

OTDK DOLGOZAT

Plesér Zsófia Viktória

Sopron

2024.

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Faipari és Műszaki Intézet

**Faanyagok biológiai tartósságának növelése,
nano-rendszerek segítségével**

Témavezető:

Dr. Bak Miklós

tudományos munkatárs

A dolgozat készítője:

Plesér Zsófia Viktória

faipari mérnök

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	6
Irodalmazás:	7
Nanorendszerek.....	7
Faanyag tartóssága:	8
Faanyag modifikáció:	9
Nano-részecskék alkalmazása, a faanyagtudomány területén:	10
A kutatás előzményei:	11
Kezelésekhez használt nanoszuszpenziók előállítása	12
Réz-oxid:	12
Ezüst kolloid:	12
Réz-borát:	12
Cink-borát:	13
Szilícium aerogél előállítása:	13
MSZ EN113	13
Próbatestek	14
Próbatestek impregnálása:	16
Gombaállósági vizsgálat	17
Táptalaj előállítása	18
Oltófülke használata	19
Faanyag biotus károsítói – gombák:	19
Fehérkorhasztó gomba – Lepke tapló	19
Vöröskorhasztó gomba – Pince gomba	20
Vizsgált fafajok	21
Bükk (Fagus sylvatica)	21
Erdei fenyő (Pinus sylvestris)	21
Felhasznált eszközök és mérőműszerek:	22
Eredmények bemutatása és kiértékelése	23
Összegzés	37
Köszönetnyilvánítás:	38
Irodalom jegyzék:	39
Ábrajegyzék	40
Táblázatjegyzék	43

Bevezetés

Dolgozatom témája, a faanyagok biológiai tartósságának növelése, nanorendszerek segítségével. A kutatásokat egyetemi éveim alatt végeztem, melyet felhasználtam szakdolgozatomhoz is. A faanyag mindennapjaink nélkülözhetetlen nyersanyaga, ezért nagyon fontos, hogy megóvjuk és élettartamát meghosszabbítsuk. Köztudott, hogy a különböző rovarok és gombák milyen ártalmasak a faanyagra. A kutatáshoz, kémiai faanyag modifikációs eljárásokat alkalmaztam. Előző években, már alkalmazott anyagokat használtam, melyeket szint hozzám hasonlóan, bükk és erdeifenyő faanyagon teszteltek. Könnyebbséget jelentett számomra, hogy a kezeléshez használt anyagok már megvoltak határozva, és az alkal-matlannak vélt koncentrációkat növelhettem, a jó eredmények elérése érdekében. Az egyetemen eltöltött fél éveim alatt, a próbatestek feliratozása, tömeg adatok meghatározása, szuszpenziókkal való kezelés volt a fő feladat. A beszámolómban, szó kerül az előkészítési folyamatok fontosságáról, különböző szabványokról, valamint az elért mérési eredményekről.

Irodalmi áttekintés

Nano rendszerek

Kutatásom legfőbb célja, a nanorendszerek viselkedésének és a faanyagra gyakorolt hatásának vizsgálata, mely napjaink egyik kiemelkedő tudományága. Csekély mennyiségű adat áll rendelkezésünkre, a használatával kapcsolatban, de az alapján kijelenthető, hogy kiemelkedő eredmények születtek. A nano-technológia magába foglalja a miniaturizálást, valamint az új tulajdonságú anyagok vizsgálatát. Alkalmazásával, az anyagokat nano-méteres mérettartományban lehet befolyásolni.

A nanorendszerek létrehozása, biopolimerekre épülő vizsgálatok eredménye, melyeket előszeretettel alkalmaz az orvostudomány egyes ágazataiban, mivel ezek biokompatibilis rendszereknek számítanak, a szervezetben nem váltanak ki immunreakciót. A funkcionális csoportokat tartalmazó biopolimerekből, fizikai és kémiai módosítással, nanorészecskék állíthatók elő. A geometriai méretek csökkenése, az atomokból és molekulákból álló csoportokban, lehetővé teszi, hogy a fizikai-kémiai tulajdonságok, új vonásokat alakítsanak ki. A nanoanyagok egy része a természetben is megtalálható, például kőzetmállás, erdőtüzek, vulkánkitörések eredményeképpen, de mesterségesen is előállítható. A nanorészecskék rövid és lényegre törő megfogalmazása a következő, kicsiny méretű, környezetüktől jól elkülönülő objektumok. Szerkezeti anyagok esetén, a mechanikai tulajdonságok, nagy-mértékben javulnak. Mérete 1 és 100 nm közötti tartományban határozható meg. Kis részecskékkel képes, teljesen új tulajdonságú anyagszerkezetet létrehozni. Csökkenthető a nedvességfelvétel és javítható vele az ultraibolya védelem. A nanotechnológiák értékét nano-skálán mérjük, az értékük általában 1 és 100 nanométer közé szokott esni. A makro-részecskékhez képest, sokkal nagyobb felület és térfogat arányokkal rendelkeznek, így a makro-részecskékkel összehasonlítva teljesen új tulajdonságokat figyelhetünk meg. *(Gillányi, T, 2005)*

Méretük csökkenésével, kémiai reakcióképességük nagymértékben javul. Amennyiben rúd alakú nanorészecskéket vizsgálunk, az átmérőnek meghatározott skálán belül kell maradnia mely a nano mérettáblázat, ám hosszúságával kapcsolatban nincs kikötés. Előállításuk, megnyúlt formájú nanoreaktorokban történik, áramoltatással, melyhez a lágy közeg elengedhetetlen, de végezhetik ventrifugálással is. A nanorészecskék között leggyakrabban fellelhető alaki sajátosság a gömb forma. Ennek oka a termodinamika, mivel felületi energiája minimális. Abban az esetben, ha a nanorészecskék valamelyik kristálytani tengely irányában növekednek, anizotróp nanorészecske keletkezik. Egy közeg, abban az esetben anizotróp, ha a fizikai tulajdonságai, különböző irányokban változnak. Mivel a kutatásom alapanyaga faanyag, így fontos megjegyezni, hogy a fa, mint anyag is

anizotrop, mivel függőleges és merőleges irányban különböző tulajdonságokkal rendelkezik. (Bognár, M, 2008) A nanorendszerek nagy kiterjedésű anyagok, melyek belsejében nano-méteres méretskálájú szerkezeti tulajdonságok jelennek meg. Ezek a részecskék a kolloidika rendszerébe tartoznak, így nanorészecskéket és nanorendszereket vizsgálva, figyelembe kell vennünk a kolloidika ismereteit. A kolloidika, kolloid rendszerekkel foglalkozik, a kémia és fizika tudományágon keresztül. Interdiszciplináris tudományba tartozik, mely a biometriát és a biostatistikát is foglalja magába. (Hórvölgyi, Z. 2011) A biokémia, a biológia és a kémia napjainkban gyorsan fejlődő határterülete. Megkülönböztetünk szerves és szervetlen nanorészecskéket. Előbbit az optika, katalízis, valamint az orvostudomány alkalmazza. Utóbbit, a biológiai és gyógyszer tudományi vizsgálatoknál alkalmazzák. Amennyiben a részecskék fizikai-kémiai tulajdonságait szeretnénk meghatározni, ahhoz ismernünk kell alakjukat, méretüket és felépítésüket. Nem csak előállításuk, de össze-tételük, valamint eredetük is igen változatos, de nem szabad elfelejteni azt sem, hogy ha valamint nanorészecskének szeretnénk nevezni, az alapvető tulajdonságoknak meg kell felelniük. Amennyiben méret és alak meghatározást szeretnénk végezni, ehhez az egyik legmegfelelőbb eszköz, az elektronmikroszkóp, de alkalmazhatunk látható fényt, röntgensugarat vagy neutronnyalábot is. Látható fény alkalmazásánál, finomszerkezeti információt nem lehet kinyerni, mivel túl nagy hullámhosszok vannak jelen. Utóbbiak alkalmazásával, a méret meghatározásán kívül, a nanorészecskék belső szerkezetéről is szerezhetünk információkat. Ezeknek a részecskéknek az alak és méret tulajdonságokon felül, elektromos tulajdonságuk is van, mivel felületük elektromosan semleges. Egy anyag akkor nevezhető elektromosan semlegesnek, amennyiben felületük töltött. Biológiai alkalmazásnál, vizes (a kutatásban is használt) oldatokban, meghatározott, előre beállított pH-értéken vizsgálják. (Szily, K. 1869)

Faanyag tartóssága

Napjainkban igen kedvelt alapanyag a fa, mint építőanyag. Ahhoz, hogy faanyagot építőanyagként használhassunk, megfelelő fizikai tartóssággal kell bírnia. Ezt a tulajdonságot, több dologgal is jellemezhetjük, ilyen például a sűrűség, nedvességtartalom vagy épp a szerkezeti felépítés. Ezek a tulajdonságok befolyásolják a tartósságot, a külső megjelenést, valamint a szilárdságot is. Nagyon kevés olyan fa van, mely természetesen is tartósnak számít. Faanyag tartósságánál azt az időszakot nézzük, mely a döntést követően, természetes környezetben, külső emberi beavatkozás, védőszer használata nélkül megőrzi tulajdonságait. Nagyon sok befolyásoló tényező van, amely ezt az időt rövidítheti. Mindennapos problémát jelent a kültéri kitettség, melyről nem is gondolná az ember, hogy roncsolja a nyersanyagot, de ezen kívül meg kell említenünk még a vizet, párákat, talajt, valamint a biológiai károsítókat is. Az élettartam mellett, a külső megjelenés is egy szemmel látható, talán a legjobban szembeütő dolog. Mikor egy laikus ember meglát egy faanyagot, nem

a belső, tartóssági, szerkezeti tulajdonságait kezdi el vizsgálni, számára maga a megjelenés a fontos, értve ez alatt, a színt, illatokat, rajzolatot. A színre hatással van a nevelkedési helye, de későbbiekben a feldolgozási technikák is. Ahhoz, hogy a valódi színét láthassuk, szárítási technikákat kell alkalmaznunk. rdekességnek számít az is, hogy a nedvesen sötétebb színt mutató faanyag világosabb, míg a világosabb, sötétebb színekben fog ragyogni szárítás után. (Taskovics, P. 2004)

A különböző fákat, különböző tartóssági osztályokba sorolhatjuk. A kutatásban alkalmazott bükk faanyaga nagyon rövid életű, tartóssága alacsony. Hajlamos gombásodásra, korhadásra, és a betegségek is könnyen megtámadják. Az erdei fenyő, mint másik alkalmazott anyag, a bükknél jóval nagyobb tartóssággal bír, viszont nem előzi meg a tölgyet vagy a fekete fenyőt. Ahhoz, hogy ezeknek a faanyagoknak a tartósságát növelni tudjuk, külső vegyi anyagokat kell használnunk, kezelés céljából. Mely elengedhetetlen, külső-belső felhasználás esetén is. Ezzel lecsökkenthetjük a gombásodás vagy épp a külső biológiai károsítók megjelenését is. Ehhez modifikációs eljárásokat alkalmazhatunk, mely a belső szerkezetet változtatja meg, ezzel elérve nagyobb tartósságot.

