibilitás mellett. Nem elhanyagolható pozitívuma alkalmazását tekintve, hogy nagy mértékben csökkenti a termékhez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátását. Emellett a műanyagok felhasználása és mennyisége a világban folyamatosan nő, de csak kis részüket hasznosítják csak újra. Jelenleg többségüket hulladékégetőkbe vagy szeméttlerakókba szállítják miután elhasználódnak.

A kísérleti program célja, tehát a lebomló biopolimerek- ezen belül a keményítő alapú TPS polimerek, kávézacc és szalmarost keverékének előállítás, mechanikai tulajdonságainak vizsgálata- ami érinti: a szakítószilárdsági vizsgálatot, keménységmérést és ütési szilárdságát. A keveréket hengerszéken állítottuk elő. A méréseket a Miskolci Egyetem Energia-, Kerámia-, és Polimertechnológiai Intézetben található Instron 5566 típusú gépen történt a követve az ISO 527-1 / ASTM D638 standardot. Az előállított keveréket mezőgazdasági területeken felhasználva lehetne érvényesíteni, mint palánta cserepek alapanyagaként, amely alkalmazásával csökkenteni lehetne a további hulladék keletkezését és a töltőanyagok alkalmazásával a kártevők ellen is védelmet biztosít a kompozit használata. A keményítő a növények energiatárolója, a cellulóz után a legnagyobb mennyiségben képződő megújuló nyersanyag, amely a növényekben apró szemcsék formájában található. A kávézacc kiváló hatással van a savas közeget kedvelő növényekre, hiszen remek nitrogénforrás, javítja a talajban lévő hasznos mikroorganizmusok szaporodását. A szalmarost egyfajta erősítőként funkcionál a kompozitban javítva a feldolgozás során a szerkezetet.

Abstract

This TDK thesis investigates the properties and applicability of a starch-based polymer (TPS), containing these composites: coffee and straw fiber. It often happens that the definition of plastic and polymer merge into one in the public's mind, but this is by no means true. Plastic is essentially a combination of polymer and auxiliary materials, which are produced by some synthetic process. Biopolymers are gaining more and more space thanks to the fact that they can reduce one of today's environmental protection problems. These polymers either come from a renewable source or degrade biologically, and in many cases, they are characterized by a combination of these two. There is a growing trend towards the use and research of biopolymers due to the need to protect the environment. One of its biggest advantages is compostability, the use of renewable raw materials and possible biocompatibility. It's a must mention that the other positive side is that it greatly reduces the carbon dioxide emissions associated with the product. In addition, the use and number of plastics in the world is constantly increasing, but only a small part of them is reused. Currently, most of them are sent to waste incinerators or landfills after they are used up.

The purpose of the experimental program is the production of a mixture of degradable biopolymers, including starch-based TPS polymers, coffee grounds and straw fiber, and the examination of their mechanical properties, which involves: tensile strength testing, hardness measurement and impact strength. The mixture was produced on a rolling mill. The measurements were made on an Instron 5566 machine located at the Institute of Energy, Ceramics and Polymer Technology of the University of Miskolc, following the ISO 527-1 / ASTM D638 standard. The produced mixture could be used in agricultural fields as a raw material for seedling pots, the use of which could reduce the generation of additional waste and with the usage of the fillers in the composite, it also provides protection against pests.

Starch is the energy storage of plants, it is the most abundant renewable raw material after cellulose, which is found in plants in the form of small particles. Coffee grounds have an excellent effect on acid-loving plants, as they are a great source of nitrogen and improve the growth of beneficial microorganisms in the soil. The straw fiber functions as a kind of reinforcement in the composite, improving the structure during processing.

1. Bevezetés

A műanyagok mindennapi életben nélkülözhetetlenek, mert nagyon széles körben használják fel ezeket az anyagokat, pl. ipari és mezőgazdasági felhasználás, élelmiszerek csomagolása, kábel, autóalkatrész, matrac, orvosi eszközök, háztartási eszközök stb. A modern világban az országok gazdasági fejlettségét a szerint is lehet vizsgálni, hogy mennyi műanyagot használnak fel, mivel ez a két adat egyenesen arányos. Habár a műanyagok használata sok előnnyel jár, azonban a modern társadalomban egyre fontosabb a környezettudatos szemlélet és emiatt a műanyagok hátrányos tulajdonságai is napirendre kerültek. Egyrészt kőolajszármazékok, amely véges erőforrás, másrészt a csomagolóanyagok életciklusa rövid. A többszöri újrahasznosítás is problémát jelent az újrafeldolgozás során egyre romló minőség miatt.

Biopolimerek alkalmazásával a fenti két negatív tulajdonság kiküszöbölhető, mivel a biopolimerek hatékonyan helyettesítik az egyszer használatos kőolaj alapú csomagolótermékeket, amelyeknél környezetvédelmi és gazdasági szempontokból az újrahasznosítás nehézkes vagy nem kivitelezhető.

A világ éves műanyagtermelése becslések szerint meghaladja a 480 millió tonnát, ebből a csomagolási ágazat a teljes termelés 40%-át teszi ki. A csomagolóanyagok túlnyomó részét kőolajszármazékokból állítják elő, különösen az egyszer használatos műanyagokat, amelyek a csomagolási szektor több, mint 50%-át teszik ki. Az ilyen egyszer használatos műanyagok élettartama nagyon rövid, néhány órától hetekig tart, így jelentős mennyiségű környezeti hulladékot okoznak. Becslések szerint évente 5 billió műanyag zacskót használnak fel világszerte, és a közelmúltban a COVID-19 világjárvány nagymértékben befolyásolta az egyszer használatos műanyagok gyártásának növekedését, különösen az éttermekből elvihető csomagolások terén.

A polietilén, a polipropilén, a poliészterek, a polisztirol, a polivinil-klorid és a poliamidok az egyszer használatos csomagolóiparban használt fő alapanyagok, mivel olcsók és jó mechanikai, záró- és termikus tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezek többsége azonban nem lebomló és nem újrahasznosítható, valamint veszélyt jelentenek a környezetre, mivel használat után felhalmozódnak a szárazföldön és az óceánokban, továbbá aprózódás révén mikroműanyagok keletkeznek. Ez nagy fenyegetést jelent a globális ökoszisztémára, mivel megzavarja a tengeri és szárazföldi élőlények életét [1.].

A környezet védelmének érdekében világszerte több szabályozás született.

Az Európai Unió több jogszabályt fogadott el ennek érdekében. Az Európai Unió célja, hogy Európa legyen a világ első klímasemleges kontinense. Az Európai Bizottság szakpolitikai keretet fogadott el a bioalapú műanyagok beszerzésére, címkézésére és használatára, valamint a biológiailag lebomló és komposztálható műanyagok használatára vonatkozóan. Ezt az Európai zöld megállapodás (European Green Deal), a körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési terv és a műanyagokra vonatkozó stratégia jelentette be 2019-ben [2.].

Jelen dolgozatomban a biopolimerek egyre növekvő területéből szeretnék egy újszerű témát bemutatni. A körforgásos gazdaság később részletezett elvei is arra inspiráltak, hogy a csomagolások területén kezdjem el a kutatómunkát.

A biológiailag lebomló műanyagok iránti kereslet várhatóan évente átlagosan kilenc százalékkal növekszik 2018 és 2023 között, ami 2023-ban közel 550000 tonna globális keresletet eredményez. Bár a piac növekedése ígéretes, a biológiailag lebomló polimerek piacának növekedése lassabb volt azokban a régiókban, ahol nem írták elő a használatukat, mint azokban a régiókban, amelyekben jogszabály szabályozta [3.].

2. Biopolimerek bemutatása

2.1. Definíciók

Dolgozatomban a következő definíciókat fogjuk használni:

Polimerek: A polimerek olyan hosszúláncú vegyületek, amelyekben sok ezer elemi építőegység: monomer kötődik egymáshoz elsődleges kémiai kötéssel [4.]. Olyan hosszúláncú vegyület (makromolekula) amelyben sok száz-ezer építőegység kapcsolódik össze egymással. Lehet természetes, mint például a keményítő, cellulóz, fehérje vagy mesterséges, mint például a polietilén (PE), polipropilén (PP), poli(etilén-tereftalát) (PET), polivinil-klorid (PVC) vagy a poliamid (PA).

Műanyagok: Mesterséges polimer (kőolajszármazékból, emberi közreműködéssel előállított), sok esetben adalékanyagokkal társítva. A műanyagok kiváló mérnöki alapanyagok, nélkülük elképzelhetetlen a modern kor emberének élete.

Biopolimerek: Olyan polimer, amely megújuló erőforrásból előállítható és/vagy biológiai úton lebontható, azaz komposztálva, vagy biotikus környezetbe helyezve a gombák, baktériumok vagy algák enzimatis bontó képességének hatására hónapok, esetleg néhány év alatt szemmel nem látható részekre (humusz, víz, szén-dioxid) bomlik és ezek a bomlástermékek nem szennyezik a környezetet vagy a komposztot [5.].

Bioalapú műanyagok: az anyag vagy termék részben vagy teljes mértékben biomasszából készült, nem pedig fosszilis nyersanyagokból. Ez a biomassa lehet kukorica, cukornád vagy fa. Nem feltétlenül biológiailag lebomló vagy komposztálható.

Biológiailag lebontható műanyagok: A biológiai lebomlás olyan biokémiai folyamat, amely során az adott környezetben jelenlévő mikroorganizmusok átalakítják az anyagot vízzé, széndioxiddá, illetve biomasszává. A biológiai lebomlás folyamat az adott környezetben uralkodó körülményektől (pl. hőmérséklet, oltóanyag, páratartalom) az anyagminőségtől és annak alkalmazásától függ.

