

Kõrgem Kunstikool Pallas
Mööbliosakond

Seenemütseel-materjali rakendamisvõimalus mööbli konstruktsioonis

Application of Mycelium-Based Material in Furniture Construction

Lõputöö

Marleen Začek
Juhendaja: Vitali Valtanen, MA
Konsultant: Kalev Adamson
Regino Kask

Tartu 2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. SEENMATERJALID	6
1.1 SEENED	6
1.2 SEENMATERJALI KOOSTIS JA OMADUSED	10
1.3 MÜKOKOMPOSIIT	15
1.4 SEENMATERJALIDE KASUTUSVALDKONNAD	17
2. SEENMATERJALIDE TOOTMINE	22
2.1 KASVATAMISTINGIMUSTE LOOMINE	22
2.2 ALUSMATERJALI PASTÖRISEERIMINE	23
2.3 SUBSTRAADI INOKULEERUMINE	24
2.4 PROTSSESSI LÕPETAMINE	25
3. PRAKTILISE TÖÖ KIRJELDUS	27
3.1 LÄHTEÜLESANDE PÜSTITUS	27
3.2 ESIALGNE KONTSEPTSIOON	30
3.3 SEENMATERJALI KASVATAMINE	33
3.3.1 SUBSTRAADI ETTE VALMISTAMINE	33
3.3.2 SUBSTRAADI NAKATAMINE MÜTSEELIGA	34
3.3.3 SEENMATERJALI VORMI PANEMINE	35
3.3.4 SEENMATERJALI KASVAMINE	37
3.3.5 SEENMATERJALI KUIVATAMINE / PRESSIMINE	41
3.3.6 ANALÜÜS	44
3.4 SEENMATERJALI RAKENDAMINE MÖÖBLI KONSTRUKTSIOONIS	45
KOKKUVÕTE	48
SUMMARY	49
ALLIKAD	51
LISAD	58
LISA 1. KUVATÖMMISED (INSTAGRAM @MYCELIUMLOG)	58
LISA 2. PRESSITUD MÜKOKOMPOSIITPLAAT (ESIMENE)	59
LISA 3. PRESSITUD MÜKOKOMPOSIITPLAAT (TEINE)	60

LISA 4. SEENMATERJAL PUIDUST RAAMIL	61
.....	61

SISSEJUHATUS

Biotehnoloogia ja disainitööriistade areng on soodustanud looduslike mehhanismide kasutamist uute materjalide loomiseks. Seenediistiku kiulist võrgustikku, vegetatiivset osa, saab kasutada taastumatute loodusvarade baasil toodetud sünteetiliste vahtude ja nii tervisele kui keskkonnale kahjulike vaikude baasil toodetud komposiitmaterjalide jätkusuutlike alternatiivide loomiseks. Seenediistiku kasutamise kohta tehtud uuringute tulemustest saame informatsiooni ja sisendit, et pakkuda säästva elutsükliga puhtamaid arhitektuuri- ja disainitooteid.

Lineaarne majandusmudel töötab sõnumil: võta, tooda, tarbi ja viska ära. Küll aga on ammu mõistetud, et sarnane suhtumine ei iseloomusta kuidagi loodusvarade säästvat ega ka tarka kasutamist ning ei ole pikemas perspektiivis inimkonnale jätkusuutlik - mentaliteet, kuidas, mida ja kui palju tarbime, peab muutuma, et saaksime ka tulevikus nautida seda, mis meile looduse poolt antud on. Selleks tuleb võtta samme ringmajanduse poole, mis osalt eeldab nüüdseks keskkonda koormavate materjalide ja nende tootmisliinide ümber kujundamist ja uute säästlike lahenduste kasutusele võttu.

