

szerződés azonosítója: MOME/1888-1/2021
pályázati azonosító: ÚNKP-21-2-I-16

Szakmaibeszámolót készítette:
Szilágyi Dóra
Kerámiatervezés MA2
Moholy-Nagy Művészeti Egyetem

A szakmai beszámolót láttam és elfogadom:

Kondor Edit

Kondor Edit DLA
témavezető

ZÁRÓ SZAKMAI BESZÁMOLÓ

A micéliumkompozit, mint alternatív alapanyag című kutatáshoz

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Az anyagkutatásom célja a különböző szerves anyag bázison (pl.: szalma, kávézacc, fűrészpor), illetve eltérő növekedési körülmények között növesztett micélium alapú kompozit anyagok előállítására és azok fizikai tulajdonságainak vizsgálata, úgymint a rugalmasság, a vízállóság vagy a porozitás. A tulajdonságoknak megfelelően használati tárgyak és beltéri építészeti elemek (pl.: burkolóelemek) prototípusainak tervezése és létrehozása. A tervben megfogalmazott vállalások az alábbiak szerint valósultak meg.

A biomatéria előállítása olyan folyamatot jelent, amelyben a tervező élő mikroorganizmusokkal (baktériumok, algák, gombák) működik együtt, irányítja növekedésüket és megteremti a feltételeket, amelyben anyagot vagy akár terméket hozhat létre. A legtöbb esetben a tervezők az újszerű anyagok fejlesztésére összpontosítanak, feltárva a különféle tulajdonságok sokféleségét, illetve a különböző formai lehetőségek kialakítását. Ezen újszerű anyagok előnye, hogy természetes összetevőkből, sokszor hulladék alapon készülnek, ezért komposztálhatóak.

Ezek az alternatív anyagok egy új tervezési gyakorlat kialakulását indították el a formatervezés, az anyagtudomány, a biológia, a művészet és a kézművesség metszéspontjában, amely radikálisan megváltoztatja a tervező szerepét, így a passzív befogadóból az anyagok aktív készítőjévé válik (Karana at al. 2018: 119).

A micélium alapú kompozitok esetében a gombafonalak mintegy kötőanyagként viselkednek és töltik ki a táptalaj réseit és alakítják át egészzé. Azon túl, hogy egyfajta természetes habarcsként működnek számos kiemelkedő mechanikai tulajdonságot kölcsönöznek az így létrejött kompozit anyagnak.

A micéliummal átszőtt és a micélium nélkül létrehozott hulladékanyagból készült téglák esetében például elmondható, hogy a gombafonalakkal átszőtt tesztesetek nyomószilárdsága akár 38,5 %-kal is növekedhet. (Ongpeng at al. 2020).

A micélium lényegében a hifák összességét, valamilyen rendezett állapotát jelenti. A hifa zömében kitinből, ritkábban cellulózból álló, a gombák tenyésztését és szaporítószerveit felépítő sejtfonál. Amennyiben a tápanyagellátás egyenletes, a hifák szabályos kör alakú telepet hoznak létre a csúcsi növekedés miatt. A micéliumnövekedést nem csak egyirányú megnyúlása jellemzi, hanem az elágazások létrejötte, azok „térkitöltő” szerepe. A szilárd táptalaj felületén a gombamicélium gyakorlatilag egy síkban növekszik. (Jakucs-Vajna 2003: 59)

A micéliumkompozitok habszerű mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek a természetes anyagokhoz (pl. fa és parafa) és polimer anyagokhoz (pl. polietilén) hasonlatosak. A micéliumkompozitok különösen alkalmasak a hő- és hangszigetelésre. A hagyományos építőanyagoknál jobb tűzvédelmi tulajdonságokkal is rendelkeznek (Jones at al. 2020).

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSzíROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Nemzetközi példák alapján elmondható, hogy egyes területeken megkezdődött a műanyag alapú csomagolóanyagok és a göngyölegek kiváltása micélium alapú kompozitokkal. A textiliparban hosszútávon a gombabőr jelentheti az állati eredetű alapanyagok alternatíváját. Az építőiparban hang- és hőszigetelő elemek előállításával kísérleteznek.