Komposztálható műanyagok: A biológiailag lebomló műanyagok egy része. A komposztálhatóság azt a tulajdonságot írja le, hogy ipari vagy otthoni komposztálási körülmények között biológiailag lebontható [6.].

Bár mind a bioalapú, mind a biológiailag lebomló polimerek a biopolimer gyűjtőfogalom alá tartoznak, van néhány alapvető különbség. A bioalapú polimereket részben vagy egészben megújuló biomassza-forrásokból, például növényekből, állatokból és mikroorganizmusokból állítják elő. Másrészt a biológiailag lebomló polimerek egyszerűen olyan polimerekre utalnak, amelyek az élő szervezetek hatására vízzé, széndioxiddá és biomasszává bomlanak [7.].

2.2. A biopolimerek környezetvédelmi jelentősége

Az emberi történelem egyik korszakában a műanyag csomagolás jelentős áttörést jelentett. A műanyag csomagolás viszonylag olcsó, könnyű, higiénikus, sokoldalú, törésálló és jól zárható. Ezenkívül a műanyagok tartós felületeket biztosítanak a termékinformációk nyomtatásához. A műanyagok több mint 400 év alatt bomlanak le. A bioműanyagok használata lehet megoldás a műanyag hulladék csökkentésére.

Az UNEP becslése szerint percenként 1 millió műanyag palackot vásárolnak, és évente 5 billió műanyag zacskót használnak el világszerte. Összességében a világ 460 millió tonna műanyagot állított elő 2019-ben, ami az üvegházhatású gázok kibocsátásának 3,4%-ához járult hozzá. Könnyű súlyuknak köszönhetően a műanyagok energiát takarítanak meg a szállítás során. Például egy joghurt üvegedénye 85 g, a műanyag megfelelője pedig 5,5 g. Mivel az üvegitalok a rakomány 36%-át teszik ki, a műanyag italok pedig 3,56%-ot, a műanyag joghurtok szállítására csak két teherautót, míg ugyanennyi üvegital szállítására 3 teherautót kell használni. A műanyagszennyezés főként a makroműanyagok csekély mértékű ártalmatlanításából ered.

A Plastic Packaging adatbázisa szerint 906 vegyi anyag fordul elő műanyag csomagolásban. Ebből 63 veszélyes az emberi egészségre, 68 környezetre veszélyes, hét perzisztens, bioakkumulatív és mérgező, és 34 az endokrin rendszert károsító vegyi anyag. Ezek a veszélyes vegyszerek oldószerek, monomerek, lágyítók, intermedierek, biocidok, gyorsítók, felületaktív anyagok, stabilizátorok, égésgátlók és színezékek formájában vannak jelen.

A hagyományos műanyagok három népszerű alternatívája a bioműanyagok, a biológiailag lebomló műanyagok és a komposztálható műanyagok. A biopolimerek, a bioalapú lebomló polimerek a szintetikus polimerek jobb alternatívái. Ezek az anyagok biológiailag lebontható funkciós csoportokkal rendelkeznek, beleértve az acetált, szilil-étert, ketont stb.

Sajnos a műanyagoknak csak 1%-a minősül bioalapúnak, biológiailag lebomlónak vagy komposztálhatónak. 2020-ban 2,1 millió tonna bioműanyagot állítottak elő világszerte, és 47%-át csomagolásra használták. A biológiailag lebomló polimer termékcsomagolás értéke 2019-ben 4,65 milliárd dollár volt, és a becslések szerint 2025-re 9 milliárd dollárra nő [8.].

Az EU-ban műanyag csomagolási hulladékon alapuló saját forrást határoztak meg. 2021. január 1-jétől a 2021–2027-es uniós költségvetés új bevételi forrásaként bevezették a nem újrafeldolgozott műanyag csomagolási hulladékon alapuló hozzájárulást. Ez arra ösztönzi a tagállamokat, hogy csökkentsék a csomagolási hulladékok mennyiségét [9.].

Az Európai Bizottság új uniós szintű szabályokat javasolt a csomagolásra vonatkozóan, hogy kezelje ezt a folyamatosan növekvő hulladékforrást és a fogyasztók frusztrációját. Minden európai évente átlagosan csaknem 180 kg csomagolási hulladékot termel. Intézkedés hiányában az EU-ban 2030-ig a csomagolási hulladék mennyisége további 19%-kal, a műanyag csomagolási hulladék mennyisége pedig akár 46%-kal nőne. Az új szabályok célja e tendencia megállítása. 2030-ra a javasolt intézkedések 43 millió tonnára csökkentenék a csomagolásból származó üvegházhatásúgáz-kibocsátást, szemben a becsült 66 millió tonnával, ha nem változtatnák meg a jogszabályokat. A vízhasználat 1,1 millió m³-rel csökkenne. A gazdaságot és a társadalmat érő környezeti kár költsége a 2030-as alapforgatókönyvhöz képest 6,4 milliárd euróval csökkenne [10.].

A körkörös gazdaság koncepciója mindenütt jelen volt az elmúlt években, és folyamatosan fejlődik. A körforgásos gazdaság a témakörök széles skáláját öleli fel a hulladékgazdálkodástól az anyagokon át az ellátási láncig, amelyek között a csomagolás elengedhetetlen része a valódi körforgásos gazdaság megvalósításának. A csomagolóipar jelentős mennyiségű hulladékot hoz létre, amely jelenleg egyre nagyobb aggodalomra ad okot az ökoszisztémában. A csomagolás tervezését a körforgásos gazdaság felé vezető lényeges lépcsőfoknak kell tekinteni.

Az egészségesebb és fenntartható ökoszisztéma iránti sürgető igény fényében a körkörös gazdaság koncepció kidolgozását javasolták az Európai Unió döntéshozói. A csomagolási ágazat az összes előállított műanyag 40,5%-át használja, amely a legnagyobb műanyagfogyasztási ágazat az EU-ban. Az újrahasznosítási arány azonban még mindig alacsony, 34,6%, és aggasztó módon a műanyag hulladék több mint 23%-a még mindig hulladéklerakókba kerül. Az EU hulladékokról szóló jogszabályai meghatározzák a hulladékok újrahasznosítására vonatkozó célokat és rendelkezéseket. A települési hulladék újrafelhasználásának és újrafeldolgozásának elérendő szintje 2025-ig 55 %, 2030-ig 60 % és 2035-ig 65 %, amint azt a 2018/851 Hulladék-keretirányelv részletezi. A terv lényeges része a fenntartható termékek tervezése és gyártása, valamint a fogyasztási szokások átalakítása. Az anyagválasztás kétségtelenül a körforgásos gazdaság koncepciójának középpontjában áll.

Az elmúlt években a bioanyagok népszerű csomagolóanyag-lehetőségekké váltak a csomagolástervezők számára a körkörös gazdaság koncepciójának megvalósítása érdekében. Az élelmiszer-hulladékból származó nyersanyagot csomagolásra alkalmas formává dolgozzák fel, majd újra feldolgozzák, hogy visszakerülhessen a természetbe, és a fogyasztói felhasználás után újra alapanyag legyen [11.].

2.3. Biopolimerek alkalmazása napjainkban

A biopolimerek széleskörű alkalmazását több példán keresztül szeretném bemutatni.

Biopolimer kompozitok fejlesztése mezőgazdasági biomassza hulladékból

Évről évre óriási mennyiségű mezőgazdasági hulladék keletkezik, ami gazdasági és környezetvédelmi szempontból is jelentős kérdés. Ezek a hulladékok a körforgásos gazdaság elveinek megfelelően másodnyersanyagként hasznosíthatók értéknövelt termékek előállítására.

A mezőgazdasági maradványok és hulladékok, mint például a fapor, cukornádszár és cirokszár, rizshéj és a gyümölcsök és zöldségek egyéb nem ehető részei fenntartható módon felhasználhatók biopolimerek (cellulóz és keményítő) előállítására. A biokompozitokat általában nem szerkezeti és nem teherhordó alkalmazásokban használják. Biokompozitok alkalmazása az építőiparban és a háztartásokban: híd lencsázal szerkezeti tömbből len biokompozit kapaszkodóval, biokompozit alapú konyhai eszközök, épületelemek (tetőpanel és falpanel), biokompozitból készült szék, stb [12.].

Biopolimerek élelmiszer-csomagolásokban

Újszerű, jobb gázzáró képességgel és hosszabb eltarthatósággal rendelkező biopolimerek fejlesztése révén az élelmiszer-csomagolás minősége fejlődik. A fehérje alapú polimerek egyedi fizikai és kémiai tulajdonságokat mutatnak a film/bevonat kialakításában. Ezenkívül ezek a biopolimer anyagok funkciói javíthatók különféle adalékokkal és töltőanyagokkal, pl. lágyítókkal, fém/fém-oxid nanorészecskékkel, antioxidánsokkal és antibakteriális molekulákkal [13.].

Biopolimer alapú mikrokapszulázás a fenntartható textilfejlesztésben

A termékfejlesztés során alkalmazott mikrokapszulázási módszerek olyan innovatív termékeket eredményezhetnek, amelyek stabilitása, funkcionalitása és aktív kémiai kibocsátása jobb. A mikrokapszulák szintetikus polimerek helyett készülhetnek biopolimerekből a biológiai lebonthatóságuk, alacsonyabb előállítási költségük és jobb elérhetőségük miatt.