Seenmaterjali saab potentsiaalselt kasutada pakendite, mööbli, sisustuselementide ja ehitusmaterjalide tootmisel, lisaks saab seenest toota ka asendust loomsele nahale. Seenmaterjale saab hinnata ja võrrelda substraadi koostiste, valmistamismeetodite ja materjaliomaduste kaudu, mis ilmnevad veeimavuse ja survetugevuse katsete kaudu. Materjali lõplikud omadused on tihedalt seotud substraadi hallituse omaduste ja inkubatsioonitingimustega. (Attias *et al.* 2020)

Maailmas eksisteerib loetud hulk eraettevõtteid, kelle peamine fookus on sarnaste materjalide arendamine ja seenest toodete pakkumine. Eestis on sellise mõtlemise esindajaks ettevõtte Myceen, kes tõi esimesena Baltikumis turule seenmaterjalist tooted - B Wise laelamp sai 2022. aastal Eesti disaini auhinna BRUNO

elukeskkondliku toote disaini kategoorias. Nende ja ka paljude teiste ettevõtete nagu Ecovative, MOGU, MycoWorks, Biohm, Kineco ja Magical Mushroom Company eesmärk on arendada ja pakkuda mütseelipõhiseid materjale ja nendest valmistatud tooteid.

Mütseelipõhiste materjalide uurimine on võrreldes möödunud sajandi materjalidega alles alguses - üksikasjalikud uurimused materjali koostise, inkubatsioonitingimuste ja valmistamismeetodite kohta ainult parendavad materjali tootmiseks vajaliku teabe kättesaadavust ja rajavad teed ka teiste biomaterjalide laiemaks kasutamiseks. Oluline on see, et uuriksime ja katsetaksime uusi materjale - kas ja mil viisil need meie kasuks tööle hakkavad, seda näitab tulevik. Tuleb olla tänulik loodusele, kellega koos saame elada, õppides kasutama targalt tema pakutud lahendusi - üheks neist on seenemütseel ja sellest toodetud materjalid.

Lõputöö eesmärk on tutvustada seenmaterjale: nende koostist, omadusi ja kasutusvaldkondi. Praktilise osana otsib autor täiendavat lahendust seenmaterjalide kasutamiseks mööblidisainis ja püüab leida materjali omadustest lähtuvalt optimaalset viisi selle kasutamiseks tööstuslikult toodetavas mööblis. Töö on ka mingil määral tööriist ja juhend disaineritele, kes soovivad seenmaterjali oma toodetes kasutada, aga ei ole veel selle kasvatamisega tuttavad.

Materjaliga lähemalt tutvumise eesmärgil proovitakse samuti toota mütseelil põhinevat materjali, ja analüüsitakse kogu protsessi alates lähteülesande püstitamisest kuni lahenduse pakkumiseni. Lahendusena pakub autor välja kontseptsiooni, kuidas seenmaterjali mööbli konstruktsioonis optimaalselt kasutada, milline on seenmaterjali kasutegur võrreldes asendatava materjaliga, mida tuleb teha, et materjali eesmärgipäraselt kasutada ja kuidas on võimalik uudset biomaterjali ka laialdasemalt kasutusele võtta.

1. SEENMATERJALID

1.1 SEENED

Seened (seeneriik - Mycota, fungi) kuuluvad eukarüootide ehk päristuumsete organismide hulka ja on asustanud Maad juba eelkambriumi ajastust saadik (Van Bael, 2020). Maailmas tuntakse seni ligi 100 000 liiki seeni, aga tõenäoliselt on neid üle 1,2 miljoni (Eesti Entsüklopeedia). Sarnaselt inimestele tarbivad seened hapnikku ja eritavad süsihappegaasi.

Eukarüootidel asub geneetiline informatsioon ehk pärilikkusaine kromosoomidena rakutuumas - selleks on membraaniga ümbritsetud organell. Päristuumsete rakus leiduvad veel lisaks rakutuumale ka mitokondrid, Golgi kompleks, endoplasmaatiline retiikulum ehk rakuvõrk, keerukas tsütoskelett. Kõik hulkraksed organismid - loomad, taimed, seened ja hulk muid olendeid - on päristuumsed. (Eesti Loodus)

Seened on looduses aineringes destruendid ehk lagundajad - neil on võime muuta keerulise keemilise ehitusega orgaanilised ühendid, surnud orgaanilise aine lihtsateks anorgaanilisteks aineteks, millest omakorda toituvad teised organismid (Tokko).