Kutatásom

A micéliumnövekedés táptalajon, azaz szubsztrátumon történik. A kísérletek során szaprofita gombafajokkal dolgoztam, melyek korhadékokat, az elpusztult élőlények maradványait fogyasztják, így mind a mezőgazdasági hulladék, illetve melléktermék vagy a háztartásokban keletkező szerves hulladékanyag is megfelelő lehet a növekedésükhöz.

A szerves anyag alapú micélium kompozitok előállítása „formába növesztéses” eljárással történik. A szubsztrátumot előre meghatározott formájú keretbe helyezük és oltjuk be gombafonalakkal. (A szubsztrátumok beoltása saját készítésű 3D nyomtatott formákba, illetve kiskereskedelmi forgalomban kapható műanyag tárgyakba történt.)

A kutatás folyamata, eredményei

A vizsgálatok helyszínéül a MOME Techpark rostlaborja szolgált, ahol a szubsztrátumok fertőtlenítésére alkalmas autokláv berendezés és a növekedés biztosításához szükséges egyenletes hőmérséklet állt rendelkezésre. A szubsztrátum fertőtlenítése az abban eredetileg fellelhető baktériumok és penészgombák elölése miatt történik, mivel ezek a mikroorganizmusok lassíthatják, illetve meggátolhatják az általunk beoltott gomba micéliumképződését. A fertőtlenítés, a szubsztrátum és a gombacsírák formába helyezését követően azokat körülbelül 14-20 napra minimális levegőt biztosítva, lefedve tároljuk, míg a micéliumfonalak át nem hálózák, és ki nem töltik a szubsztrátum belső szerkezetét. A micélium növekedés optimális hőmérsékleti tartománya 25-28 °C. Az átszövődés fázisában a gombafonalak fényt nem igényelnek, ellenben a páratartalomnak el kell érnie a 70%-ot. Az átszövődést követően a forma eltávolítható és szükség esetén lefedett edényben pár napig szintén steril körülményeket biztosítva tovább erősíthető a szubsztrátum felületén keletkezett micéliumképlet, azaz a gombabőr. A szárítási fázisban elkészült mintát pár napig szabadlevegőn, esetleg fűtőtesten, majd ezt követően a víztartalom teljes eltávolítására 70-90 °C fokon szárítottam. Ezen a hőfokon a még élő gombafonalak elhalnak, így elkerülhető, hogy amennyiben a tárgy a későbbiekben vízzel érintkezik termőtestképződés induljon be. A technológiai folyamatról készült fotódokumentációt az 1. számú melléklet tartalmazza.

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSzíROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

A kísérlet sorozat **késői laskagomba** (*Pleurotus ostreatus*) csíra felhasználásával indult. A laskagombával végzett kísérletek során sterilizált **szalmatörökkel, irodai-, és konyhai hulladékanyagokkal**, valamint ezek keverékével dolgoztam.

Minden teszt esetében elmondható, hogy a micéliumképződés beindult, a legtöbb elemnél megtörtént az átszövődés. A tesztesetek elemzése során azt tapasztaltam, hogy a szalmaszálak túl hosszúnak (5-10 cm) bizonyultak, emiatt az alapanyag között nagy rések keletkeztek, amit ugyan a gombafonalak áthidáltak, de a tárgy szerkezete nagyon szellős, porózus maradt. A szerkezet nem mutatott elég stabilitást, a tárgy szélein nem tudott egybefüggő micéliumháló képződni. Emiatt a létrejött anyagok morzsolódásra, töredezésre hajlamosak. A tapasztalatoknak megfelelően a további kísérletek 1-2 cm szálhosszúságú alapanyaggal folytatódtak.

A **kávézaccal kevert szalmatörök komposzt** esetében többször tapasztaltam penészesedésre való hajlamot, illetve, amennyiben a kávézacc aránya meghaladta a 25%-ot a micéliumnövekedés kevésbé mutatkozott erőteljesnek és lassabb volt a folyamat. Valószínűsíthetőleg a kávézacc hatására a szubsztrátum kémhatása az ideális 5,4-6,0 közötti pH érték alá csökkent.

A szalmatörökkel végzett kísérletek kiegészültek a kenderpozdorja felhasználásával. A kenderhez szintén 10-25 %-os arányban kevertem háztartási hulladékanyagot. Mivel a kenderpozdorja alapvetően 1-2 cm hosszúságú egységekből áll, illetve a szalmához képest eleve tömörebb szerkezetet mutatnak, ezért az ilyen alapon készült tesztek sikereesebbnek bizonyultak.