A formaldehid gyanták (fenol-formaldehid, melamin-formaldehid vagy karbamid-formaldehid) hasznosak a termikus stabilitásuk miatt, de jelentős kockázatot jelentenek az emberi és a környezeti egészségre rákkeltő tulajdonságuk miatt. Ezek a hőre keményedő polimerek nem újrahasznosíthatók.

A fogyasztók manapság egyre jobban érdeklődnek és igénylik a textíliák előállítása során a fenntartható természetes anyagok felhasználását. A biopolimerek közül a kitozán antimikrobiális és rovarrezisztens, az alginát antibakteriális és színmegtartó, a cellulóz hőstabilitási funkciót biztosít a textilekben [14.].

A biopolimer kitozán alkalmazása

A biopolimer kitozán előnyös tulajdonságai miatt vált népszerűvé, beleértve a biológiai lebonthatóságot, a biokompatibilitást és nincsen toxikus tulajdonsága. Ezen túlmenően film- és bevonatképző képessége fokozza csomagolóanyagokban való felhasználását, míg az energiagyűjtésben rejlő potenciál új lehetőségeket nyit meg a fenntartható technológiák előtt. Alkalmazási területe biológiailag lebomló piezoelektromos energiagyűjtők és érzékelők, pl. nedvesség, gáz, alkoholérzékelők [15.].

Biopolimer alapú kompozitok szöveti alkalmazásokhoz

Szinte tízpercenként egy személy kerül fel az Egyesült Államok nemzeti transzplantációs várólistájára betegségekkel és sérülésekkel összefüggő szerv-/szövetkárosodások következtében. Mivel a szervadományozás még mindig ritka, naponta körülbelül húsz amerikai hal meg a szervátültetések hiánya miatt. Egyedülálló tulajdonságaik miatt a biopolimerek alapvető szerepet játszanak a szövetmérnöki alkalmazásokban.

Az idős emberi szívnek gyenge a regenerációs képessége. A szív- és érrendszeri rendellenességek nagymértékben az érsejtek fokozott oxidatív sérüléseinek tulajdoníthatók. A kitozán olyan biopolimer, amely képes gátolni az oxidatív stressz okozta károsodást. A biokompozitok várhatóan kulcsfontosságú szerepet fognak játszani a jövőben a szövetmérnöki és regeneratív gyógyászat fejlesztésében [16.].

Biopolimer alapú öngyógyító hidrogélek

A hidrogélek olyan polimer anyagok, amelyek háromdimenziós, vizet tartalmazó hálózatszerkezettel rendelkeznek, és hasonlóak a lágyszövetekhez. A biopolimerekből előállított hidrogélek mindig biológiailag lebonthatóak és jobb biokompatibilitásúak, mint a szintetikus polimerek.

Az öngyógyító hidrogél egy új típusú anyag, amely bizonyította előnyeit az orvosbiológiai alkalmazások területén. A hagyományos hidrogélekhez képest az öngyógyító hidrogélek képesek visszaállítani eredeti szerkezetüket és funkcionalitásukat a károsodást követően, hatékonyan meghosszabbítva a hidrogél anyagok élettartamát és csökkentve az emberi szervezetbe beültetett anyagok meghibásodásából eredő életveszélyes szövődmények lehetőségét. A zselatint, kitozánt, nátrium-alginátot, cellulózt és ezek származékait gyakran használják biopolimer alapú hidrogélek előállítására. Emellett a kutatók a biomassa anyagok természetes környezetbarát jellegének és biokompatibilitásának, valamint a benne rejlő fizikai és kémiai tulajdonságaiknak a hasznosítására összpontosítanak. Ezért a biopolimer alapú öngyógyító hidrogél anyagok gyakorlati alkalmazási területei: szövettechnika, sebkötések, rugalmas érzékelők, elektronikus bőrök és egészségügyi monitorozás [17.].

2.4. Politejsav

Politejsav (PLA) egy alifás poliészter, amelyet laktid monomerek gyűrűnyitási polimerizációjával szintetizálnak. A tejsavmonomereket megújuló anyagok, például kukorica fermentációjából nyerhetjük. A PLA nagy molekulatömeggel, nagy átlátszósággal és nagyon alacsony víz- és gázáteresztő képességgel rendelkezik, így jó csomagolóanyag [18.].

A poli(tejsav) vagy polilaktid (PLA) természetes forrásokból származhat, például maniókából, kukoricából és cukorrépából.

A PLA kétféleképpen szintetizálható: az egyik a tejsav közvetlen polikondenzációja és a másik a laktid gyűrűnyitási polimerizációja.

Közvetlen kondenzáció esetén oldószert használnak és magasabb reakcióidő szükséges. A kapott polimer alacsony molekulatömegű és gyenge mechanikai tulajdonságú.

A laktid gyűrűnyitó polimerizációja katalizátort igényel, és szabályozott molekulatömegű PLA-t eredményez, az alkalmazott monomertől és a reakciókörülményektől függően. Katalizátorként széles körben ón (II) 2-etil-hexanoátot vagy az ón-oktoátot ($\text{Sn}(\text{Oct})_2$) használnak a nagy reakciósebessége, a monomer olvadáskor való oldhatósága és a nagy molekulatömegű termék előállítása miatt. A PLA előállítása alacsony energiafogyasztású és minimális üvegházhatású gázokat termel.

Ez egy fenntartható műanyag, amely biológiailag lebomlik és biológiailag kompatibilis. Így elterjedt orvosi alkalmazásokban, beleértve a varratokat, a csontöregítő anyagokat és a mikrogömbökben való gyógyszer szállítást [19.].

A PLA a legígéretesebb mátrixanyag a fenntartható biokompozitok előállításához biológiai lebonthatósága, jó elérhetősége, környezetbarátsága, antibakteriális tulajdonságai, jó mechanikai és termikus tulajdonságai miatt. A PLA alapú biokompozitok gazdaságosak, az erősítés típusától függően teljesen/részben biológiailag lebonthatók, könnyűek, jó termikus és mechanikai tulajdonságokkal is rendelkeznek. Az emberi test könnyen elfogadja a PLA-t, ezért a PLA volt az első polimer, amelyet orvosi biológiai alkalmazásokhoz használtak [20.].

Napjainkban a PLA-t fosszilis alapú polimerek helyettesítésére használják az egészségügyben és az egyszer használatos alkalmazásokban, például csomagolási alkalmazásokban. A PLA azonban sokkal szélesebb alkalmazási kört kínál a sztereoiszomerjeinek, PL(L)A és PL(D)A kombinációjának célzott használatával. A sokféle PLA-típus többféle célra használható tartós fogyasztási cikkekben, például bútorokban [21.].

2.5. Keményítő

A bioalapú műanyagokat megújuló erőforrásokból állítják elő, és biológiailag lebonthatók, pl. keményítő. A bioalapú műanyagok előállításának egyik megközelítése a természetes bioalapú műanyagok (cellulóz és keményítő) közvetlen felhasználása részleges módosításokkal. A növényekből szintetizált biológiailag lebomló polimer a keményítő, amely szemcsékként halmozódik fel a növényi sejtekben, és ezek a szemcsék kristályos és amorf régiókkal is rendelkeznek, és amilózból és amilopektinből állnak. A kereskedelemben beszerezhető keményítőt főként burgonyából nyerik ki, további források kukorica, rizs, búza, tápióka, stb.

A keményítő alapú polimerek hatékonyan használhatók a legkülönbözőbb alkalmazásokban, mivel könnyen keverhetők és kompozit anyagok gyárthatóak belőle. A keményítő esetében zselatinizálást végeznek a kristályszerkezet roncsolása érdekében, és ezt a típusú keményítőt termopolimer keményítőnek (TPS) nevezik.

A keményítő alapú kompozit olcsó a többi biológiailag lebomló polimerhez képest. Jelenleg a TPS foglalja el a legnagyobb részesedést a globális biopolimerek piacán, mivel széles körben alkalmas különféle területeken, mint például a csomagolóipar és a mezőgazdaság [22.].

Az éves keményítőtermelés 2,8 milliárd tonna. A globális piac mérete 2026-ra várhatóan eléri a 160,3 millió tonnát. A keményítő alapegységei az amilopektin és az amilóz poliglükánjai, amelyek elágazó lánc α -1,6 kötésekből és egyenes láncú α -1,4-glükózid kötésekből áll.

A keményítőláncokon található -OH funkciós csoportok magas fokú hidrofilitást és könnyű módosítást tesznek lehetővé észterezési és éterezési eljárásokkal, hogy javítsák tulajdonságait, valamint növeljék a különböző területeken való alkalmazását. Továbbá hő hatására zselatinizálódik, a nagyfokú kristályosság, a mérsékelt duzzadási arány jellemzi.

Az adalék a polimer kompozit készítésben egy általános kifejezés, amelyet a biopolimer mátrixhoz adott anyagokat jelenti. A szerves adalékanyagok többnyire természetes rostoknak nevezett növényekből származnak (len, kender, juta, kókuszrost stb.) A természetes szálak kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, ha biokompozitokban erősítőként használják [23.].

A nanoanyagok felhasználása jelentős a keményítőmátrix megerősítése során. A keményítő és a töltőanyagok közötti jó tapadás elengedhetetlen a tulajdonságok javításához. Míg a keményítő bőségesen hozzáférhető és sokoldalúan felhasználható, jó vízzoldhatósága és törékenysége negatívan befolyásolja filmképző képességét. A keményítő termikus és mechanikai tulajdonságai természetes töltőanyagok beépítésével javíthatók, így a biokompozitokban kiemelkedő tulajdonságok érhetők el. A különböző mezőgazdasági forrásokból nyert rostok alkalmasak különböző biológiai eredetű kompozitok előállítására, és viszonylag alacsony költségük miatt egyre nő az ipari igény is [24.].