Faanyag modifikáció

A modifikálás célja, a faanyag tulajdonságainak javítása, méret stabilitása és színtartósságának növelése, nedvességre való érzékenység csökkentése úgy, hogy az eljárás végén a kezelt faanyag, ne hordozzon több veszélyt, problémát, valamint ár-érték aránya, jobb legyen a természetes faanyagénál. De hogy mi az az a faanyag modifikáció pontosan, Bosshard 1975-ben megfogalmazta: *„Olyan módosító eljárás, mely megváltoztatja a faanyag összetételét azzal a céllal, hogy a felhasználás szempontjából a faanyag előnyös, új tulajdonságokra tegyen szert és ezzel alkalmazási területét szélesítse, új termékek előállítását biztosítsa.”* Elsősorban azokat a faanyagokat érdemes modifikációs eljárásoknak alávetni, melyek gyorsan nőnek, könnyen és gyorsan telíthetőek, kezelhetőek.

A modifikáción belül is megkülönböztethetünk aktív és passzív eljárásokat. Aktív eljárások esetén az anyag kémiai szerkezete változik meg, míg passzív eljárásoknál csak az anyagi tulajdonságok. Ezeken belül is ismertek különböző eljárások. Az impregnációs modifikáció alkalmazásakor a tulajdonságok célzott javítása történik, ilyenkor impregnálószerrel töltjük fel a faanyagot. Kezelhetjük termikusan is, itt a hőmérséklet szabályzással tartósíthatunk, végezhetjük inert gázközegben, folyadékban vagy levegőn is. Felületi modifikáció esetén, a faanyag fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságainak javítása megy végbe, ilyen például a plazma kezelés. Jelen kutatás esetében kémiai és impregnációs modifikáció kombinációjának alkalmazása volt a cél. Ennek során a nanorészecskékkal végzett telítést követően az alkalmazott kémiai reagens kovalens kötéseket képez a faanyag hidroxil csoportjaival. (Dr. Németh, R.)

Nano-részecskék alkalmazása, a faanyagtudomány területén

Már mindenki számára ismert, hogy a nanoanyagok javítják a kezelt anyag tulajdonságait, de az eredeti anyag tulajdonságait csak kismértékben változtatják. A faanyagtudomány előszeretettel hasznosítja a nanotechnológiát, mivel képesek mélyen behatolni, a faanyag alsó rétegéibe is melyet az alacsony viszkozitás tesz lehetővé. A sejtfalat molekuláris léptékű porozitás jellemzi, így a kisméretű nanorészecskék könnyen és hatékonyan képesek bejutni a fa belsejébe. Ezzel megváltozik a felületi kémia, mely hiper teljesítményű termékeket, anyagokat eredményez. Amennyiben teljes behatolást szeretnénk elérni, kisebb nanorészecskéket kell alkalmazni, mint a faanyag sejtfalában lévő pórusok átmérője. Mielőtt a faanyag tartósságát növeljük nanoanyagokkal, a megfelelő diszperzió megléte elengedhetetlen. Ezen felül vizsgálat szükséges ahhoz is, hogy a fémek mennyire képesek kölcsönhatásba lépni a faanyaggal, mely azért lényeges, mert nagy eltérések esetén fázisszétválásztás és végső anyaghiba alakulhat ki. Napjainkban előszeretettel alkalmaznak fém nanorészecskéket, favédelem szempontjából. Ezen kutatás alapja is ez.

A hagyományos réz tartósítószereket, vizes oldatban oldják, míg a nano-réz vegyületeket először vízben diszpergálják, majd ezután alkalmazzák csak a fa kezelésére. A vegyületek rögzítése, elsősorban a sejtfalrétegekben és a pórusokban történik. A legnagyobb figyelmet az ezüst nanorészecskékkel valókezelések kapják a világon. A fa szorpciós viselkedésének javítását, ezüst nano-részecskékkel, először Mantais és Papadopoulos (2019) tanulmányozta. Legnagyobb ellenállást a fehérkorhasztó gombákkal szemben érték el. Ezeken felül a tudomány és jelen kutatás is alkalmazza a cink alapú nanovegyületeket, a tartósságjavítása érdekében. Jelentős védelmet jelent a gombák és paraziták elleni védelemben. A faanyag-modifikációs vizsgálatok összességéből, a leghatékonyabbnak, a borátot tartalmazó kezelések jelentették. *(Bak és Németh 2018.)*

A kutatás előzményei

A jelenlegi kutatás előzménye során is a mostanival megegyezően, ezüst-kolloid, réz-oxid, réz-borát, valamint cink-borát hatását vizsgálták tartósság növelés szempontjából, búkk és erdeifenyő faanyagon. Akkoriban a cink-oxid tulajdonságait is szemügyre vették, ám abban az esetben olyan jó eredmények születtek, mind a bomlási vizsgálatok, mind a kimosódási vizsgálatokat illetően, hogy annak további vizsgálatát nem látták szükségesnek. A különbség a két kutatás között, nem más, mint az ezüst és a réz-oxid esetében a koncentráció. Az ezüst-kolloidnál első körben alkalmazott, a 0,5%, 1%, valamint a 2%-os koncentráció túl alacsonynak bizonyult, a vöröskorhasztó gombával fertőzött próbatestek vizsgálatánál. Ez a jelen kutatásban 5%, illetve 7%-osra lett növelve, bízva abban, hogy a magasabb koncentrációjú anyag hatékonyabb lesz. A fehérkorhasztó gomba esetében, már a legkisebb 0,5 %-os, ezüst-kolloid oldat is megfelelő ellenállást eredményezett, így ezen oldattal nem folytak további kísérletek. A fehérkorhasztó gomba elleni védelem vizsgálatánál fontos tényezőt jelent a nanorészecskék mérete, mivel az ezüst oxidációja egy lassú folyamat, és kisebb részecskeméret esetén a fajlagos felület megnövekszik, ez esetben az oxidáció hatékonysága megnő.

A cink-borát és réz-borát vizsgálata esetén, mindkét korhasztógombánál megfelelő védelmet figyelhetünk meg. Ezzel arra a következtetésre jutottak, hogy amennyiben különböző elemek kombinációja került alkalmazásra, sokkal hatásosabb eredmények születtek. A cink tartalmú keverékek, a tömegveszteséget meggátolják. Abban az esetben, mikor az anyagok kimosódása volt a fő vizsgálati tényező, már nem mutattak olyan szintű védelmet ezek a készítmények, mint előtte, sőt hasonló vagy alacsonyabb gombabontás okozta tömegvesztést eredményeztek, mint a kontroll (K) próbatestek. A cink nano-részecskékkel kezelt próba-testek esetében, a vörös-korhasztókkal hasonló, míg a fehér korhasztókkal szemben, a kisebb koncentrációnál enyhén alacsonyabb eredményeket mutattak.

Következtetésképpen kijelenthető, hogy a réz és az ezüst nano-részecskékkel kezelt próba-testek, figyelemreméltó kimosódási ellenállást eredményeznek. Ám a bontó gombák elleni védelemben, a réz-borát, valamint a cink-borát jeleskedett. A két korhasztógomba tekintetében a fehér korhasztógomba elleni védelem hatásosabbnak bizonyult, a vörössel szemben. *(Bak és Németh 2018)*

Kezelésekhez használt nanoszuszpenziók előállítása

Réz-oxid:

A réz-oxid előállításához, desztilláltvízre, réz-nitrátra, aszkorbinsavra, valamint polivinil-pirrolidonra (PVP) volt szükségünk. Kezdetben 500 ml desztilláltvízhez hozzáadtunk 21,28 g réznitrátot és 56 g PVP-t, melyből vizes oldatot készítettünk. Ezt követően a réz-nitrát és PVP keverékéből készítettünk vizes oldatot. Ennek aránya a következő volt, 44,38 g aszkorbinsav és 56 g PVP. A két oldatot összeöntöttük és 45 °C-on 3 órán keresztül kevertük. Az idő elteltével egy 7%-os (tömegszázalék) nano-réz-oxid oldatot kaptunk. (1. ábra) Szükség volt egy 5 %-os oldatra is, melyet desztillált vizes hígítással oldottunk meg.



1. ábra Próbatestek telítése, réz-oxid nano szuszpenzióban

Ezüst kolloid:

Az ezüst-kolloid oldat összeállítását a következőképpen végezzük. Szükségünk van 360 ml desztillált vízre, melybe 6,72 g ezüst-nitrát kerül. Ezen oldat elkészítéséhez is szükség van PVP-re melyet 600 ml desztillált vízhez adjuk hozzá, 20,1 g mennyiségben. Végül egy anyag hiányzik csak a végső oldat összeállításához, mely az aszkorbinsav, 240 ml desztillált vízbe, 5,88 g anyag kerül. Ezeket az oldatokat, külön-külön készítjük el, majd az ezüst kolloid, valamint a PVP vizes oldatának összekeverése következik, melyet az aszkorbinsav csöpögtetése követ, az előzetesen elkészített PVP-ezüst-nitrát keverékébe. Végezetül 1 órán keresztül keverjük. Ekkor egy 7 %-os (tömegszázalék) oldatot kaptunk. A hígítást, ismét desztillált vízzel végeztük, hogy megkapjuk az 5%-os töménységet. Az ezüst nano-részecskék előnyt jelentenek, olyan szempontból, hogy nem illékonyak, az idő elteltével sem bomlanak le, szagtalanok és hatékonyságuk hosszútávú.

Réz-borát:

Réz-borát oldat, 2 vizesoldat elkészítése után készíthető el. Ehhez szükség van a réz-nitrát oldatra, melyhez 165 ml vízbe, 3,56 g réz-nitrátot teszünk. A másik egy bórax dekahidrát oldat, melynél 825 ml vízbe, 1,41 g szárazanyag kerül. Fontos, hogy a megfelelő oldat elérése érdekében, nem direkt összekeverést végzünk, hanem egy pipettával csöpögtetjük a réz-nitrát oldatot, a bórax-dekahidrát oldatba, melyet folyamatosan keverünk közben. Végezetül 3 órán keresztül 70°C-on keverjük. Ennek végeztével, az előző oldatoktól eltérően, nem 7%-os oldatra van szükségünk, hanem 2%-osra. A kutatás során szükségünk

van ezen kívül egy 1%-os, valamint 0,5%-os oldatra is. Ezeket az előzőekhez hasonlóan, desztillált vizes hígítással kapunk.