Paljud elumuutvad sündmused Maal on toimunud just tänu seentele - näiteks said taimed veest maale tulla üksnes tänu seentele ja seda 500 miljonit aastat tagasi (Sheldrake 2020). Seened ise on meie planeedil eksisteerinud juba miljard aastat, olles eristunud evolutsiooni vältel loomariigist (Eesti Entsüklopeedia).

Kuigi enamus seentel puudub aktiivne liikumisvõime (paljunetakse läbi õhu eoste ehk spooridega, erandiks on viburiga eosed), siis on seentel looduses suur haare: seen levib substraadis olevate seeneniitide ehk hüüfidega (Tokko). Hüüfi läbimõõduks võib olla 5-15 µm (Geitmann and Emons 2000). Hüüfid moodustavad

seeneniidistiku ehk mütseeli (Tokko) (vt foto 1). Seeneniidistiku ja inimese soolestiku vahel saab tuua paralleeli (Tokko). Peened seeneniidid moodustavad suure aktiivse pinna tänu millele on neil ainevahetus väliskeskkonnaga (Tokko). Ka inimese soolel, mis mahub kõhuõõnde, on kokkuvõttes suur imamispiind (Tokko).

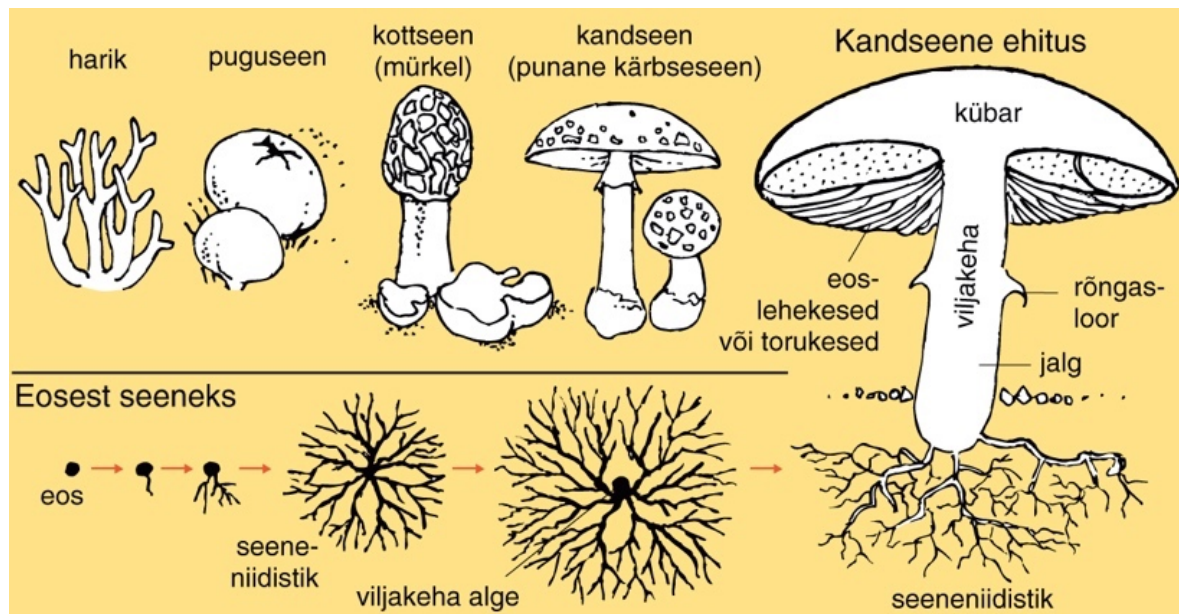


Foto 1. Seened (Eesti Entsüklopeedia: <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/seened1>)

Seentel on heterotroofne eluviis - see tähendab, et nad toituvad valmis orgaanilisest aineist (Tokko) eritades selleks orgaanilisi aineid lagundavaid ensüüme (Eesti Entsüklopeedia). Ensüümide toimel tekkinud lahus absorbeerub seene organismis (Eesti Entsüklopeedia). Erinevalt taimedest ei sisalda seened klorofüllit ja seega ei suuda nad päikeseenergia abil anorgaanilisi aineid orgaaniliseks sünteesida (Tokko). Neid ei tohi ajada segamini autotroofsete organismidega, kuna nad ei ole kunagi seda olnud - seened ei kuulu taimeriiki, vaid moodustavad omaette riigi (Tokko).