A mezőgazdasági vagy csomagolási alkalmazásokhoz megfelelő mátrixpolimer kifejlesztéséhez különböző összetételű termoplasztikus keményítő (TPS)/kitozán kompozitokat is lehet használni, az előállítás fröccsöntéssel vagy sajtolásos fröccsöntéssel történhet. A kitozán töltőanyagként diszpergált szerkezetet képez a TPS mintákban. A kitozán hozzáadása jelentős hatással van a TPS-alapú kompozitok vízfelvételére. A kitozán kismértékben csökkenti a kompozitok maximális vízfelvételét és jelentősen csökkenti a vízfelvétel sebességét, különösen a fröccsöntéssel készített mintákban [25.].

3. Keményítő alapú biopolimerek vizsgálata természetes töltőanyagokkal

3.1. Felhasznált alapanyagok

Termoplasztikus keményítő:

PT Intera Lestari Polimer indonéz cég ENVIPLAST® WS márkájú TPS terméke [26.].

Biológiai alapú, biológiailag lebomló polimer vegyület, maniókából készült.

Főbb tulajdonságai:

- Sűrűség: 1,27-1,32 g/cm³
- Szakítószilárdság: 12-18 MPa
- Szakadási nyúlás: 225-300 %
- Felületi ellenállás: $10^{7.5}$ - 10^{10} Ohm/cm²
- Feldolgozási hőmérséklet: 150-170 °C
- Nem tartalmaz PE / PP / PET / PS-t.
- Film minőségű, fóliák és zacskók céljára tervezték.
- Érzékeny a nedvességre.
- Újra felhasználható.
- Biológiailag lebomlik a természetben.
- Használat után komposztálható.

Kávézacc: Kiskereskedelmi forgalomban kapható kávé főzése után maradt kávézacc. A kávézacc kiváló hatással van a savas közeget kedvelő növényekre, hiszen remek nitrogénforrás, javítja a talajban lévő hasznos mikroorganizmusok szaporodását.

Szalma: Mezőgazdasági területről származó gabona szalmája. A szalmarost egyfajta erősítőként funkcionál a kompozitban javítva a feldolgozás során a szerkezetet.

3.2. Mintaelőkészítés folyamata

A TPS granulátumot az ME-AVK Polimertechnológiai Intézetében található kemencében 3 napig 60 °C-on szárítottuk, mivel a granulátum víztartalma nagymértékben negatívan befolyásolja a megmunkálhatóságot a lehető legkisebb nedvességtartalmat szeretnénk volna elérni. Ezt követően megőröltük a töltőanyagokat és a szemcseméretet 160 µm alattira állítottuk be frakcionálással.

A kávézaccot is szükséges volt előkészíteni, hogy a megfelelő kondícióban kerüljön a TPS granulátumhoz. Ehhez szárítószekrényben 55 °C-on 1 napig szárítottuk a zaccot.

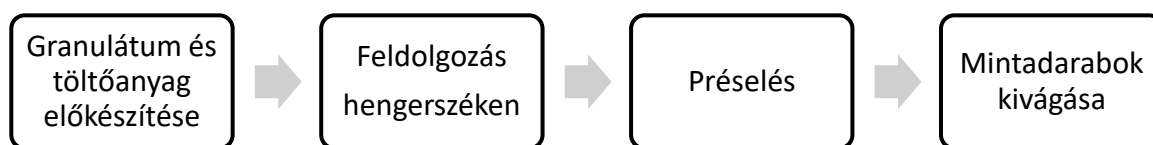
A szalmát 60 °C-on két órára szintén szárítószekrénybe helyeztük felhasználás előtt.

Három mintát készítettünk: 100% TPS, 90% TPS és 10 % kávézacc, 90% TPS és 10 % szalma.



1. ábra: TPS, kávézacc (előkészítés előtt és után) és szalma (előkészítés előtt és után)

(Forrás: A szerző saját képe)



2. ábra: Mintaelőkészítés lépései

(Forrás: A szerző saját ábrája)

A kész töltőanyagokat ezután a TPS granulátummal hengerszéken feldolgoztunk 10 % -os töltőanyagtartalommal. Hengerszéken hengereltük a mintákat 90 °C-on, majd 2,7 mm vastagságúra préseltük. A szabványnak megfelelően CEAST mintakivágóval vágtuk ki a mintadarabokat.



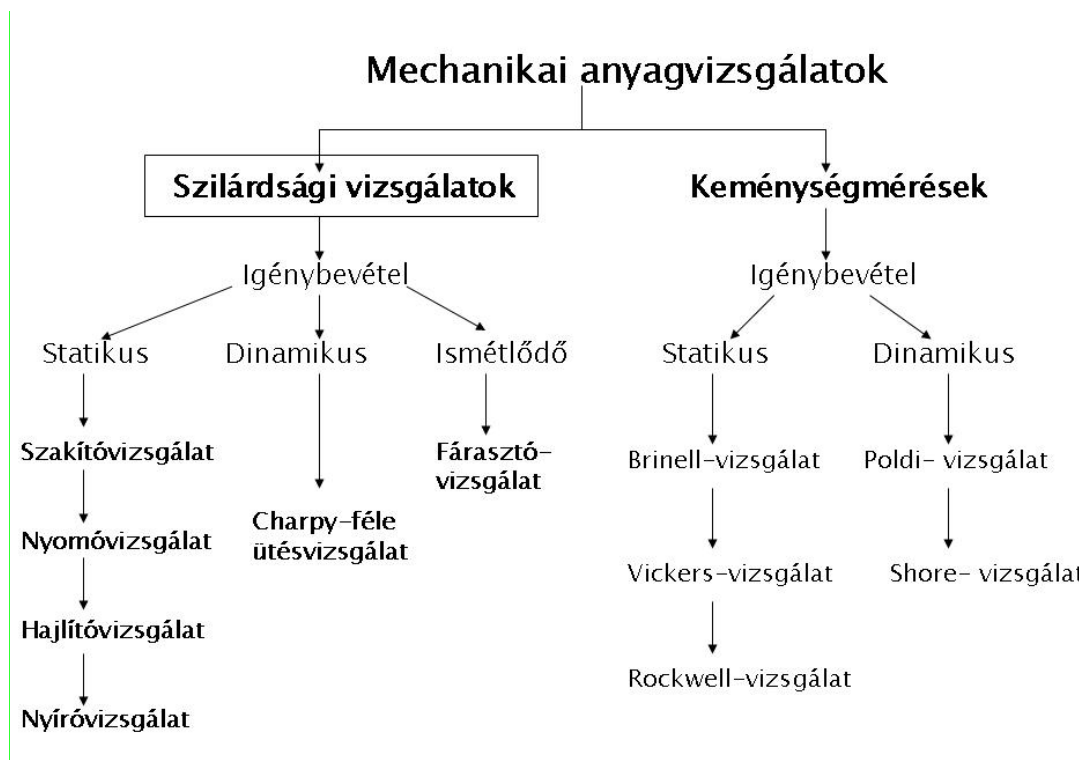
3. ábra: Minták hengerlése

(Forrás: A szerző saját képe)

3.3. Mérési eredmények bemutatása

Mechanikai vizsgálatok

Az elkészített mintákat mechanikai igénybevételnek vetettem alá.



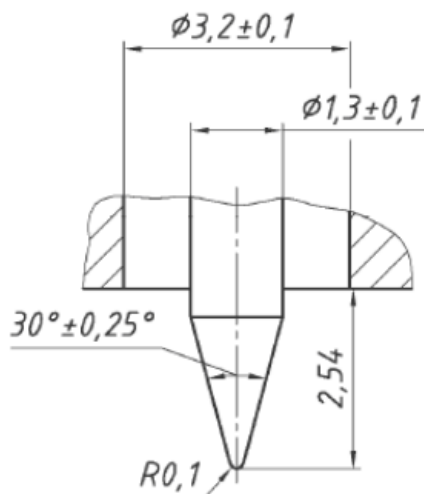
4. ábra: A mechanikai anyagvizsgálatok felosztása az alábbi ábrán látható. [27.].

3.3.1. Shore D keménységmérés

A keménységmérés a mai napig nagyon jelentős mérési módszer az iparban és a kutatás-fejlesztésben egyaránt. A mechanikai anyagvizsgálatban a keménység fogalma alatt a szilárd anyagok azon ellenállását értjük, amelyet a szilárd anyagok kifejtenek a beléjük hatoló, illetve velük kölcsönhatásba kerülő keményebb vizsgálószerszámmal szemben. A behatoló testtől és erőtől függően sokfajta keménységmérési eljárás és keménységi skála létezik [28.].

1822-ben F. Mohs által kifejlesztett keménységi skála képezi a keménység mennyiségi meghatározásának alapját. A polimerek keménysége a szilárd anyag alakváltozással szemben kifejtett ellenállása. Leggyakrabban használt módszer polimerek esetén a Shore keménységmérés, ami egy dinamikus keménységmérés, ahol rövid idő alatt nyomódik a benyomófej a vizsgálandó anyagba. A rúgóval terhelt szűrőszerszám rugalmas benyomódásának mélységéből határozható meg a keménység értéke. A Shore keménység több betűjelzéssel ellátott változata is ismert, leggyakrabban az A és a D változatát használják.