A kísérletek idővel két taplógombafaj; azaz a pecsétviaszgomba (*Ganoderma lucidum*) és a lepketapló (*Trametes versicolor*) micélium felhasználásával előállított próbákkal egészült ki. Mindkét faj esetében elmondható, hogy a laskagombához képest szemmel láthatóan is erősebb micéliumképződést produkálnak, illetve a szubsztrátum felületén egybefüggő, mintegy 1mm vastagságú „bőrszerű” képletet alakítanak ki. Mivel mindkét faj ún. farontó, ezért a szubsztrátumok köre fűrészporral, illetve faforgáccsal bővült.

A fenti kísérletek tapasztalatának bázisán a **háztartási textilhulladék és ipari textilhulladékanyag** szubsztrátumként való hasznosításával is foglalkoztam. A háztartásban fellelhető pamut (farmer) hulladékot felaprított állapotban kenderpozdorjával különböző arányokban vegyítve mindhárom gombafaj micélium növekedésére teszteltem. Mindhárom faj esetében sikeresen megtörtént az átszövődés, meglepő módon azon esetekben volt legerősebb a micéliumképződés, ahol a táptalaj pamuton kívül nem tartalmazott egyebet.

A vizsgálat gombafajok táplálkozásmódjára jellemző, hogy a táptalaj cellulóz- és lignintartalmát bontják le. Az általam áttekintett szakirodalomban szinte csak növényi alapú, tehát cellulózforrásban gazdag szubsztrátumon előállított micélium kompozitokat említettek. Azonban a mezőgazdasági és a textilipari hulladék jelentős része állati eredetű, ezért a **növényi eredetű alapanyagokon túl állati eredetű szerves szubsztrátumokra** is megkezdődtek a vizsgálatok.

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSzíROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Nemezgyártásból visszamaradt gyapjúhulladék beoltása szintén ígéretesnek mutatkozik, ugyanis attól függetlenül, hogy mindhárom gombafaj természetes környezetében növényi hulladékanyagon szaporodik, az állati eredetű gyapjút is átszőtték és az eredetileg puha, vattaszerű szerkezetű alapanyagból egy egységes szilárd kompozit anyag jött létre.

A kísérlet előrehaladtával természetes adalékanyagokat is használtam így a micéliumnövekedés beindítására a szubsztrátumba 1% búzakorpát, illetve a magas kalcium-karbonát tartalma miatt 1% őrölt tojáshéjat kevertem. Ezen felül magnéziumigény fedezésére keserűsót kevertem. Az adalékanyagok stabilabbá, gyorsabbá tették az átszövődést és sűrűbb hálózatot eredményeztek.

Fizikai tulajdonságok vizsgálata

A laskagomba csíra felhasználásával előállított kompozitok fehéres, míg a taplógombák sárgás, a pecsétviasz esetében barnás elszíneződéseket is mutatnak. A szalma alapú szubsztrátumon előállított tesztesetek a szárítási folyamat során átható szagot jelentenek, míg a kender és fűrészpör esetében ez kevésbé jellemző. A kiszáritott kompozitok pár hét elteltével szinte szagtalanná válnak, illetve csak közelről tesztelve mutatnak szagélményt.

Néhány kender alapú micélium téglá esetében vizsgáltam **megmunkálhatóságot** is. A micélium téglák fűrésszel való méretre szabással, fűrással, illetve csiszolással megmunkálhatóak.

A kender és a textil alapú kompozitokat teszteltem **vízállóság** szempontjából is. A petri csészében növesztett mintegy 1 cm vastagságú kender alapú tesztesetek két nap alatt nedvesednek át, a felületüket glicerinnel kezelve ez az idő megduplázódott. A textil alapú tesztek pár óra alatt átnedvesedtek.

A létrejött teszteseteket összehasonlítva megállapítható, hogy a kender alapú kompozit a legkevésbé **porózus**, mivel ezen esetekben sűrű, szinte minden, a kompozit részei között megtalálható rést átszőtték a gombafonalak. Továbbá, a textil alapon létrejött anyag a mezőgazdasági melléktermékekkel ellentétben egy **rugalmasabb** kompozitot eredményezett.