Seente rakukest on kitiinitaolisest aineist - rakukesta materjalina esineb tselluloosi ning glükogeeni (Tokko). Tselluloos on ka puidu koostises olev keemiline ühend, mida kasutatakse tekstiilide, paberi ja plasti tootmisel - see eraldatakse ligniinist (Eesti Plastitööstuse Liit). Ühtlasi on tselluloos taimsete rakkude üks põhilisi ehituskive (Tokko).

Seened saavad toituda kas surnud orgaanilisest aineist (saprobionid), esineda parasiidina elusal taimel (ka loomal) või kasvada sümbioosis taimedega - seda olenevalt konkreetse seene elustiilist (Eesti Entsüklopeedia). Sümbioosi moodustavad eri liikidesse kuuluvad organismid, näiteks seened ja taimed, kui kooselu on vastastikku mõlemale liigile kasulik (EKSS). Üks levinuid kooslusi on samblik (seene ja vetika liitorganism) - lisaks ka mükoriisa: seen koos taimejuurega (Eesti Entsüklopeedia). Kõik Eestis kasvavad puhmad, põõsad ja puud saavad areneda ainult mükoriisat moodustades (Eesti Entsüklopeedia).

Üle 90% taimedest sõltuvad mükoriisa-seentest, mis seovad juurestikkupidi metsas olevaid puid - seda nähtust kutsutakse tihti ka “ülemetsaliseks puude võrgustikuks” ehk inglise keeles „*Wood Wide Web*” (otsene viide ülemaailmsele interneti võrgustikule: inglise keeles „*World Wide Web*”). (Stamets 2020)

Seened on kõikjal meie ümber. Sellest räägib Merlin Sheldrake oma 2020. aastal ilmunud raamatus „*Läbipõimunud elu*”:

„Seened on kõikjal, kuid neid on lihtne mitte märgata. Nad on teie ja minu sees. Nad hoiavad alal teid ja kõike seda, millest sõltute. Juba nende sõnade lugemise ajal muudavad seened elu kulgemise viisi, nii nagu nad on seda teinud juba enam kui miljard aastat. Nad söövad kivimeid, tekitavad mulda, seedivad saasteaineid, toidavad ja tapavad taimi, jäävad ellu kosmoses, kutsuvad esile nägemusi, toodavad toitu, valmistavad ravimeid, manipuleerivad loomade käitumisega ja mõjutavad Maa atmosfääri koostist. Seened annavad meile võtme, mis aitab mõista planeeti, millel elame, ja viise, kuidas me mõtleme, tunneme ja käitume. Kuid nad elavad oma elu suurel määral silme alt peidus olles, ja enam kui 90% nende liikidest on dokumenteerimata. Mida rohkem me saame seente kohta teada, seda vähem asju on ilma nendeta mõttekad. Seened pakuvad meile arusaama planeedist, kus elame, ja sellest, kuidas mõtleme, tunneme ning käitume.” (Sheldrake, 2020)

Hõimkonniti liigitatakse seeni järgmiselt:

- viburseened *Chytridiomycota*,
- ikkeseened *Zygomycota*,
- kottseened *Ascomycota*,
- kandseened *Basidiomycota* (Eesti Entsüklopeedia).

Ikkeseened elavad enamasti vees ja neil on enamasti (viburitega varustatud) rändeosed - rühma kuuluvad näiteks kartulivähi tekitaja ja nutthallitus). Kottseente eosed valmivad eoskoti sees. Kottseened on toitumiselt enamasti saprobiondid. Rühma esindajateks on näiteks pärmseen ja pintselhallitus (*Penicillium*). Kandseente eosed levivad eoskandadel, levinuim on suguline paljunemisviis. Rühma kuuluvad tavaliselt toiduks tarvitavad seened, näiteks kübarseened nagu haavapuravik ja kollakas kukeseen (*Opiq*)