A keménység mértéke fordítottan arányos a benyomódás mélységével. A mérés során a keménység értékét egy mérőóra segítségével közvetlenül olvashatjuk le. A lágyabb polimerek és gumik keménységének meghatározásához a Shore A típusú vizsgálatot, míg a Shore D típusú vizsgálatot keményebb polimerek esetében alkalmazzák [29.].



5. ábra: Shore D keménységmérő fej vázlata [29.]

A behatoló tű olyan kúpfelület, amelynek hegyét 0,1 mm méretű csúcsrádiusszal látták el. A vizsgálatok összehasonlíthatósága miatt szabvány határozza meg a tű átmérőjét és kinyúlási hosszát. Nem szükséges a behatoló szerszámot gyémánt betéttel ellátni, mert a polimerek keménysége kisebb, mint a fémeké. A behatoló szerszám mindig acél. A terhelő erő csökkentése azonban lényeges, ezért a terhelőerőt behatoló tűre pontosan kalibrált rugóval adják.

$$F = 445 \cdot H_D \text{ (mN)}$$

ahol H_D a keménység Shore D keménységmérőn leolvasva.

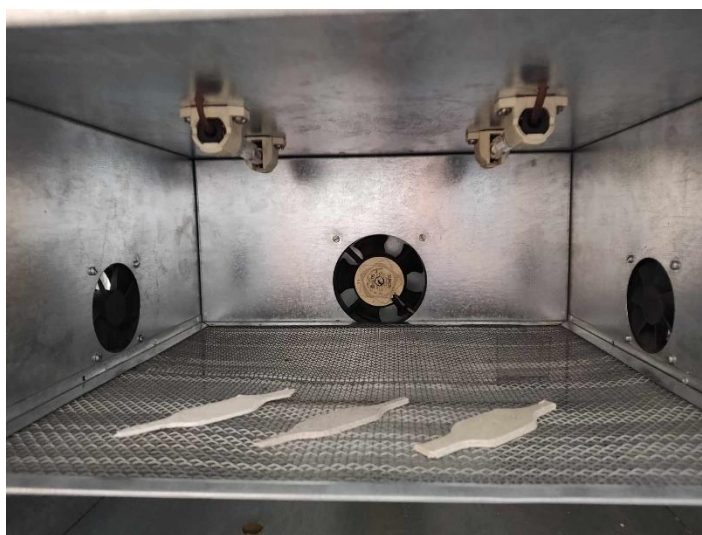
A présminták elkészítését követően lehetőség nyílt a mintákon keménységmérésre. Ezt a Miskolci Egyetem Anyag- és Vegyészmérnöki Kar Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézet Shore-D keménységmérőjével végeztem.



6. ábra: Shore D keménységmérő
(Forrás: A szerző saját képe)

A minták keménységét az után is megmértem, hogy UV-fény hatásának tettem ki. Ez azért lényeges, mert szabadtéri alkalmazás esetében különböző időjárási hatások érik a polimereket. Az éghajlati tényezők közül jelentős befolyásoló tényező a napsugárzás ultraibolya spektruma. Ez okozza a legnagyobb károsodást a polimerek esetében degradáció lejátszódása miatt. UV-fény hatására a polimerek általában kikeményednek.

Az UV-kamrában 1 óra tartózkodás 1 évnek felel meg.



7. ábra: Minták az UV-kamrában
(Forrás: A szerző saját képe)

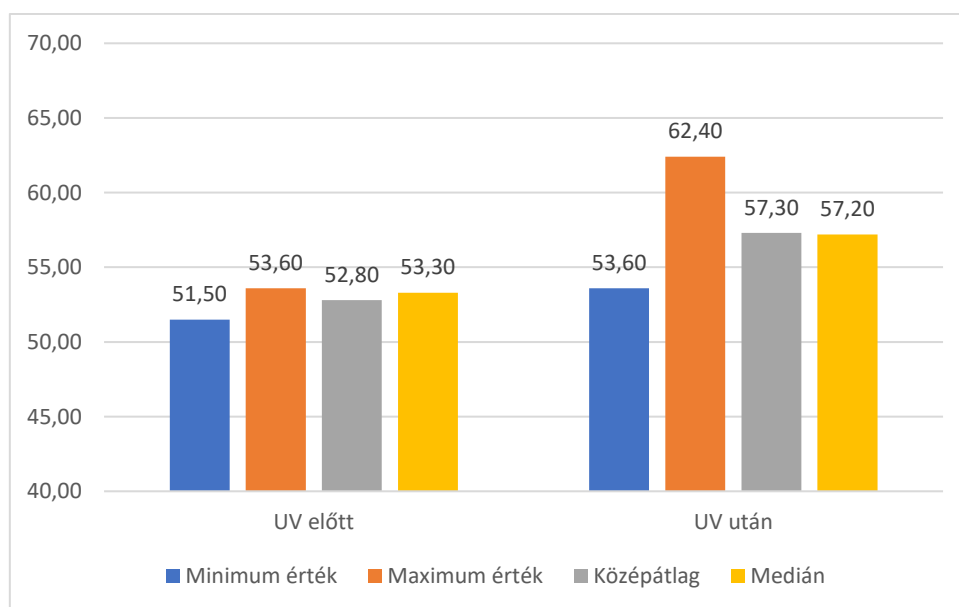
A következő táblázat és ábrák segítségével szeretném bemutatni az ultraibolya fény hatását a keménységi értékekre a mért mintákon.

	TPS		TPS+kávészacc		TPS+szalma	
	UV előtt	UV után	UV előtt	UV után	UV előtt	UV után
Minimum érték	51,50	53,60	56,00	63,40	45,80	48,10
Maximum érték	53,60	62,40	58,90	65,60	52,00	51,20
Középátlag	52,80	57,30	56,97	64,57	48,37	49,67
Medián	53,30	57,20	56,00	64,70	47,30	49,70
Szórás	1,14	4,42	1,67	1,11	3,23	1,55

1. táblázat: Shore D keménységmérés eredményei

(Forrás: A szerző saját táblázata)

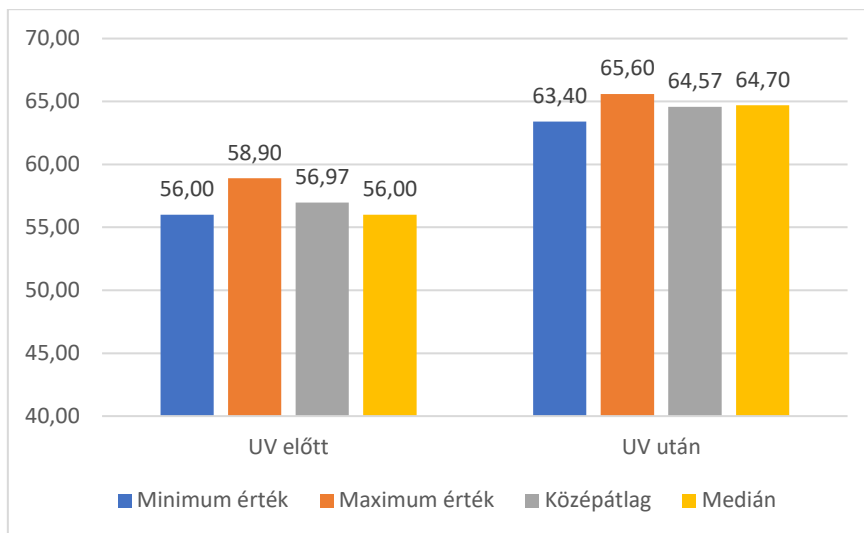
A 8-11. ábrákon azonos skálát használtam a jobb összehasonlíthatóság miatt.



8. ábra: TPS minta keménysége

(Forrás: A szerző saját ábrája)

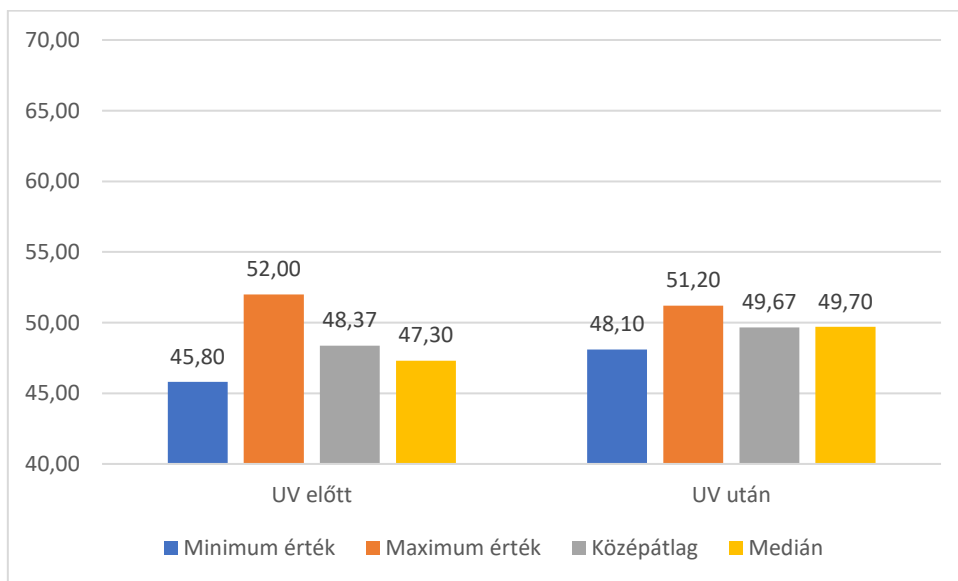
A 8. számú ábra szemlélteti a töltetlen TPS minták keménységének értéket összegezve jól látható, hogy minden esetben az UV hatás növelte a keménységet. Legnagyobb érték a TPS-nél a maximum érték 53,60-ról 62,40-re módosult.