Cink-borát:

Jelen esetben is 2 vizes oldalt elkészítésére van szükség előzetesen. Ennél a két oldatot, fele-fele arányban kell elkészíteni. 5 ml desztillált vízbe, 3,84g cink-borát kerül, míg a desztillált víz másik felébe, 4,92 g bórax-dekahidrát szükséges. A két oldatot direkt összeöntés után, 2 órán keresztül, mágneses keverőre helyezzük, melyet 70°C-ra állítunk. Előzetes ismeretekből tudhatjuk, hogy a cink-nitrát száraz anyag nehezen oldódik, így ezen esetben, homogenizálást kell végezni.

Szilícium aerogél előállítás

Az egyes nanoanyagok, már az első közvetlen kezelés után is hatásosnak bizonyultak, mind az alapkezelés, mint a kimosódási vizsgálat által. Azonban amelyek hatékonyak voltak, de nem mutattak kellően jó eredményeket a kimosódással szemben, azok további kezeléseknél lettek alávétve, szilícium aerogél felhasználásával. Ez azért volt lényeges, mivel, a nanorészecskéket, így fixálni lehetett, abban az esetben, ha a kimosódási vizsgálatok elvégzésével nem született megfelelő eredmény. A jelenlegi vizsgálatok során a réz-borát és a cink-borát fixálása történt szilícium aerogél segítségével.

Szilícium aerogél előállításához, 432,48 g desztillált vízre, 691,05 g etanol és 1249,98 g tetraetil ortoszilikát-ra (TEOS van szükségünk. 50 °C-on 1 óra hosszan keverjük, miközben 30+ töménységű sósavval beállítjuk a megfelelő paramétereket a hidrolízishez, mely 3-as pH-t eredményez.

Az így készített szilícium szol összetevőinek molaránya TEOS : etanol : víz = 1:5:8.

Farontó gombákkal szembeni ellenálló képesség laboratóriumi vizsgálata

Az MSZ EN113 szabvány olyan laboratóriumi vizsgálati módszert ír elő, amely alapján a faanyagba telítés útján bevitt faanyagvédőszer agar táptalajon tenyésztett, bazídiumos gombákkal szembeni hatásossága megállapítható. Olyan eredményt ad ez a módszer, mely következtében, a faanyagvédőszer hatásossága megítélhető. A kevésbé ellenálló fafajok próbatestjeit, a faanyagvédőszer egy adott töménységű oldatával telítik. Ezen szabvány által kezelt faanyagok 16 hét után érik el azt a tömegvesztést, melyet a kísérlet elvár. Az elvárt érték bükk és erdei fenyő esetében egyaránt 20%. A fentiekben leírt szabvány az egész kutatást végig kísérte.

Próbatestek

A próbatestek méretét az MSZ EN 113 szabványban előírtak szerint alkalmaztuk, így a méretük, 15x25x50 mm (sugár-, húr-, rostirány). Két különböző fafajt vizsgáltunk, egyik az erdei fenyő szijács, míg a másik a bükk. A kétlépcsős kezelés első körében ezüst, illetve réz nano-anyagokat juttatunk be telítéssel a faanyagba. A próbatesteket, melyeket ezzel a kezeléssel láttunk el, a kezelést követően fehér- és vöröskorhasztó gombák károsításának tettük ki. Megelőző években, már végeztek kutatásokat ilyen módon, melyek nem mutattak megfelelő tartósság és ellenállásbeli változást az adott koncentrációnál, így a koncentrációk mértékét jelen kutatásban a nano-réz- és ezüst részecskék esetén 5, illetve 7%-osra növeltük. Ezüstnél, csak vörös korhasztógombát vizsgáljuk, mivel az előzetes vizsgálat során bebizonyosodott, hogy a fehérkorhasztó gombával szemben megfelelő védelmet nyújt már az alacsonyabb koncentrációk alkalmazása mellett is. Ellenben a réznél, a vörös- és fehérkorhasztó gombával való viselkedését is vizsgáltuk, mivel ezekkel szemben nem volt megfelelő a védelem egyik korábban vizsgált koncentráció esetén sem. Minden egyes próbatest sorszámot kapott, és minden sorszámból, 3db készült fafajonként külön-külön. A csak nanorészecskés (ezüst és réz), illetve nanorészecske+szilícium aerogél (cink-borát és réz-borát) kezelésre szánt próbadarabok szimpla sorszámmal lettek megjelölve. A kutatás részeként szolgál, hogy a már kezelt próbatestet megvizsgáljuk, milyen tulajdonságokkal fog bírni desztillált vízben való áztatás után. Ezt nevezzük kimosódási vizsgálatnak, és az erre használt próbatestet, sorszám + „L” betűvel jelöljük megkülönböztetés gyanánt. Mivel a fentiekben is látszik, 3 próbatest áll rendelkezésünkre, minden egyes sorszámmal, de eltérő kiegészítő jelöléssel. A megkülönböztetés könnyebbé végett, a kezeletlen darabot, sorszám + „K” jelöléssel látjuk el. Az alkalmazott kezeléseket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat Az elvégzett vizsgálatok során alkalmazott próbatestek felosztása a vizsgált nanorendszerek, azok koncentrációja, az alkalmazott fafaj és farontó gomba szerint. Vörös korhasztó: pincegomba (*Coniophoraputeana*); fehérkorhasztó: lepkegomba (*Coriolus versicolor*)

FAFAJ	ALKALMAZOTT NANORENDSZER	ALKALMAZOTT NANOSZUSZPENZIÓ TÖMÉNYSÉGE (szilícium aerogél nélkül)	ALKALMAZOTT GOMBA	PRÓBATEST DARABSZÁMA
bükk	ezüst-kolloid	7%	vörös korhasztó	5 db
erdei fenyő				5 db
bükk	réz-oxid	7%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db

erdei fenyő	réz-oxid	7%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
bükk	ezüst-kolloid	5%	vörös korhasztó	5 db
erdei fenyő			fehér korhasztó	5 db
bükk	réz-oxid	5%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő	réz-oxid	5%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
bükk	réz-borát+szilícium aerogél	2%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő		2%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
bükk	cink-borát+szilícium aerogél	2%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő		2%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
bükk	réz-borát+szilícium aerogél	1%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő		1%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
bükk	cink-borát+szilícium aerogél	1%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő		1%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db

bükk	réz-borát+szilícium aerogél	0.5 %	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő		0.5%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
bükk	cink-borát+szilícium aerogél	0.5%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db
erdei fenyő		0.5%	vörös korhasztó	5 db
			fehér korhasztó	5 db

Próbatestek impregnálása

A próbatestek impregnálása is, az MSZ EN 113-as szabvány alapján történt. Minden koncentrációnál, abszolút száraz próbatestre volt szükség, melyek tömege ismert volt, előzetes mérésekből. Elengedhetetlen, hogy az impregnálás a koncentráció sorrendjében történjen, legnagyobbtól a legkisebb hígított koncentráció felé haladva. A folyamat a nanorészecskék bejuttatásával kezdődött, egy 20 perc időtartamú vákuumozással 0,7 kPa nyomáson. Ezt követően a próbatestek az oldatban pihentek, ami alatt a nanorészecskék a vizsgált próbatestbe kerültek, ez 2 órát vett igénybe, légköri nyomáson. Az idő lejártával, a próbatestek visszamérése következett és az adatok az előzetes mérésekkel egy táblázatba kerültek. Ezután a fakockák néhány napig szobahőmérsékleten, majd szárítószekrényben 40, 60 és végül 103°C-on abszolút száraz állapotra száradtak. Erre a többlépcsős folyamatra a repedések elkerülése miatt volt szükség. Cink-borát és réz-borát nanorészecskék alkalmazása esetén a fixálást a szilícium aerogéles utókezelés követte második lépésként. Ebben az esetben az előkészített szilícium szollal történt a próbatestek újabb telítése, az előzővel azonos paraméterek mellett. A telítést követően 24 órát 60°C-on, majd újabb 24 órát 105°C-on száradtak a próbatestek, melynek során megtörtént a szilícium szol aerogéllé alakulása a faanyagban. A létrejött aerogél biztosítja a kimosódás elleni védelmet az előzőleg bejuttatott réz-borát és cink-borát nanorészecskék számára.

Kimosódási vizsgálat

A kimosódási vizsgálatot az MSZ EN 84-es szabványban leírtak szerint végeztem. A próbatestek, desztillált vízbe kerültek, melynek időszakos cserélésére volt szükség. Ennek is a szabványban leírtak szerint kellett történnie, mely a következő rendben zajlott. A telítést követően szükség volt vízcserére, majd a telítést követő napon is. Az ezt követő 12 napon belül, 7-szer kellett cserélni a vizet, legalább egy és lefeljebb 3 napos időközönként.

Gombaállósági vizsgálat

A fa tökéletes tápanyagforrás a farontógobák számára. Ahhoz, hogy a gombák ne támadják meg a faanyagot, megfelelő kémiai védelemmel, környezeti hőmérséklettel és nedvességtartalommal kell rendelkeznie. Ha ennek ellenkezője valósul meg, a rövid idő alatt kicsíráznak és gombafonalakat hoznak létre. Eleinte csak a táplálékot vonják el, a fából majd később a sejtfalak is rongálódnak. A gombafonalak, a fa szerkezetén is képesek áthatolni, de akár a több méteres hosszt is elérhetik. (2. ábra)

A kutatás során, a faanyag ellenállóságát kívánjuk elérni nano-részecskék segítségével. A próbatestek sejtüregeit, különböző nano-rendszerekkel telítjük, melyeket később vörös és fehérkorhasztógombára helyezbe vizsgálunk. (3. ábra)



2. ábra Vöröskorhasztó gombával oltott erdeifenyő faanyagot tartalmazó lombik



3. ábra Fehérkorhasztó gombával oltott bükk faanyagot tartalmazó lombik

Táptalaj előállítása

A táptalaj egy malátakivonat tartalmú készítmény, melynek előírt adagolása 48 g/l. Az autokláv gép méretét figyelembe véve, a táptalajból 30 lombikba elegendő mennyiséget főztük, a következőképpen. 2,7 l desztillált vízbe, 48 g/l mikrobiológiai táptalaj anyag került. Miután a desztilláltvíz, valamint az táptalaj összeöntésre került, melegítettem és kevertem, 98°C-on és 300-400-as percenkénti fordulatszámon. (4. ábra) A művelet körülbelül 30 percet vett igénybe, míg sárgásbarna áttetsző végeredményt nem kaptam. Az elkészült táptalaj ezután a lombikokba került, lombikonként 90 ml. Ezt követően, az autokláv sterilizáló készülékbe helyeztem a Kolle-lombikkal teli vaskosarat, és a 4-es LIQUIDS programot elindítottam. Az előírt 1 bar nyomás eléréséhez, 0.5-0.75 órára és 121 °C-ra van szükség. A sterilizálás mindössze 20 percet vesz igénybe, de a visszahűtés egy hosszabb folyamat, hozzávetőlegesen 2 óra. Az ajtót, csak 90°C elérése után lehet kinyitni. Miután kivettem a Kolle-lombikkal megrakott kosarat, a lombikokat egyesével, szépen lassan az asztalra helyeztem, olyan módom, hogy a lombik nyakán lévő horpadás lefelé nézzen, mivel ez segít abban, hogy a táptalaj ne érintkezzen a steril dugóval. Amennyiben a dugó és a táptalaj érintkezik, a folyadék a steril gézlappból készült dugóba távozik, valamint penészesedés is nagyobb valószínűséggel keletkezhet. Az asztalra helyezést követően, a következő lépés előtt meg kell várni, hogy a táptalaj elérje a megfelelő kocsonyás állapotot.