Omaette eluriiki kuuluvad esiviburlased (*Stramenopila*). Limakud ehk limaseened kuuluvad ainuraksete riiki (*Protozoa*). (Eesti Entsüklopeedia)

Tavakeeles viitab sõna „seen” seene viljakehale. „Viljakehad on tihedalt põimunud hüüfidest moodustised, millel arenevad eoskotid (kottseentel) või eoskannad (kandseentel) (Eesti Entsüklopeedia)”. Eestis on teadaolevalt üle 7300 seeneliigi (Saar 2015) neist söögiks kõlbab (osalt ka ravieesmärgil) ligikaudu 400 liiki (Ehrlich 2014). Praegune teadmine nende liikide potentsiaalsest kasust ja kasutamisest on enam kui tagasihoidlik.

Seente peamised kasutusvaldkonnad on järgmised:

- meditsiinis antibiootikumide ja muude ravimite tootmine
- toidutööstuses kääritamine: kalja, õlu, veini, juustu tootmine (pärmseened)
- makroseente otsene söögiks tarvitamine
- põllumajanduses loomasööda valmistamine ja söödalisandite (vitamiinide, valkude) saamine (Libre Texts Biology)

1.2 SEENMATERJALI KOOSTIS JA OMADUSED

Seenmaterjalid põhinevad seeneniidistikul ehk mütseelil. Eristada saab kahte võimalikku suunda, kuidas ja mis eesmärgil mütseeli kasutavaid materjale toota: puhtalt seenest kasvatatud materjalid/tooted (vt foto 3) ja seeneniidistiku siduvate omaduste kasutamine substraadil (vt foto 2) (Tampere 2022).



Foto 3. Seenmaterjalist pakend (Kineco: <https://kineco.bio/>)



Foto 2. Seen-vaht MYFOAM™ (Mycelium Materials: <https://www.myceliummaterials.nl/>)

Seeneniidistik saab levida, kui seenel on piisavalt toitaineid, mida omastada. Selleks on vaja anda seenele pinnas, substraat, mida lagundada - selleks sobivad hästi peaaegu kõik orgaanilised ained: oluline on pakkuda seenele toitu. Kasutatakse näiteks puidulaaste, saepuru, kanepikiude, puuvilla, riisi, jahu, viljaterasid ning muid põllu- ja puidutööstuse jääke (Elsacker 2021).

Seene kasvamise käigus toimub pidev lagundamisprotsess, mille tulemusel tekib tihe põimunud niidistik. Seeneniidistik seob omavahel kokku substraadi, milles see kasvab – olgu selleks pinnas või saepuru. Hiljem kuivatatakse ja/või kuumutatakse mütseeliga seotud materjali biomass ära - tulemuseks saadakse monoliitne keha, mis püsib koos tänu niidistikule (Nahksepp 2022). Kui materjal surve all kokku pressida, siis suurenevad selle mehaanilised omadused nagu tugevus ja sitkus (Appels *et al.* 2019).

Kuna siduvaks komponendiks on niidistik ise, siis ei ole tarvis kasutada tervist kahjustavat, puitlaastplaatides esinevat karbamiidformaldehüüdvaiku (Šumigin) ega ka teisi tehislikke sideaineid (Jones *et al.* 2018) Ühtlasi on seeneniidistikul põhineval biomaterjalil võrreldes puitlaastplaadiga vähem koostisosi, mis kõik on looduslikku päritolu - need saab keskkonna ainevahetusse tagasi suunata (Jiang *et al.* 2016). Puitlaastplaatides võidakse kasutada lisaks vaigule ka parafiini, karbamiidi, kõvendit ning teisi lisandeid, mis moodustavad ühtse süsteemi ehk liimi (Šumigin). Puitlaastplaate kasutatakse peamiselt mööblis täispuidu asemel ning ehituses voodri- ja alusmaterjalina (Šumigin). „Nähtavate pindade puhul kasutatakse puitlaastplaate lamineerituna või spoonituna (Šumigin)”.

Vaatamata sellele, et puitlaastplaatides kasutava formaldehüüdi (värvitut tervist kahjustavat gaasi) eritava vaigu (Šumigin) kogus on Euroopa Liidu seadustega reguleeritud (EUR-Lex 2008), siis ei ole see materjal biolagunev ning selle ümbertöötlemiseks läheb palju ressursse (Metsamägi 2014).