9. ábra: Kávézaccal töltött TPS minta keménysége

(Forrás: A szerző saját ábrája)

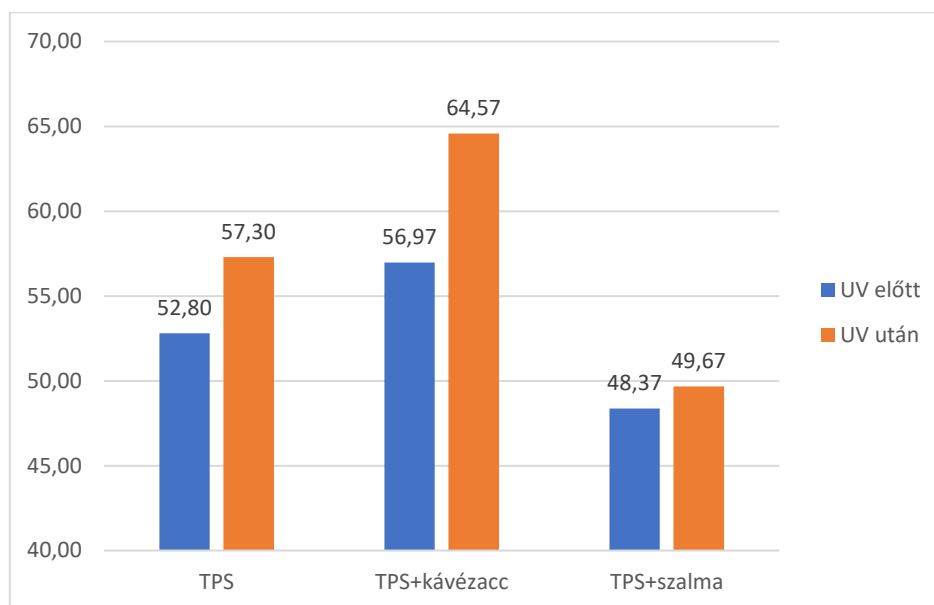
A 9. ábrán látható oszlopdiagrammban rögzített keménységmérés eredményeit láthatjuk a TPS és kávézacc minták esetében. A keménység átlagosan 13 százalékkal emelkedett.



10. ábra: Szalmával töltött TPS minta keménysége

(Forrás: A szerző saját ábrája)

A 10. ábrán feltüntetett értékekből megállapítható, hogy összevetve a TPS és a TPS+ kávézaccal töltött mintákkal a szalmával töltött minták keménysége volt a legalacsonyabb. Ellenben az UV hatására kisebb mértékben növekedett a keménység.



11. ábra: A minták keménységének középértéke

(Forrás: A szerző saját ábrája)

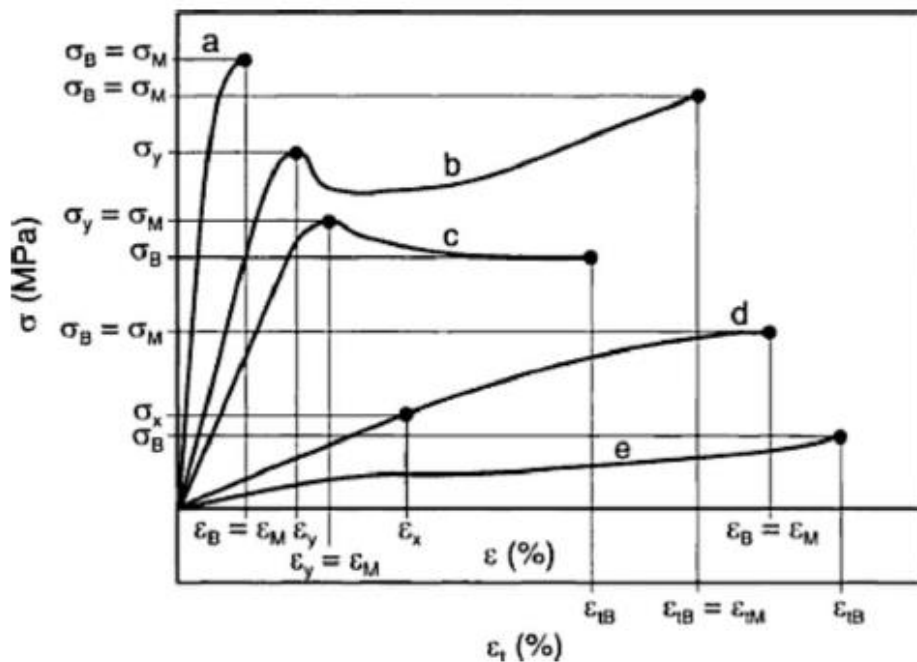
A 8-11. ábrákon látható, hogy minden töltet esetében ultraibolyafény után felkeményedtek a minták. Legnagyobb változást a kávézaccal töltött minta mutatta, ahol 56,97-ről 64,57-re emelkedett a keménység. UV- hatás utáni értékek közül a legnagyobb eredményt a kávézacc töltet esetén mértem, ami a TPS minta értékét is meghaladta. Ebben az esetben 13,34 %-kal emelkedett a keménysége a kávézaccal töltött mintáknak UV után. A töltetlen keményítő minta keménysége UV után 8,523 %-kal emelkedett. A szalmával töltött minta értéke mutatta a legkisebb differenciált, ahol az UV előtti mintadarab keménységéhez képest csak 5,074 %-kal emelkedett a mért érték. Az 1. táblázat mutatja, hogy a tiszta TPS keménységéhez képest a keménység növekedett 7,897 %-val kávézacc hozzáadásakor, míg 8,390 %-val redukálódott szalma alkalmazásakor. UV kezelés után pedig a tiszta TPS keménységéhez képest a keménység növekedett 12,688 %-val kávézacc hozzáadásakor, míg 13,316 %-val redukálódott szalma alkalmazásakor.

3.3.2. Szakítószilárdság mérés

A vizsgálatokhoz a Miskolci Egyetem Kerámia- és Polimermérnöki Intézetében Instron 5566 típusú univerzális szakítógépét használtam. A vizsgálat során egy anyag húzóerővel szembeni ellenállását határozzuk meg. A MSZ EN ISO 527-1:1999 és az ASTM D638 szabványok határozzák meg a vizsgálat elemeit, körülményeit, a próbatestek alakját, méretét.

Polimereknél a húzóvizsgálat elméleti háttere megegyezik a fémek vizsgálatával, azonban a vizsgálati körülmények közül a hőmérséklet lényeges hatással bír az eredményekre, így az eredmények összehasonlíthatósága érdekében lényeges a szabványban előírtak betartása.

A vizsgálat során a szabványosan kialakított próbatestet adott sebességgel statikus húzó igénybevétellel terheljük szakadásig, és a mért adatokból (erő, megnyúlás, próbatest adatai) megállapítjuk az anyag szilárdsági és alakváltozási jellemzőit.



12. ábra: Polimer húzóvizsgálat eredményei [29]

(a: rideg, b-c: folyáshatárral rendelkező szívós, d: folyáshatárral nem rendelkező szívós anyagok, e: elasztomerek)

I. szakasz: Rugalmas alakváltozás szakasza. Az anyagok rugalmassági határán belül a feszültség egyenesen arányos a megnyúlással (Hooke törvény).

II. szakasz: A folyás szakaszán belül FEH (felső folyáshatárhoz tartozó erő) erőnél megindul az anyagban a maradó alakváltozás, amely a szakaszon belül egy kisebb erőhatással is folytatódik.

III. szakasz: Egyenletes alakváltozás szakasza. Ezen a húzási szakaszon a próbatest keresztmetszete egyenletesen csökken, alakváltozási keményedés jön létre.

IV. szakasz: A kontrakció szakasza, amelyen belül a próbatest egy ponton elvékonyodik, majd ott el is szakad.

A vizsgálat során sok fontos paramétert kaphatunk meg, melyek a következők lehetnek:

- Húzófeszültség (σ): azt fejezi ki, hogy a próbatest 1 mm^2 – húzási iránnyal megegyező normálvektorú – keresztmetszetében mekkora erő ébred

$$\sigma = \frac{F}{A_0} [\text{MPa}]$$

ahol, F: fellépő erő [N]

A_0 : a próbatest kiindulási keresztmetszete [mm^2]

- Relatív nyúlás (ε): azt mutatja meg, hogy a próbatest a mérés adott pillanatában éppen hány százalékkal hosszabb, mint terheletlen állapotban volt

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

ahol, Δl : a próbatest nyúlása [mm]

L_0 : a kezdeti hossz [mm]

- Húzószilárdság (σ_M): a szakítógörbe első lokális maximumánál ébredő feszültség
- Szakítószilárdság (σ_B): közvetlenül a szakadás előtt mért erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa
- Folyási feszültség (σ_Y): az az első feszültség, amelynél a nyúlás a feszültség növekedése nélkül növekszik
- Húzószilárdsági nyúlás (ε_M): a húzó nyúlás a próbatest húzószilárdságának megfelelő pontban

$$\varepsilon_M = \frac{L_M - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

ahol, L_M : a próbatest vizsgált szakaszának az első lokális erőmaximumnál mért megnyúlt hossza

L_0 : a próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza

- Szakadási nyúlás (ε_B): a húzó nyúlás a próbatest szakítószilárdságának megfelelő pontban

$$\varepsilon_B = \frac{L_B - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

ahol, L_B : a próbatest vizsgált szakaszának a szakadáskor mért megnyúlt hossza

- Kezdeti húzási rugalmassági modulus (E_0): a feszültség-relatív nyúlás görbe origójába húzott érintőjének meredeksége

$$E_0 = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} [MPa]$$

A szakítógörbéken ezek a fontos paraméterek mind-mind megtalálhatóak, jellegzetes görbealakokat eredményezve ezzel [29.].