4. ábra Táptalajfőzés, Erlenmeyer lombikba.

Oltófülke használata

A gomba, táptalajra történő oltásánál fontos, hogy a táptalaj elkészítésétől számított egy héten belül megtörténjen. Az oltófülkét használat előtt, alkohol sprayvel, valamint UV-C lámpával szükséges fertőtleníteni. Miután ez megtörtént, elkezdhetjük a gombaoltást. Szükségünk van hozzá, Bunsen-égőre, öblítőedényre, gyufára, valamint mintavételező pálcákra. A gombatenyészetek tárolása hűtőben történik. A steril környezet, valamint a saját magunk védelme érdekében, köpeny, orvosi maszk és gumikesztyű használata erősen ajánlott. A lombikokat az oltófülkébe, míg a micélium darabot a táptalajra helyezzük. Ez után 1-2 hétig, inkubátor szekrényben állni hagyjuk, amíg a gombafonalak be nem szövik a táptalaj felületét.

A megfelelő időszak elteltével, a próbatesteket is a gomba oltott Kolle-lombikba helyezzük. A szükséges kellékek ugyan azok, mint a gombaoltásnál. Minden lombikba 3 db próbatest kerül, egy kezelt, egy kimosódással vizsgált, valamint egy kontroll próbatest. Az elkészült lombikokat 16 hétre visszahelyezzük az inkubátorszekrénybe, 23°C-ra és ~70% relatív páratartalomra.

Faanyag biotius károsítói – gombák

A gombák egyes típusai között, nincs éles átmenet. A paraziták az élőfát, a szaprofiták, csak az elhalt faanyagot, míg a nekrofiták, az élő és a feldolgozott anyagot is képesek megtámadni. Azok a gombák melyek az élőfát károsítják, általában a gesztben találhatóak meg, mivel a szíjács magas víztartalma miatt, jóval védettebb. Ezzel ellentétben a döntött, feldolgozott fa esetében a szíjács az, ami először károsodik, melynek oka a nedvesség-tartalom csökkenés, valamint a könnyen felvehető szerves anyagok jelenléte.

(Gyarmati, Igmándy 1975)

Fehérkorhasztó gomba – Lepke tapló

A fehér korhadást okozó gombák, a sejtfal minden alkotóját képesek lebontani. Károsító hatása, a faanyag világosodását, puhulását, szalma vagy szivacszerűvé válását okozhatja, amellet, hogy rostos anyag lesz belőle. A sűrűsége és szilárdsága csökken, nedvszívó-képessége nő, ám térfogata változatlan marad. A fehérkorhasztó gombák két csoportját különböztethetjük meg. Az egyik a szimultán korhasztók csoportja, melyek a szénhidrát és lignin sejtfalalkotókat egyszerre és azonos mértékben bontják. A másik csoportja, a szukcesszív korhasztók, ezek a lignint gyorsabban lebontják, mint a cellulózt. Általában megkülönböztetjük, a színes és színtelen gesztű fákat ennél a korhasztó gombánál, mivel a színes gesztű fák szíjácsát, és a színtelen gesztűeknek az egész törzsét korhasztják, döntés

után korhadás, az élőfán álgesztesedés figyelhető meg.

A *Coriolus versicolor*, az az a lepke taplógomba, nem másról kapta a nevét, mint az alakjáról- Kalapja jellegzetes lepke formájú. Csoportos előfordulású, leggyakrabban a lombos fákon látható, ám a fenyőket is képes támadni. Gesztes fákon a szíjács károsítója. (Gyarmati, Igmándy 1975.)

Vöröskorhasztó gomba – Pince gomba

A vöröskorhasztó gombánál az előzőtől eltérően, 3 csoport különböztethetünk meg. Találkozhatunk olyannal, mely az élőtörzset támadja, de döntés után is korhasztja faanyagot, de az is megeshet, hogy a döntés után a szállítást követően is korhaszt. Végül találkozhatunk olyannal is, mikor a faanyag korhadása a beépítést követően következik be. A farontó gombák megjelenése, minden esetben óriási károkat okozhatnak, valamint nem elég, hogy egy helyen megjelenik, árvizek és esőzések alkalmával terjedésük is felgyorsul. Intenzív vörös korhadás figyelhető meg jelenlétében. Ugyan úgy, mint megjelenése, szerencsére a kiirtása is egyszerű, magas vízigénye miatt. A *Coniophora puteana*, az az a pince gomba, más gombafajokkal egyetemben, képes szinte minden fafajon letelepedni. Hő igénye alacsony, az optimális hőmérséklet tetőpontja a 24 °C. Nedvességi mértéke, 50-60%-os nedvességtartalomnál megfelelő. Termőteste sima vagy szemcsés felületű is lehet, alakja legtöbb esetben ovális, de szétterülő alakban is fellelhető. Kezdetekben halványsárga színekben pompázik és vékony réteget képez, mely a későbbiekben barnára változik és sárgásfehér szegély figyelhető meg, megvastagodva és szárazzá válva törékeny lesz. (Gyarmati, Igmándy Pagony - Faanyagvédelem Mezőgazdasági kiadó 1975.)

Vizsgált fajok

Bükk (*Fagus sylvatica*):

Európa legnépszerűbb hasznófaja. Hazánkban is igen elterjedt faj, 13 faja ismert, felhasználása sokrétű. elsősorban hegyvidékeken fordul elő, a hőmérsékleti szélsőségeket nem szereti. Legkedvezőbb hőmérsékleti viszony, a hűvös, nedves és párás levegő, mely legfőképp az északi oldalakon jellemző. Fiatal korában a fatest, jól tűri és igényli az árnyékot, ám ahogy idősebbé válik, egyre több napfényre van szüksége. Lombkoronája levélben gazdag, ennek következményeként, nagy tápanyagigénnyel rendelkezik. Nagyméretű fatesttel és terebélyes lombkoronával rendelkezik. Egyenes és hengeres törzsén vékony és sima kéreg található. Levelei tojásdad alakúak, ép és hullámos széllel rendelkeznek. Gesztje színes, likacsai szórtan helyezkednek el. Jól látható évgyűrűk és széles bélsugarak jellemzik. A keresztmetszetben az edények olyan aprók, hogy csak nagyítókkal láthatóak. Fája könnyen fűlled és álgesztesedik. A vastagfalú libriform rostok, kiváló szilárdságot eredményeznek. A hazai furnér, illetve rétegeltlemez gyártás nélkülözhetetlen faja, de találkozhatunk vele szék és korpusz bútorgyártásakor is. *(Molnár 1999.)*

Erdei fenyő (*Pinus sylvestris*):

Az erdei fenyő a legrosszabb környezeti adottságokat jelentő helyeken is él hazánkban. Ebből kifolyólag következtethetünk arra, hogy alkalmazkodó képessége igen magas. Kedveli a dombvidék adta adottságokat, de a síkvidékeken is él. Az időjárási szélsőségeknek ellenáll, de a csapadékosságot kedveli. Legoptimálisabb hely fájának, a kontinentális klíma, mivel rendkívül fényigényes. Lombkoronája eleinte kúposodó, majd idősebb korára ágai szabályos örvökbe rendeződnek. Törzse rendkívül hosszú és egyenes, fiatalon karó, majd későbbiekben szétágazó gyökérrel rendelkezik. Vékony világosbarna kérge, egy idő után megvastagszik és sötétedik. Színes geszt, sárgásfehér szíjács és vörösbarna geszt jellemzi. Valódi gyantajaratok találhatóak benne. *(Molnár 1999.)*

Felhasznált eszközök és mérőműszerek:

A próbatestek szárításához, egy Memmert 100-800 típus szárítószekrényt alkalmaztunk. A hőmérséklet mérési tartománya elég tág, mivel 5 és 300 °C közötti mérésre képes, 0,1 °C-os pontossággal.

A próbatestek tömegének pontos meghatározásához, egy Ohaus Adventurer ARA520-as digitális mérleg volt a legmegfelelőbb. Mérési tartománya, 0,1 g és 4110 g közé esik mely melynek pontossága 0,001 g.

Az impregnálási folyamatok egyik elengedhetetlen eszköze, a vákuumszáritó. A laboratóriumi vizsgálatok során, egy Memmert VO-400 Vákuumkamrát használtunk, mely vákuum tartománya 5 és 1100 mbar közé tehető. A hőmérsékleti tartományában a szórás jóval kisebb, 20 és 200 °C közé tehető. A pontossága eltérő, 100 °C alatt és felett. Amennyiben 99,9 °C vagy az alatti tartományban levő értékről beszélünk, akkor a műszer 0,1 °C-os pontossággal mér, ám 100 °C felett már az érték megnő, egészen 0,5 °C-ig.

Ahhoz, hogy a megfelelő oldatokat előállítsuk, szükség van egy mágneses keverőre, mely nem csak megkönnyíti a munkánkat, de hatékonyabbá is teszi. Ehhez az egyik legmegfelelőbb választás, egy Witeg MSH-20D típusú mágneses keverő, mely fűtőlappal van ellátva. A fordulatszám 80 és 1500 rpm közötti tartományban mozoghat, mely jelen esetben általában, 350-400 rpm körüli értéket vett fel. A hőmérsékleti pontosságát $\pm 0,3$ -as tartományban kezelhetjük.