Seenemütseelil põhinevaid materjale saab toota tänu puitu lagundavatele torikseentele (*Polyporales*), mis kuuluvad kandseente hõimkonna alamhõimkonna *Agaricomycetes* klassi (Van Bael 2020). Torikseente hulgast leiab nii jäigemate viljakehade ja eoslehekestega liike kui ka puidul õhukese kihina kasvavaid seeni (Tampere 2022, Niemelä 2008).

Sõltuvalt sellest, milliseid molekule lagundatakse, saab puitu lagundavad seened liigitada kaheks: kas tekib valgemädanik või pruunmädanik (Niemelä, 2008). Valgemädanik tekib, kui niidistik lagundab ensüümidega tselluloosi, ligniini ja hemitselluloosi - kõiki puidu koostisosi - ja tulemuseks on üldjuhul valge lagunenud puidust mass (Tampere 2022). Kui lagundatakse tselluloos ja hemitselluloos, aga alles jääb ligniin, siis tekib pruunmädanik (Tampere 2022). Puit kaotab omadustelt tugevust ja saab pruuni värvuse (Niemelä 2008).

Kuna seenmaterjalide alustala on mütseel, siis on materjali mehaanilised omadused tihedalt seotud sellega, mis liiki seent kasutatakse, ja kui suure toitainete sisaldusega on substraat. Samuti erineb materjali visuaal ja värvus. (Appels *et al.* 2019)

Seeneniidistikust saab kasvatada näiteks materjale naha- ja tekstiili asendamiseks, vormi kasvatatud pakkematerjale ja plaatmaterjalina saepuru komposiiti. Samuti on kasvatatud ka komposiit-materjali, mida töödeldakse sarnaselt vineerile kuumusega spetsiaalse rakisel (vt foto 4), andes sellele soovitud painutusaste, kumeruse (Catchpole 2016).



Foto 4. Rakis (Autor Glenn Catchpole:
<https://www.behance.net/gallery/57505059/Pare-Chair-A-Zero-Waste-Chair>)

Puhtalt mütseelist koosnevaid materjale toodetakse vedelast seenekultuurist (põhiliselt valgemädanikku tekitavatest seentest - näiteks *Ganoderma* või *Pleurotus*) (Tampere 2022). Sarnane tootmine erineb lignotselluloosilisel substraadil kasvatatud materjalist, kuna tekib vaid pinnal moodustunud valge hüüfikogumik (Vandelook *et al.* 2021), mida saab hiljem vastavalt soovitud tulemusele kuumusega töödelda. Selleks kasutatakse seeni nagu läikvaabik ehk reishi *Ganoderma lucidum*, libliktagel *Trametes versicolor*, Tuletael *Fomes fomentarius*, *Pycnoporus* (Vandelook *et al.* 2021).

Kui söögiseente kasvatamisel on oluline, et tekiks võimalikult suured viljakehad, siis seenmaterjalide puhul on just oluline mütseeli võimalikult suur ulatus (Vandelook *et al.* 2021).

Valik, millist seent kasutada, oleneb materjali kasvatamiseks vajalikest kriteeriumitest. Tavaliselt peaks selline seen olema suhteliselt kiire kasvuga, lihtsasti kultiveeritav ja looma võimalikult tugeva ning tiheda niidistiku. Näiteks saab tuua *Agaricomycetes* klassi kuuluva austerserviku *Pleurotus ostreatus* (vt foto 5), mis kasvab temperatuuril 24 °C umbes 12 - 21 päevaga (Mycelia 2022), vajab



Foto 5. Austerservik (Amazon: <https://m.media-amazon.com/images/I/81Xb2AQUXIL.jpg>)