*13. ábra: Minta a szakítógépben
(Forrás: A szerző saját képe)*

A 12. ábra szemlélteti az alkalmazott mérési módszert, ami a Miskolci Egyetem Anyag-és Vegyészmérnöki Kar Polimertechnológiai Alkalmazástechnikai Centrumban található. A vizsgálat során azonos körülményeket biztosítottunk minden próbatest analizálásánál amelyek az alábbiak szerint történtek:

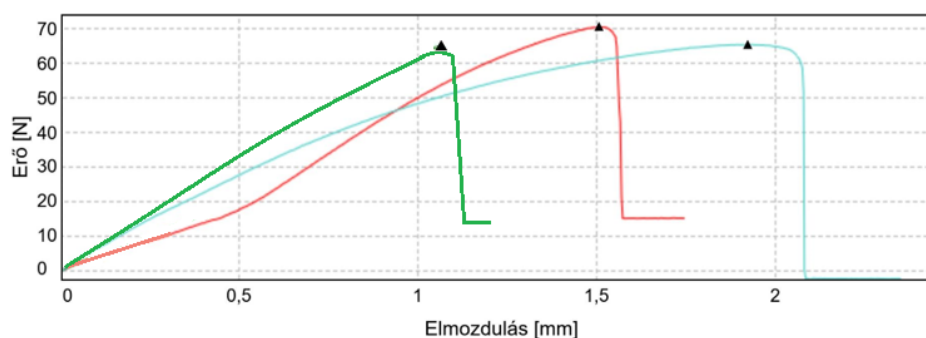
- hőmérséklet: 20 °C
- relatív páratartalom : 50%
- húzás sebessége: 50 mm/min

A szakítási eredmények a 2. számú táblázat szemlélteti. Ahol az előállított próbatesteken 3-3 minta mérési eredményéből származó átlagértéket is bemutatja.

Húzószilárdság [MPa]	TPS	TPS+kávézacc	TPS+szalma
minta 1.	5,45798	3,4637	3,05041
minta 2.	5,02785	3,39704	2,49738
minta 3.	3,17225	3,54429	2,97024
átlag	4,552	3,468	2,839

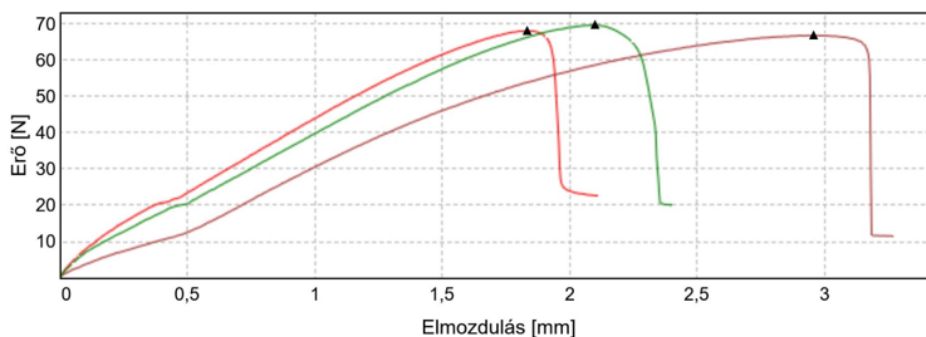
2. táblázat: Szakítási vizsgálat eredményei

(Forrás: A szerző saját táblázata)



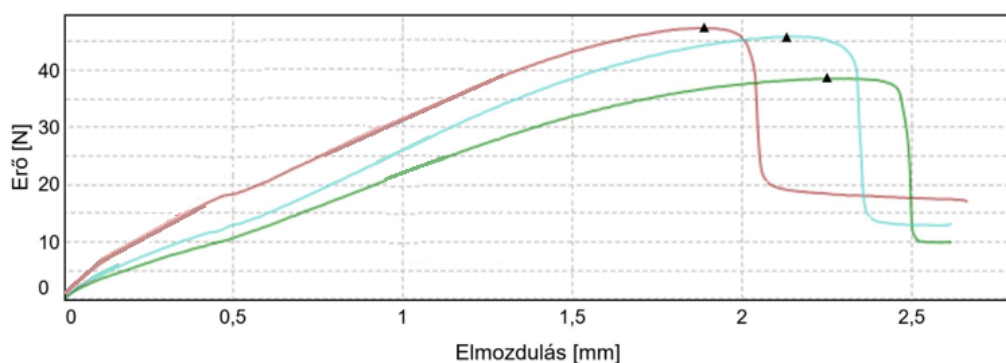
14. ábra: Szakítódiaagramm TPS próbatestek esetében.

(Forrás: A szerző saját ábrája)



15. ábra: Szakítódiaagramm TPS és 10% kávézacc keverék esetében.

(Forrás: A szerző saját ábrája)

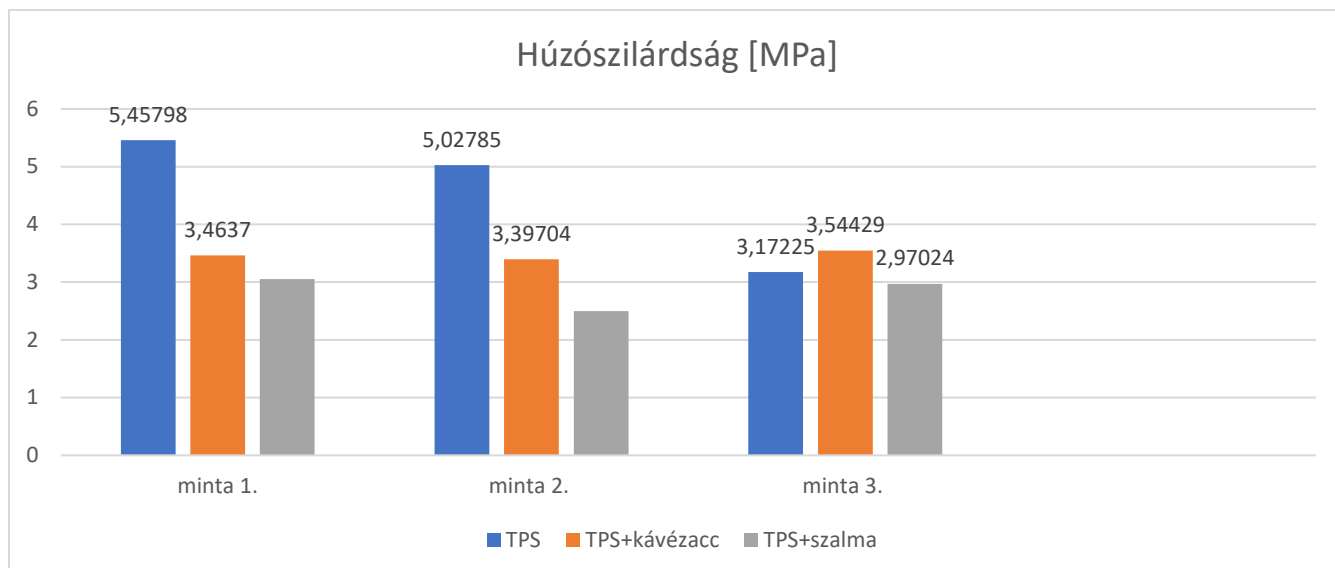


16. ábra: Szakítódiagramm TPS és 10% szalma keverék esetében.

(Forrás: A szerző saját ábrája)

A 14., 15., 16. ábrák mutatják be a szakítóvizsgálat egyik eredményét a megnyúlás-erő diagrammot, vagyis az úgynevezett szakítódiagrammot. Ezen a megnyújtás és a szakítás folyamata nyomon követhető és szakaszokra osztható. Az első szakasz a rugalmas alakváltozás szakasza- jelen esetben megállapítható, hogy a szalmával és kávézaccal töltött minták esetében is hasonlóan történt. Ezen a szakaszon zajlik le még olyan deformáció, ami miatt a mintadarab ne nyerhetné vissza eredeti alakját. A második szakasz az egyenletes alakváltozás. Ezen a húzási szakaszon a képlékeny deformáció azonos végig a húzott mintadarabon. Itt meg kell jegyeznünk, hogy az egyik kávézaccal töltött próbatest esetében sokkal később következett be a végpontja.

A harmadik szakasz a kontrakció, amikor egy ponton elkeskenyedik a mintadarab, majd ott el is szakadt. A kávézaccal töltött mintáknál ez a szakasz is nagyobb szórással jelentkezett, mint a szalmával töltött minták esetében. A kávézaccal töltött mintáknál 2mm- 3mm elmozdulás közötti tartományban jelentkezett, még a szalmánál 2mm-2,5mm-ig. Az anyag szakítószilárdsága az a mennyiség, amely a szakítódiagram maximális erőpontjának és a mintadarab keresztmetszetnek a hányad. Ezek alapján megállapítható, hogy a TPS 70 N erő kifejtésénél történt a kontrakció, addig a kávézaccal töltött minták közelítették meg a referencia TPS értékeit.



17. ábra: Húzószilárdság módosulásának bemutatása az előállított minták esetében.