A kompozit anyagok szárítási folyamata során **zsugorodás** figyelhető meg. A kész kompozit anyag mérete az eredeti formájához képest mintegy 8-10%-kal csökken.

A kísérletbe bevont gombafajok, a szubsztrátumok fő összetevői (szalmatörek, kenderpozdorja, textilhulladék), illetve a tapasztalt anyagtulajdonságokat bemutató mátrixot a 2. számú melléklet tartalmazza.

A kutatás során létrejött kompozit anyagok professzionális laboratóriumi vizsgálatának érdekében egyeztetéseket folytattam egy elektronikai alkatrészeket előállító gyárral. Ennek eredményeképpen meghatároztuk azokat a vizsgálati módszereket melyekkel a létrehozott

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSzíROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

anyagkompozitok mechanikai tulajdonságait és élettartamát lehet meghatározni. Az első mérések a beszámolóképzítés időszakában kezdődnek meg, a tervezett vizsgálatokat a 3. számú melléklet tartalmazza.

Összegzés

A kutatási időszak alatt több, mint száz tesztesetet készítettem, a gombák és a különböző tápanyagok párosításával. Valamennyi tesztesetet dokumentáltam a kísérleti lépések alapján és a megfigyelhető tapasztalatok szerint. A micélium-kompozit anyagok felhasználásával kísérletet tettem különböző formák és tárgyak létrehozására is. Az otthontérbe illeszkedő tárgyakon túl, fali paneleket, illetve komposztálható növényi ültető cserepet készítettem. Az elkészült kísérletek fotódokumentációt az 1. számú melléklet tartalmazza.

A kutatási időszak alatt megszerzett tapasztalatok alapján elmondható, hogy a micélium kompozitok tulajdonságaik miatt alkalmasak egyes műanyag alapú termékek környezetbarát, komposztálható kiváltására. Mivel hulladék alapon is létrehozható, ezért előállításuk illeszkedik a körkörös gazdasági modellbe. Azonban hatalmas kihívást jelent az, hogy az előállítás a 14 napos átszövődési fázis miatt hosszúra nyúlik és a folyamat jelentős részében steril körülmények szükségesek.

Az eddig megszerzett ismereteket és tapasztalatokat további kutatási tevékenység keretében tervezem folytatni. A kutatásban rejlő lehetőségek nagyban bővültek azzal, hogy növényi eredetű szubsztrátumon túl sikerült állati eredetű hulladékanyagon micélium kompozitot előállítani. Ez a felismerés további hulladékanyag fajtákkal való kísérletezést tesz lehetővé.

A MOME Innováció Központ micélium szenzorok projektjének keretében mind kül- és mind beltéri érzékelők burkolatát tervezzük megvalósítani micélium kompozitból. Ebben a projektben az egyik legnagyobb kihívás az anyagok vízállóságának növelése, melynek érdekében újabb, magas kitin tartalmú gombafajokat (pl.: shitake) célszerű bevonni a kutatásba.

A fentiekén túl a mikorrhizás (gombák és növények között kialakult szimbiózis) kapcsolatokban rejlő lehetőségekre szeretnék koncentrálni, és olyan tárgyak koncepcióját kidolgozni, melyeket a természetbe helyezve bioremediációs célokat szolgálnak. Így például olyan micélium kompozitból készült mesterséges úszólápokot létrehozni, melyek védett, lebegő növénytársulások startereként szolgálhatnak, majd feladatukat bevégezve komposztanyagként oldódhatnak fel a természetben.

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSzíROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Hivatkozások

Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E-J., Camere, S. 2018. When the Material Grows: A Case Study on Designing (with) Mycelium-based Materials. *International Journal of Design*, Vol. 12 No. 2 2018 pp. 119-136.

Jakucs Erzsébet, Vajna László (szerk.) 2003. *Mikológia* AGROINFORM Kiadó, Budapest

Jones, M., Mautner, A., Luenco S., Bismarck A., Johna, S. 2020. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials design* Vol. 187. 1-16.

Ongpeng, J., Inciong, E., Sendo. V., Soliman, C., Siggaoat, A. 2020. Using Waste in Producing Bio-Composite Mycelium Bricks. *Applied Sciences*, Vol. 10. Issue 15. pp. 1-13.

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-21-2-I KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSzíROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.