õhuniiskust 70 - 80% (Põllumajandusuuringute Keskus), on kergesti kättesaadav (tegemist populaarse söögiseenega), kahjurite vastu üsna resistentne (Sánchez, 2010) ja suudab kasvada suurel hulgal lignotselluloosilisel biomassil - madalama toiteväärtusega orgaanilistel jäätmetel nagu saepuru ja hein (Grimm & Wösten *et al.* 2018, Lelivelt 2018). Seepärast on austervik üks levinuimaid taoliste materjalide kasvatamiseks kasutatav seen, ent kirjandusest leiab ka viiteid muude liikide kasutamise kohta: lakkvaabik, libliktagel, soomustorik (Tampere 2022). Enimlevinud liigid kuuluvad kandseente hulka, kuna nad suudavad kasvatada peaaegu lõpmatu

suure hüüfide võrgustiku, mida piirab vaid sobiliku substraadi olemasolu (Alberti *et al.* 2020).

Seenmaterjali kasuks räägivad järgmised väited:

- Kuna siduvaks aineks on seenemütseel, siis mürgiseid liimaineid pole vaja.
- Mahuaineks saab kasutada looduslikke komponente nagu saepuru, puukoor, taimsed kiud ja tangud.
- Seenmaterjali saab toota seenekasvatuste juures, kus selleks vajalikud tingimused on juba loodud. Ärimudelisse saab haakida veel ühe haru. (Ecovative 2022)

Samuti on seenmaterjalil palju omadusi, mis teevad sellest alternatiivi taastumatute loodusvarade arvelt toodetud materjalidele:

- Seenmaterjal on biolagunev (Jiang *et al.* 2016)
- Seenmaterjal on teatud astmeni looduslikult tulekindel (Jones *et al.* 2018)
- Seenmaterjalil on looduslik hüdrofoobsus (Haneef *et al.* 2017)
- See on kaalult kerge, tahke ja tihe (Jiang *et al.* 2016)
- Seda saab võrdlemisi kiirelt kasvatada (10-20 päeva, olenevalt seenest) (Haneef *et al.* 2017)
- Seenmaterjal on allergeenivaba, kui seda suurel kuumusel töödelda (allergiat põhjustavad spoorid hävitatakse) (Jiang *et al.* 2016, Tampere 2022)
- Materjalil on head akustilised omadused madala kuni keskmise sagedusega müra summutamiseks (Nahksepp 2022).

Internetilehel Medium 2018. aastal avaldatud artiklis räägitakse, et suurtootja IKEA soovib pakkematerjalina kasutusele võtta seenmaterjali (Medium 2018). 2022. aastal ilmunud Dornob artiklis räägib IKEA esindaja sammudest, mis nad on võtnud seenmaterjali kasutusele võtmiseks (Dawn). Projekti alustati koostöös ettevõttega Ecovative Design aastal 2016 - selle kohta, millal IKEA tooted seenmaterjalist pakendeis turule jõuavad, veel täpne info puudub. Küll aga tundub, et ettevõtte on otsuse vastu võtnud ja liigub soovitud tuleviku poole.

1.3 MÜKOKOMPOSIIT

Komposiidiks nimetatakse üldjuhul kahest või enamast materjalist koosnevat uut materjali, kus eristatakse mahu- ja sideainet (Kumm 2020). Seenmaterjali puhul on sideaineks seenemütseel ja mahuaineks substraat ehk materjal, mille sisse saab mütseel kasvada (substraadist saab seen toitained) (vt foto 6). Seega toimub mütseeli kasvamise käigus pidev lagundamisprotsess, mille tulemusel tekib tihe niidistik. (Nahksepp 2022)



Foto 6. Pressitud mükokomposiit (Autor Glenn Catchpole)



Foto 7. Mükokomposiidi tootmine (Ecovative)