(Forrás: A szerző saját ábrája)

A fenti diagramm szemlélteti a mintákon mért húzószilárdságot, mely során megfigyelhető a szalma esetében a szórás a TPS és a TPS+kávészacc szórásához viszonyítva kisebb mértékben tapasztalhattuk. Ezen mutató segít megérteni és prezentálni, milyen mértékű erőnek áll ellen húzáskor a test.

4. Konklúzió, eredmények értékelése

Két háztartásban is előforduló hulladékot használtunk töltőanyagként ezzel is vizsgálva, hogyan módosulnak a tulajdonságai és felhasználhatóak-e? Ezen hulladékok alkalmazásával 10%-kal kevesebb alap polimer mennyiség felhasználást eredményeztük. Az előállított próbatesteken végzett mechanikai tesztek bizakodásra adnak okot. A feldolgozás laboratóriumi körülmények között problémamentes volt, mivel a komponensek összeférhetőek voltak egymással, ami az egyik legfontosabb feltétele azon túl, hogy a felhasználás során kitett mechanikai és kémiai hatásoknak ellen álljon az előállított kompozit.

Megállapíthatjuk, hogy az eredetileg keménység javítása céljából hozzáadott töltőanyagok közül csak a kávézacc esetén tapasztaltunk pozitív változást, míg a szalmatörök esetén a várakozással ellentétben a keménység jelentősen csökkent UV hatására. A szakítószilárdsági értékekből megfigyelhető, hogy a kávézaccal töltött minta esetében értéke el a vizsgálat során a referencia értékhez viszonyítva az értékeket.

A továbbiakban ezen kutatási eredmények alapján szeretném megvizsgálni, hogyan befolyásolja a szemcseméret a kompozit tulajdonságait és határait hogyan módosítja a felhasználás során. A töltőanyagokat jelen esetben 10%-os mennyiségben alkalmaztuk, de szintén érdemes azzal a kérdéssel foglalkozni, hogy a töltőanyag mennyiségének növelése mit eredményez és mi az a legnagyobb töltőanyag mennyiség, aminek használata még megfelelő. Természetesen további háztartási hulladék alkalmazásának lehetőségei is adóttak, mint például a burgonyahéj, tojáshéj, dióhéj és egyéb csonthéjúak alkalmazása. A megfelelően kiválasztott töltőanyagok típusa lehetőséget biztosíthat a különböző kártevők elleni védelemben is specifikusan a talaj típusának figyelembevétele mellett.

A roncsolásos anyagvizsgálatok, ezen belül a mechanikai tulajdonságok megismerése csak a kezdeti fázisa ezen kísérletnek. Számos kémiai ellenállást megfigyelő vizsgálatot alkalmaznék a jövőben- ilyen például a duzzadási vizsgálat, nedvességfelvétel képességének megismerése és különböző pH-jú közegben való reagálásának következményének feltárása lenne a cél. Természetesen a lebomló polimerkompozitok egyik fő mutatóját is megvizsgálnám, ez pedig a bomlási folyamathoz szükséges időtartam megismerése. A szerkezeti anyagok lökésszerű mechanikai igénybevétellel szembeni viselkedésére kizárólag a statikus mechanikai vizsgálatokból nem lehet következtetni, ezért különféle dinamikai vizsgálati módszerek alakultak ki. Emiatt további terveimben szerepel Charpy-féle ütőmunka vizsgálat elvégzése.

5. Felhasznált irodalomjegyzék

- [1.] A. Surendren, A. K. Mohanty, Q. Liu, M. Misra: A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chemistry*. 22 (2022) p. 8606-8636.
- [2.] A bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, az Európai Tanácsnak, a Tanácsnak, az Európai gazdasági és szociális bizottságnak és a régiók bizottságának: Az európai zöld megállapodás. Brüsszel. COM (2019) 640 p. 9.
- [3.] Global biodegradable plastics demand 2018 & 2023. Statista Research Department (2023) <https://www.statista.com/statistics/1130192/global-biodegradable-plastics-demand/> (2023.10.30.-i állapot)
- [4.] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai. Budapest. Műegyetemi Kiadó. (2000) p. 11.
- [5.] Dr. Tábi T.: Tények és tévhitek a biopolimerekkel kapcsolatban. *Biohulladék Magazin*. 13 (2020) p. 21-26.
- [6.] Environmental Communications Guide , Bioplastics facts and figures, Relevant standards and labels for bioplastics. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/> (2023.10.30.-i állapot)
- [7.] M. Zhang, G. M. Biesold, W. Choi, J. Yu, Y. Deng, C. Silvestre, Z. Lin: Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging. *MaterialsToday*. 53 (2022) p. 134-161.
- [8.] K. Babaremu, O. P. Oladijo, E. Akinlabi: Biopolymers: A suitable replacement for plastics in product packaging. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 4 (2023) p. 333-340.
- [9.] Európai Bizottság Energiaunió, éghajlat-politika, környezet: A műanyag csomagolási hulladékon alapuló saját forrás. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/eu-budget/long-term-eu-budget/2021-2027/revenue/own-resources/plastics-own-resource_hu (2023.10.30.-i állapot)
- [10.] Európai Bizottság: Európai zöld megállapodás: A pazarló csomagolás megszüntetése, az újrahasználat és újrafeldolgozás ösztönzése. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/ip_22_7155 (2023.10.30.-i állapot)
- [11.] Z. Zhu, W. Liu, S. Ye, L. Batista: Packaging design for the circular economy: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*. 32 (2022) p. 817-832.

- [12.] R. Phiri, S. M. Rangappa, S. Siengchin, O. P. Oladijo, H. N. Dhakal: Development of sustainable biopolymer-based composites for lightweight applications from agricultural waste biomass: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 4 (2023) p. 436-450.
- [13.] R. Bhaskar, S. M. Zo, K. B. Narayanan, S. D. Purohit, M. K. Gupta, S. S. Han: Recent development of protein-based biopolymers in food packaging applications: A review. *Polymer Testing*. 124 (2023) 108097.
- [14.] X. Peng, M. Umer, N. Pervez, K.M. F. Hasan, A. Habib, S. Islam, L. Lin, X. Xiong, V. Naddeo, Y. Cai: Biopolymers-based microencapsulation technology for sustainable textiles development: A short review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 7 (2023) 100349.
- [15.] F. Hisham, M.H. M. Akmal, F. Ahmad, K. Ahmad, N. Samat: Biopolymer chitosan: Potential sources, extraction methods, and emerging applications. *Ain Shams Engineering Journal*. Kiadás alatt. (2023) 102424.
- [16.] P. Zarrintaj, F. Seidi, M. Y. Azarfam, M. K. Yazdi, A. Erfani, M. Barani: Biopolymer-based composites for tissue engineering applications: A basis for future opportunities. *Composites Part B: Engineering*. 258 (2023) 110701.
- [17.] X. Wang, H. J. Zhanga, Y. Yanga, Y. Chena, X. Zhub, X. You: Biopolymer-based self-healing hydrogels: A short review. *Giant*. 16 (2023). 100188.
- [18.] T. Messin, S. Marais, N. Follain, A. Guinault, V. Gaucher, N. Delpouve, C. Sollogoub: Biodegradable PLA/PBS multilayer membrane with enhanced barrier performances. *Journal of Membrane Science*. 598 (2020) 117777.
- [19.] D. Pholharn, Y. Srithep, J. Morris: Effect of initiators on synthesis of poly(L-lactide) by ring opening polymerization. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 213 (2017) 012022.
- [20.] A. K. Trivedi, M.K. Gupta, H. Singh: PLA based biocomposites for sustainable products: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 4 (2023) p. 382-395.
- [21.] A. Schwarz, S. Ferjan, J. Kunst: Life cycle assessment of advanced grade PLA product with novel end-of-life treatment through depolymerization. *Science of The Total Environment*. 905 (2023) 167020.
- [22.] K. Amulya, R. Katakojwala, S. Ramakrishna, S. V. Mohan: Low carbon biodegradable polymer matrices for sustainable future. *Composites Part C*. 4 (2021) 100111.

- [23.] L. P. Amenorfe, E. S. Agorku, F. Sarpong, R. B. Voegborlo: Innovative exploration of additive incorporated biopolymer-based composites. *Scientific African*. 17 (2022), e01359
- [24.] S. K. Mary, R. R. Koshy, R. Arunima, S. Thomas, L. A. Pothan: A review of recent advances in starch-based materials: Bionanocomposites, pH sensitive films, aerogels and carbon dots. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3 (2022) 100190.
- [25.] B.Balla, A. Bartos, D. Kun, E. Csiszár, J. Móczó, E. Fekete: Improving mechanical and water sorption properties of thermoplastic starch by incorporating chitosan filler. *Polymer Testing*. 101 (2021) 107278.
- [26.] ENVIPLAST-WS TPS termék adatlapja. <https://www.enviplast.com/wp-content/uploads/2021/09/BROSUR-ENVIPLAST-WS-ENG-FA.pdf> (2023.10.30. letöltés)
- [27.] Gruber Gy.: Roncsolásos anyagvizsgálatok 1. Szilárdsági vizsgálatok. Budapest. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. A követelménymodul száma: 0225-06. A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-008-20. p. 3.
- [28.] Pogonyi I.: Roncsolásos anyagvizsgálatok 2. Keménységmérések. Budapest. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. A követelménymodul száma: 0225-06. A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-009-20. p. 25.
- [29.] Szakács H., Varga Cs., Nagy R.: Polimerek mérés technikája laborgyakorlatok. Veszprém. (2012) p.3-5. és p. 46-51.