Vannak anyagok, melyek nehezen oldódnak desztillált vízben és egyéb folyékony anyagokban. Ezen esetben, szükség van homogenizálásra, mely elősegíti az oldódást. A kutatás során is szükség volt homogenizálásra, a munkát, egy Witeg HG-15D típusú homogenizáló készülék segítette. A készülék fordulatszám-beli tartománya, 2000 és 27000 fordulat/perc közé esik.

Eredmények bemutatása és kiértékelése

A vizsgált erdeifenyő, illetve bükk próbatestek nanoszuszpenzió felvételének százalékos arányát (WPG) a 2. táblázat tartalmazza. A két fafaj és a nanorészecskék koncentrációja között nagy különbségeket figyelhetünk meg a WPG (%) tekintetében. A fenyőminták, minden kezelésnél magasabb szuszpenziófelvételt mutatnak, mint a bükkminták. A kezelt minták és a későbbiekben kimosódási vizsgálattal ellátott minták között nagy különbség nem tapasztalható, ami azt eredményezi, hogy a kimosási tesztnek alávetett minták kiindulási állapota azonosnak tekinthető a kimosódással nem kezelt mintákkal. Eszerint a laboratóriumi tartósságvizsgálat során kizárólag a kimosási eljárás volt hatással a mintákra, nem okozott eltérést a telítés minősége vagy mennyisége. Az impregnálási folyamat a vizsgált tartományon belül maradt, tehát a nanorészecskék koncentrációjának növelése, nem befolyásolja negatívan a vizsgálatot, a minták hatékonyan tudnak nanorészecskéket felvenni.

2. táblázat Bükk és erdeifenyő próbatestek tömegnövekedésének százalékos értékei (WPG), különböző koncentrációjú nano-szuszpensiós impregnálások esetén. A gomba típusa a későbbi laboratóriumi tartósságvizsgálat során alkalmazott gomba típusát jelöli. Az ezüst kolloid nem volt tárgya a fehér korhasztóval történő vizsgálatnak.

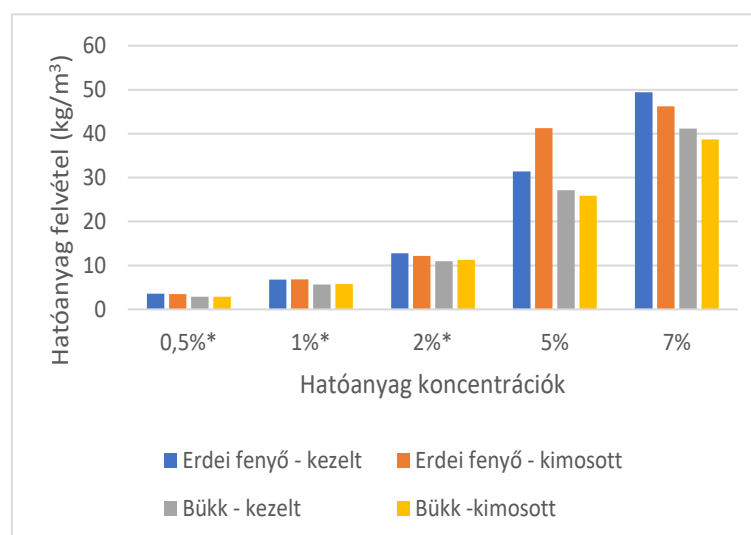
	WPG (%)							
	Bükk				Erdeifenyő			
	Fehérkorhasztó gomba		Vörös korhasztó-gomba		Fehérkorhasztó gomba		Vörös korhasztó-gomba	
	kezelt	kimosott	kezelt	kimosott	kezelt	kimosott	kezelt	kimosott
Réz-borát 0,5%	82,28	80,04	86,6	74,72	154,29	117,31	133,32	120,93
Réz-borát 1%	87,06	72,13	53,88	73,42	118,42	121,7	137,94	124,34
Réz-borát 2%	81,68	74,39	81,47	74,02	156,52	127,77	133,73	123,42
Cink-borát 0,5%	71,12	81,19	84,18	83,18	116,56	121,95	120,54	124,63
Cink-borát 1%	85,46	72,12	84,14	73,18	152,36	121,14	157,76	124,86
Cink-borát 2%	92,16	75,07	82,17	75,16	137,32	124,13	155,62	126,13
Réz-oxid 5%	73,93	67,38	76,65	69,15	133,46	109,69	116,51	141,41
Réz-oxid 7%	90,91	72,02	76,64	70,72	147,98	126,39	112,43	121,09
Ezüst kolloid 5%	n/a	n/a	80,75	70,64	n/a	n/a	128,25	116,66
Ezüst kolloid 7%	n/a	n/a	68,16	72,36	n/a	n/a	150,65	130,92

Előző években folytatott vizsgálatokra visszatekintve, a réz-borát, valamint a cink-borát esetében nem koncentrációnövelés történt, a jobb eredmények elérése érdekében, hanem szilícium-aerogéllal történt fixálás. (Bak és Németh 2018) Ezen eredmények százalékos formában a 3. táblázatban fellelhetők.

3. táblázat Bükk és erdeifenyő próbatestek tömegnövekedésének százalékos értékei, különböző koncentrációjú nano-szuszpenziós impregnálásokat követő szilícium-aerogéllal való kezelés eredményeként

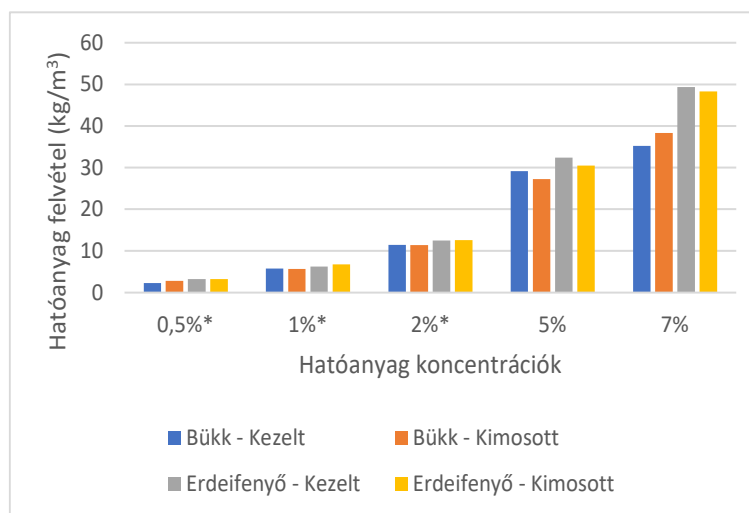
(m/m)	WPG (%) + Si							
	Bükk				Erdeifenyő			
	Fehérkorhasztó gomba		Vöröskorhasztó gomba		Fehérkorhasztó gomba		Vöröskorhasztó gomba	
	kezelt	kimosott	kezelt	kimosott	kezelt	kimosott	kezelt	kimosott
Réz-borát 0,5%	48,17	29,02	41,12	25,85	69,63	35,75	95,64	49,17
Réz-borát 1%	52,5	38,62	37,44	46,15	77,08	42,81	54,44	28,63
Réz-borát 2%	43,67	45,68	45,56	54,69	100,34	107,09	78,6	100,62
Cink-borát 0,5%	31,47	24,19	38,48	26,09	47,82	75,25	88,92	83,78
Cink-borát 1%	45,79	23,05	42,57	23,29	62,45	77,58	110,38	49,71
Cink-borát 2%	44,06	26,79	49,74	35,52	71,01	82,63	66,07	85,56

A nanorészecskés impregnálás után szilícium-aerogéllal kezelt próbatestek, jóval alacsonyabb hatóanyagfelvételt eredményeztek, mint az első nano-szuszpenziókkal történő kezelésnél. A fenyő minták ezen vizsgálat során is magasabb értékeket eredményeztek. Ám mindkét esetben a kezelt, valamint plusz kimosódási teszten átesett mintadarabok között nagy különbség nem lelhető fel. A hatóanyagfelvétel, értékeit kg/m^3 -ben kifejezve diagrammok ábrázolják, melyben összehasonlíthatók az eredmények a 2018-ban végezett mérések eredményeivel. A következtetés a következő, réz-oxid esetében jóval magasabb hatóanyag felvételi értékek szerepelnek a magasabb koncentrációknál, ami a koncentráció növelés hatékonyságát jelenti. (5. ábra)



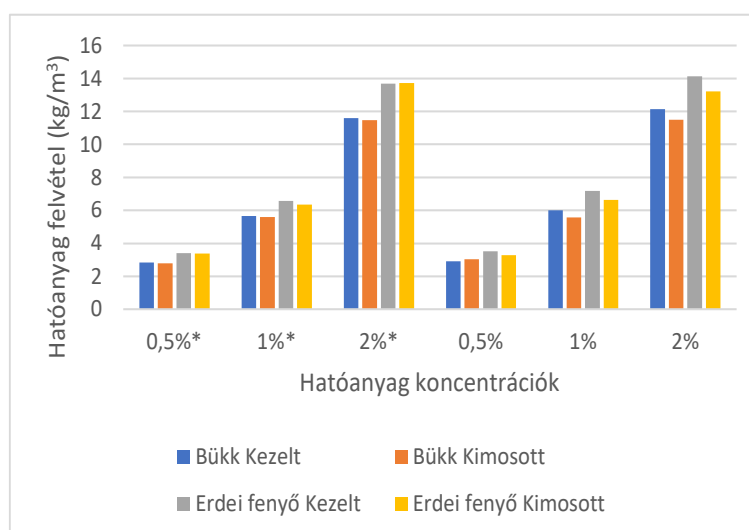
5. ábra Réz-oxid nano-szuszpenzióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

Ezüst-kolloiddal folytatott vizsgálat során, is eredményességet figyelhetünk meg mindkét felhasznált fafaj esetében. A koncentráció növelésével arányosan emelkedett a bevitt hatóanyag fajlagos mennyisége is. (6. ábra)

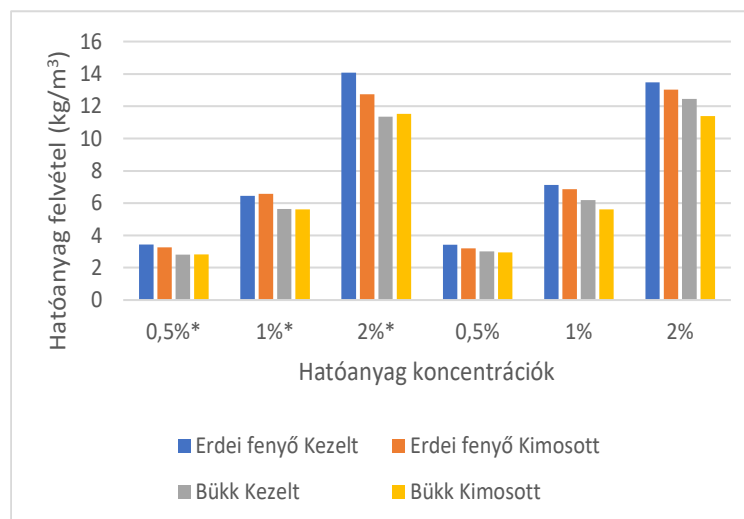


6. ábra Ezüst-kolloid nano-szuszpenzióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

A cink-borát (7. ábra) és a réz-borát (8. ábra) alkalmazása után nem tapasztalhatunk jelentős, nagy változást, az előzmény vizsgálatokhoz hasonló hatóanyagfelvételeket állapítottunk meg. Ez fontos eredmény a korábbi és a jelenlegi gombaállósági vizsgálatok eredményeinek összehasonlíthatósága szempontjából

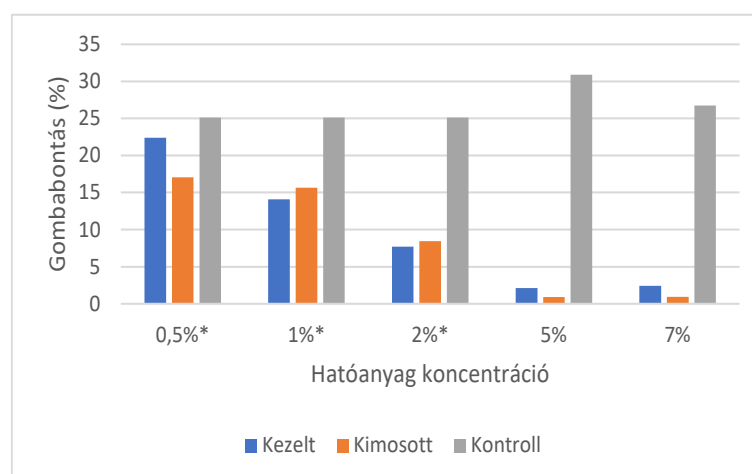


7. ábra Cink-borát nano-szuszpenzióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

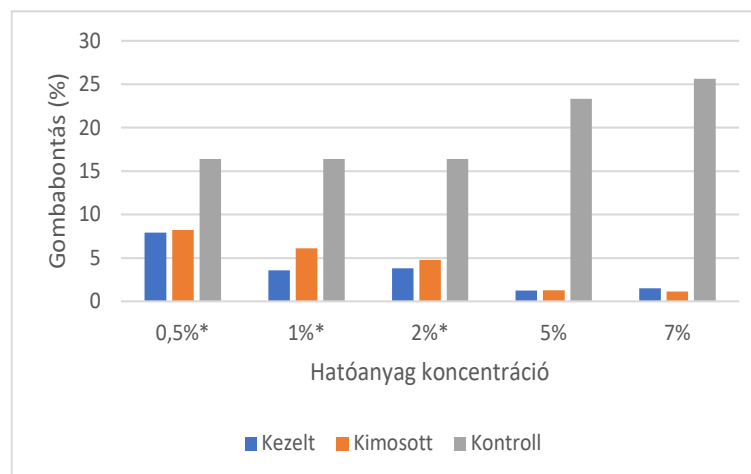


8. ábra Réz-borát nano-szuszpenzióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

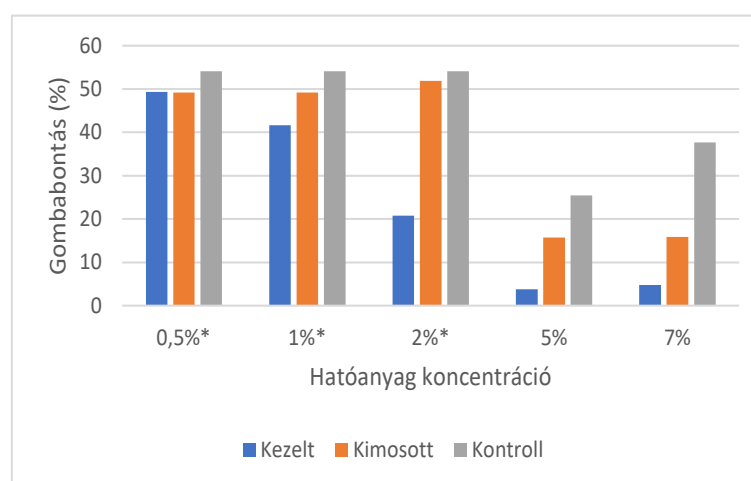
Általánosságban elmondható, hogy a nano-részecskékkel kezelt próbatestek, a *Coriolus versicolor*, az az a fehérkorhasztó gomba ellen nagyobb védelmet nyújtanak, mint a *Coniophora puteana*, az az a vöröskorhasztó gomba ellen. Az eredmények azt mutatják, hogy a koncentráció és az alkalmazott részecske típusa nagy mértékben befolyásolják a gombabontási eredményeket. A réz-oxid, melynek koncentrációja 5, illetve 7%-osra lett növelve, az előző 0,5%, 1%, 2%-hoz képest, a *Coriolus versicolor* ellen megfelelő védelmet nyújtott. (9. ábra) Ez azt jelenti, hogy a meghatározott maximális 3%-os gombabontási tartományba esett, az impregnálás, valamint a kimosódási teszt után is, mely mindkét fafajra igaz, ezzel meghozta a várt végeredményt. (10. ábra) A *Coniophora puteana* esetében (11. ábra), azonban most sem kaptuk a várt 3% alatti eredményt. Ezen következtetések mindkét fa-fajra érvényesek. (12. ábra) Ennek ellenére a javuló tendencia továbbra is látható, vagyis várhatóan a koncentráció további növelésével elérhető a kívánt védettség.



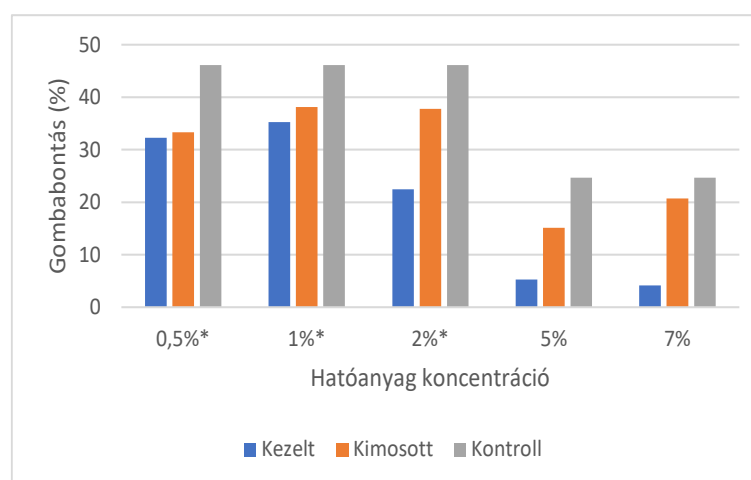
9. ábra *Coriolus versicolor* által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)



10. ábra *Coriolus versicolor* által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

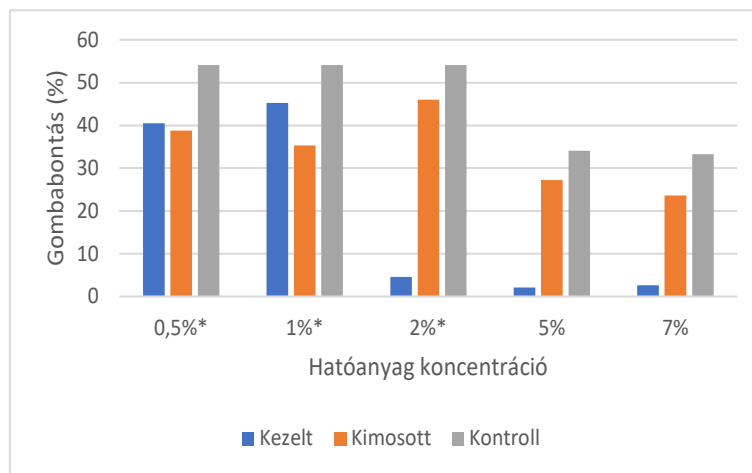


11. ábra *Coniophora puteana* által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

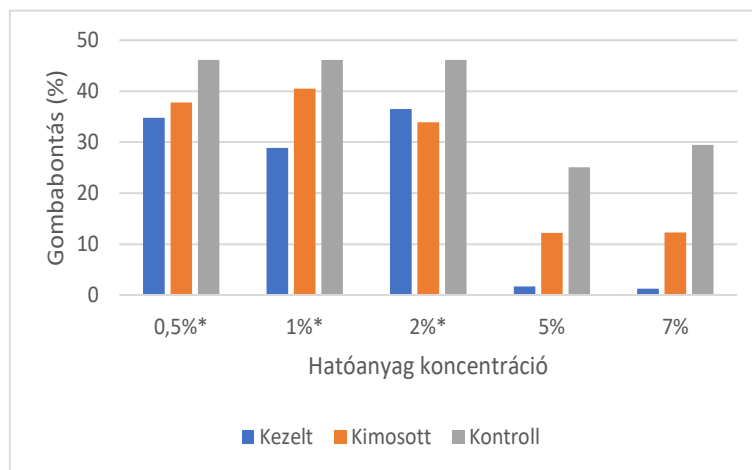


12. ábra *Coniophora puteana* által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

Az ezüst-kolloid nano-szuszenzió esetén is, a réz-oxidhoz hasonlóan koncentrációnövelés történt, 5 és 7%-osra. Eltérés viszont abban rejlett, hogy csak vöröskorhasztó gombán vizsgáltuk az erdeifenyő (13.ábra)és bükk (14. ábra)mintákat, mivel az előzmény vizsgálatok alapján (Bak és Németh 2018) a fehér korhasztó ellen megfelelő védelmet nyújtottak már az alacsonyabb koncentrációk is. A kimosódási vizsgálat előtti eredmények megfelelő értékeket mutattak, de a kimosódással szemben a koncentráció növelése sem eredményezett megfelelő sikereket. Ezek az eredmények is alátámasztják a szilícium aerogéllal végzendő fixálás szükségességét.



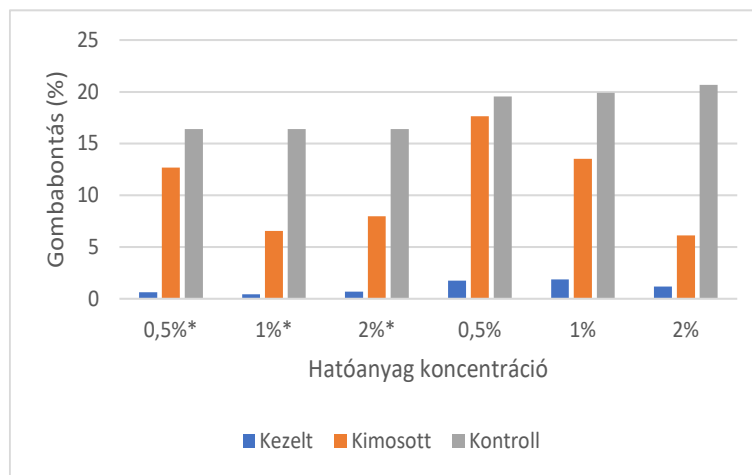
13. ábra Coniophora puteana által okozott gombabontás mértéke, ezüst-kolloid kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)



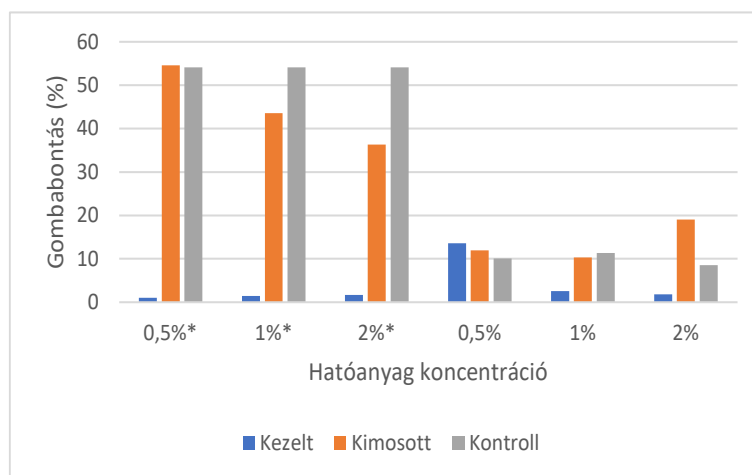
14. ábra Coniophora puteana által okozott gombabontás mértéke, ezüst-kolloid kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

Ahogy fent is olvasható, a cink-borát és a rézborát esetében a koncentráció növelés helyett, fixálás történt, melyhez szilícium-aerogél tartalmazta a legmegfelelőbb tulajdonságokat. A cink-borát, az erdeifenyő esetében, mind a fehér -(15. ábra), mind a vöröskorhasztó gombán

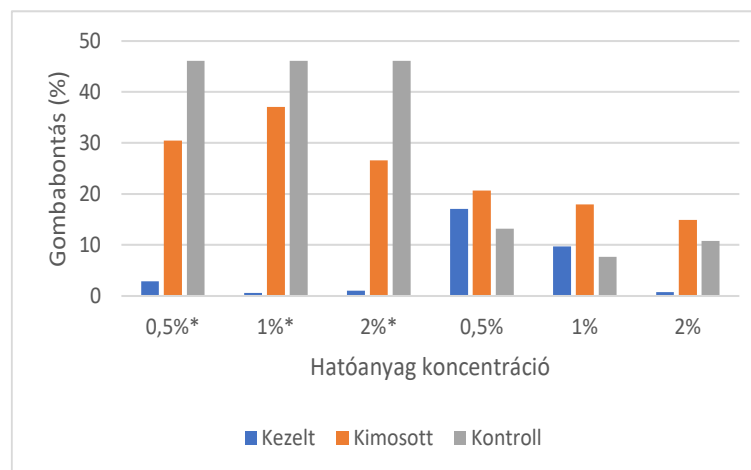
(16. ábra) vizsgálva gombabontásnál megfelelő értékeket eredményezett a gombabontás tekintetében az impregnálás hatására. A kimosódással szemben azonban nem sikerült megfelelő védelmet kialakítani a szilícium aerogél segítségével. A bükk mintadarabok minimális százalékban magasabb értékeket mutatnak 1%-os és 2%-os koncentrációnál, ám a legalacsonyabb 0,5%-os koncentráció, sikertelen próbálkozást jelentett, vörös (17. ábra) és fehérkorhasztógombánál is. (18. ábra)



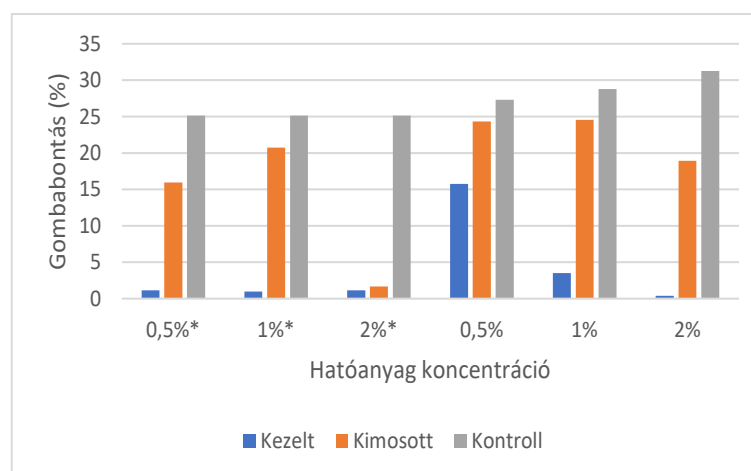
15. ábra *Coriolus versicolor* által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)



16. ábra *Coniophora puteana* által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

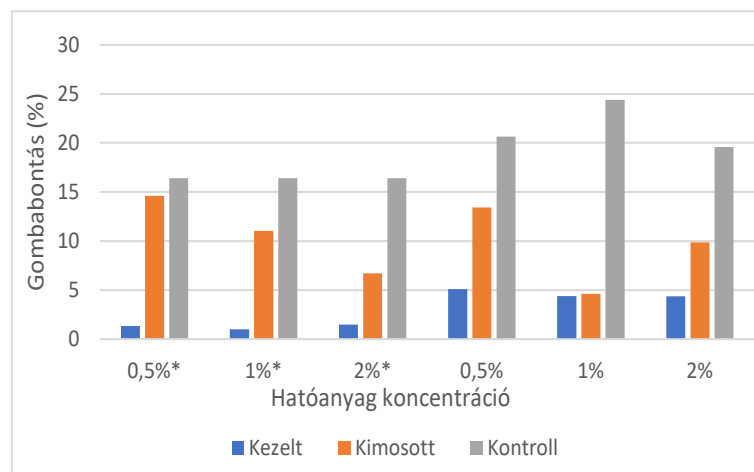


17. ábra *Coniophora puteana* által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

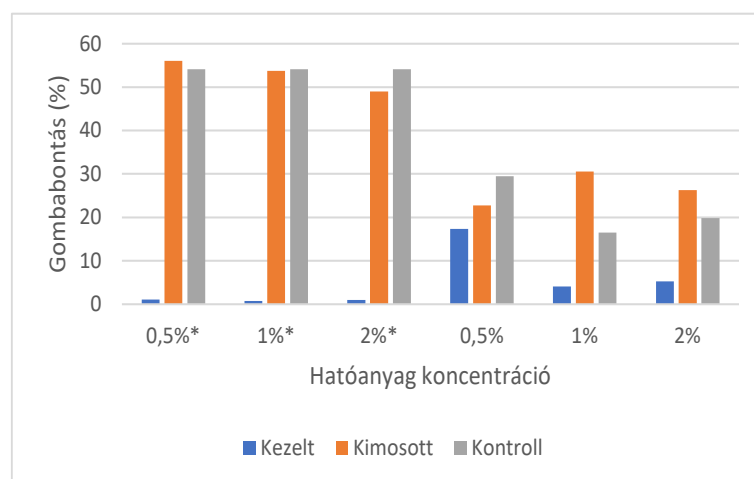


18. ábra *Coriolus versicolor* által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

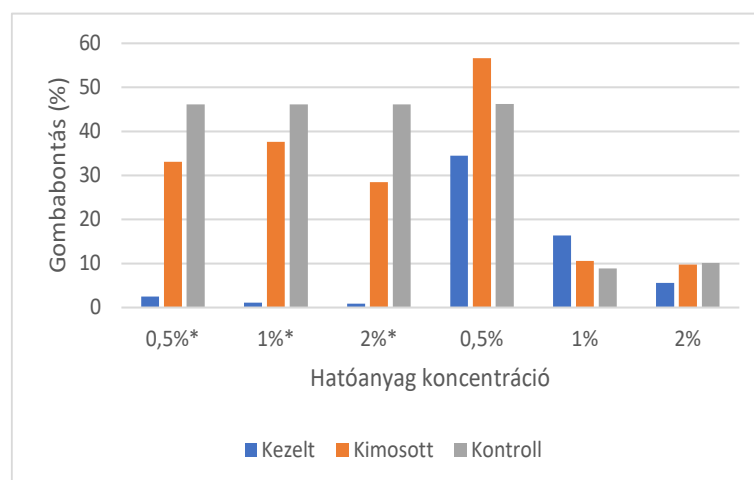
Réz-boráttal valótelítés, és a szilícium aerogéllal való fixálás után megállapítható, hogy az erdeifenyő fehér (19. ábra) és vöröskorhasztó gomba (20. ábra) esetében, valamint a bükk faanyag, vörös- (21. ábra) és fehérkorhasztó gomba (22. ábra) esetében sem eredményezett megfelelő értékeket. A kimosódási vizsgálatról elmondható ugyan ez.



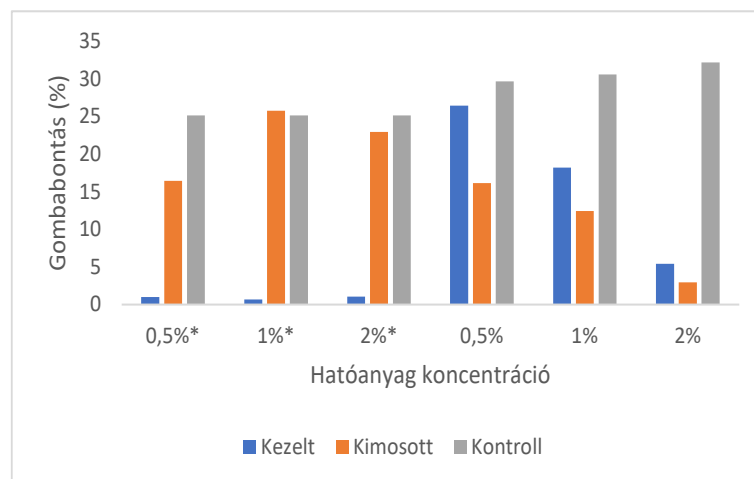
19. ábra *Coriolus versicolor* által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)



20. ábra *Coniophora puteana* által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)



21. ábra *Coniophora puteana* által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatetek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)



22. ábra *Coriolus versicolor* által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018)

sszegzés

Vizsgálataim során bükk és erdeifenyő faanyagot telítettem, nano-szuszpenziókkal, egyes próbatesteket szilícium aerogéllal is fixáltam a jobb gombaállósági eredmény elérése érdekében. *Bak és Németh 2018*-ben elkezdett kutatásának folytatása volt a cél, némi változtatással, miszerint az ezüst-kolloid és a réz-oxid oldatok esetében koncentráció növelésével, a réz-borát és cink-borát esetében szilícium aerogéles fixálásával szeretttük volna ezt elérni. Ezüst kolloid, vizsgálata során kapott eredmény meglepő, mivel már az előzetes kísérletek alkalmával, a fehérkorhasztó gombával szemben, nagyon ellenállónak bizonyult, így azzal kapcsolatban nem folyt további vizsgálat, azonban a vöröskorhasztó gombával szemben sem akkor, sem most nem bizonyult ellenállónak. Erre további vizsgálatok lefolytatása szükséges, melyből kiderülhet, mennyivel kell magasabb koncentrációt alkalmazni, az ellenállóság elérése érdekében. A réz-oxid, koncentrációjának növelésével, teljes mértékben megkaptuk a várt eredményt, miszerint, mindkét alkalmazott korhasztógomba ellen eredményesnek bizonyult. További két alkalmazott anyag, esetében történt meg a szilícium-aerogéles fixálás. A réz-borát esetében, ugyan jóval nagyobb ellenállást tudtunk elérni, de még ez sem felelt meg a 3%-os maximális határnak. Az is megfigyelhető, hogy a legmagasabb 2%-os koncentráció volt a leghatékonyabb. Cink-borát nano-szuszpenzió, minden esetben hatásosnak bizonyult a 2%-os koncentrációnál. Másik kettő koncentrációt megfigyelve, láthatunk ellenállóságot, de annak aránya nem megfelelően alacsony. Azt is fontos megjegyezni, ezen anyag esetében, hogy az előzetes mérések alapján, mikor szilícium aerogél alkalmazása nem történt szinte kétszer magasabb eredmények születtek. Így az a következtetés vonható le, hogy a szilíciumos fixálás jobb eredményeket is hozhat. A szilícium aerogéles utókezelést alkalmazva a nanorészecskék fixálására a legtöbb esetben jobb eredményt szolgáltatott a fixálás nélküli vizsgálatoknál. Teljesen azonban nem sikerült meggátolni a hatóanyagként bejuttatott nanorészecskéket, vagyis célszerű lehet szilícium szol koncentrációjának növelése. A réz-oxid és ezüst-kolloid esetében, ugyancsak jó eredményeket várunk a szilícium aerogél alkalmazásától. Ám ennek kiértékelése, nem a dolgozat része.

Köszönetnyilvánítás:

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek Dr. Bak Miklósnak, aki végigkísérte kutatásaimat az egyetemi éveim során szakmai tanácsaival, vezette vizsgálataimat és szakdolgozatom elkészülését, valamint saját idejét nem sajnálva törekedett a legtöbbet kihozni belőlem. Hálás vagyok a Faanyagtudományi Intézet dolgozóinak, munkatársainak, kik segítségemre voltak. Köszönettel tartozom tanárainknak és barátainknak, ki átsegítettek az idáig vezető úton és bátorítottak tanulmányaim során.

Irodalomjegyzék:

Gyarati, Igmándy Pagony - Faanyagvédelem Mezőgazdasági kiadó 1975.

Hórvölgyi, Z. 2011, A nanotechnológia kolloidkémiai alapjai, egyetemi tananyag, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék

Bak, M. Németh, R. 2018, Wood decay resistance, Soproni Egyetem Faiparmérnöki és Kreatívipari Kar, Sopron

Bognár, M., 2008, Biopolimer alapú nanorendszerek előállítása és vizsgálata, doktori (PhD értekezés, Debreceni Egyetem Kolloid- és Környezatkémiai Tanszák, Debrecen

Gilányi, T. 2005, Kolloidkémia: Nanorendszerek és határfelületek, egyetemi jegyzet, ELTE Kolloidkémiai és Kolloidtechnológiai Tanszék, Budapest

Gyarati, Igmándy Pagony - Faanyagvédelem Mezőgazdasági kiadó 1975.

<https://dmx.ohaus.com/WorkArea/showcontent.aspx?id=3348> Megtekintve: 2023. 11. 10.

<https://faipar.hu/hirek/alapanyag/2951/hazai-fafajok-a-buekkfa> Megtekintve: 2023. 11. 10.

<https://faipar.hu/hirek/alapanyag/7962/a-famodifikalas> Megtekintve: 2023. 11. 10.

<https://faipar.hu/hirek/alapanyag/8031/a-fa-fizikai-jellemzoi-i-resz> Megtekintve: 2023. 11. 10.

<https://www.mdpi.com/2079-4991/9/4/607> Megtekintve: 2023. 11. 10.

<https://www.witeg.de/en/products/laboratory-equipment/mixing-shaking/homogenizer/homogenizer-hg-15d-27000-rpm-digital-external-controller> Megtekintve: 2023. 11. 10.

Mohl, M. 2011, Egydimenziós fém nanoszerkezetek előállítása és vizsgálata, Ph. D. értekezés, Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék, Szeged

Molnár, S. (1999) Faanyagismeret. Budapest, 476: Mezőgazdasági szaktudás kiadó

SZILY, K. 1869: Természet Világa, Nanomedicina nanokémia, 144. évf. 11.sz. 5/8. oldal

TASKOVICS P, 2004, Faipari anyagismeret, Műszaki Könyvkiadó, Budapest - VERES R.- SZERNYI I.- BÁRSONY I., 2009, Faszerkezetek építése I., Szega Books Kft., Pécs

Ábrajegyzék

1. ábra	Próbatestektelítése, réz-oxidnanoszuszpenzióban.....	12
2. ábra	Vörös korhasztógombával oltott erdeifenyő faanyagot tartalmazó lombik.....	17
3. ábra	Fehér korhasztógombával oltott bükk faanyagot tartalmazó lombik.....	17
4. ábra	Táptalajfőzés, Erlenmeyerlombikba.....	18
5. ábra	Réz-oxid nano-szuszpencióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	24
6. ábra	Ezüst-kolloid nano-szuszpencióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	25
7. ábra	Cink-borát nano-szuszpencióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	25
8. ábra	Réz-borát nano-szuszpencióval kezelt, erdeifenyő, illetve bükk faanyag hatóanyagfelvétele különböző koncentrációk esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	26
10. ábra	Coriolus versicolor által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	26
9. ábra	Coriolus versicolor által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	27
11. ábra	Coniophora puteana által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	27
12. ábra	Coniophora puteana által okozott gombabontás mértéke, réz-oxiddal kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	27
13. ábra	Coniophora puteana által okozott gombabontás mértéke, ezüst-kolloid kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	28

14. ábra <i>Coniophora puteana</i> által okozott gombabontás mértéke, ezüst-kolloid kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	28
17. ábra <i>Coniophora puteana</i> által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	29
16. ábra <i>Coniophora puteana</i> által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	29
15. ábra <i>Coriolus versicolor</i> által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	30
18. ábra <i>Coriolus versicolor</i> által okozott gombabontás mértéke, cink-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	30
19. ábra <i>Coriolus versicolor</i> által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	31
20. ábra <i>Coniophora puteana</i> által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll erdeifenyő próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	31
21. ábra <i>Coniophora puteana</i> által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	31
22. ábra <i>Coriolus versicolor</i> által okozott gombabontás mértéke, réz-borát kezelt, kezelt majd kimosott, valamint kontroll bükk próbatestek esetén (a csillaggal jelölt adatok, az előzmény kutatás mérési eredményei, Bak és Németh 2018).....	32
24. ábra 5%-os ezüst-kolloiddal kezelt, erdeifenyő faanyag, 2000-es pásztázó elektron-mikroszkópos nagyításban.....	33
23. ábra 5%-os ezüst-kolloid kezelt, erdeifenyő faanyag, 100-szoros pásztázó elektron-mikroszkóposnagyításban.....	33
26. ábra 7%-os réz-oxid szuszpenzióval kezelt, bükk faanyag, 2000-es pásztázó elektron-mikroszkóposnagyításban.....	34

<i>25. ábra 7%-os réz-oxid szuszpenzióval kezelt, bükk faanyag, 100-szoros pásztázó elektronmikroszkópos nagyításban.....</i>	<i>34</i>
<i>27. ábra 2%-os cink-borát szuszpenzióval kezelt, erdeifenyő faanyag, 100-szoros pásztázó elektronmikroszkópos nagyításban.....</i>	<i>35</i>
<i>28. ábra 2%-os cink-borát szuszpenzióval kezelt, erdeifenyő faanyag, 2000-es pásztázó elektronmikroszkópos nagyításban.....</i>	<i>35</i>
<i>29. ábra 2%-os réz-borát szuszpenzióval kezelt, bükk faanyag, 100-szoros pásztázó elektronmikroszkópos nagyításban.....</i>	<i>36</i>
<i>30. ábra 2%-os réz-borát szuszpenzióval kezelt, bükk faanyag, 2000-es pásztázó elektronmikroszkópos nagyításban.....</i>	<i>36</i>

Táblázatjegyzék

1. táblázat *Az elvégzett vizsgálatok során alkalmazott próbatestek felosztása a vizsgált nanorendszerek, azok koncentrációja, az alkalmazott fafaj és farontó gomba szerint. Vöröskorhasztó: pincegomba (*Coniophora puteana*); fehérkorhasztó: lepkegomba (*Coriolus versicolor*).....14*
2. táblázat *Bükk és erdeifenyő próbatestek tömegnövekedésének százalékos értékei (WPG), különböző koncentrációjú nano-szuszpenziós impregnálások esetén. A gomba típusa a későbbi laboratóriumi tartósságvizsgálat során alkalmazott gomba típusát jelöli. Az ezüst kolloid nem volt tárgya a fehér korhasztóval történő vizsgálatnak.....23*
3. táblázat *Bükk és erdeifenyő próbatestek tömegnövekedésének százalékos értékei, különböző koncentrációjú nano-szuszpenziós impregnálásokat követő szilícium-aerogéllal való kezelés eredményeként.....24*