Ameerika ettevõtte Ecovative tuli 2015. aastal turule tootega MycoBoard (vt foto 9), mille tootmine tundub olevat tänaseks lõpetatud - seda toodet ei pakuta aktiivselt nende kodulehel (Ecovative). MycoBoardi tehnoloogia seisneb mütseeli siduvatel omadustel ja kuumpressimisel kasutamata sealjuures keemilisi vaike (vt foto 7). Ecovative Design üks asutajatest on kirjeldanud MycoBoardi tootmisprotsessi järgnevalt: „Myco Board on karbamiid-formaldehüüdi-1 - ja LOÜ2 -vaba, omades samas samu omadusi kui tavaline puitlaastplaat. Materjalil on atraktiivne naturaalne pinnaviimistlus, kuid seda saab viimistleda ka spooniga või värvide või laminaatidega. Substraat, milles kasutatakse linast, rapsi, kanepist ja maisist saadud kiude, nakatatakse mütseeliga. Seejärel seisab segu neli kuni kuus päeva, mütseel kasvab 0,1 protsendilt 16-20 protsendini massist. Pärast seismist läheb kiusegu pressi, kus see kuumutatakse 280-400 kraadini - mütseel vedeldub ja voolab nagu vaik, kattes materjali ühtlaselt ja põhjalikult (vt foto 6). Kui see jahtub ja kõveneb, on MycoBoard tahke ja valmis turustamiseks.” (Upstate Venture Connect)

Tavalisest liimitud puidust eritub formaldehüüdi, mis on tuntud kantserogeen. Kuigi Ecovative'i tootmisprotsessis ei lisata siduvaid vaike, siis ei ole kogu MycoBoard formaldehüüdivaba - puidu kiudest valmistatud plaat sisaldab seda mõningasel hulgal. Mükokomposiit on võrreldes traditsiooniliste liimpuitplaatidega ohutumad just tänu kasutamata jäänud kemikaalidele, aga ka kulu-efektiivsed, kuna vaigusüsteemid ei ole soodsad. MycoBoardi tootmiseks kuluvad teised ressursid, aga see-eest on see lisandite vaba ja suuteline hinna poolest konkureerima traditsiooniliste materjalidega. (Upstate Venture Connect)



Foto 9. MycoBoard (Ecovative)



Foto 8. Pare chair (Autor Glenn Catchpole)

Ameerika Ühendriikides asuv kontorimööbli pakkuja Gunlocke on teinud koostööd Ecovative'iga, et luua MycoBoardi abil säästev alternatiiv nende tooli Savor seljatoele. Ka kasutati MycoBoardi surfarite veelaudade tootmiseks (tootja Enjoy Handplanes).

Mükokomposiiti on võimalik kombineerida ka spooniga on - anda materjalile keerukamaid kõverusi, kasutades selleks vineeri-painutamisele sarnast tehnoloogiat. Selleks kasutatakse materjali pealikihina spoonilehti, mis lisavad materjalile tugevust ja võimaldavad luua sileda pinna. Pärast kõvenemist on materjalil sarnased omadused nagu puitkiudplaadil, lisaks ka jäikus, mis ei jää kandvuse poolest palju alla klassikalisele vineerile. Näide sellisest projektist pärineb Uus-Meremaalt, kus Glenn Catchpole kaitses oma tööd: null-jäätmeid tekitav (ing k *zero-waste*) tool nimega Pare (vt foto 8) (Catchpole 2017).

1.4 SEENMATERJALIDE KASUTUSVALDKONNAD

Seenmaterjale on uuritud ja arendatud nüüdseks üle 15 aasta. Väidetavalt üks esimesi ettevõtteid, nüüdseks ka jõudsalt arenenud ning tuntuim oma valdkonnas, on New Yorkis baseeruv ettevõtte Ecovative Design. Ettevõtte asutasid Eben Bayer ja Gavin McIntyre, kui nad 2007. aastal tulid turule seenemütseelil põhineva insuleerimistootega (ing k Greensulate). Insulatsiooniplaadi järel hakkas ettevõtte tegelema alternatiivse pakkematerjali välja arendamisega, millest sai peagi nende fookus. Nad pakuvad materjale pea igasse tootmisvaldkonda: pakendi-, toidu-, moe-, rõiva- ja ehitusvaldkonda. Mõned nende toodetest on: MycoComposite, AirMycelium.

Lisaks on Ecovative Design'il tütaretevõtte My Forest Foods, mis pakub liha asenduseks seenemütseelist toodetud "peekonit".

Varasemas peatükis tutvustatud mükokomposiiti MycoBoard kasutati Gunlocke'i poolt toodetud toolis seljatoena (vt foto 10). Gunlocke'i sotsiaalmeedia postituses mainiti, et MycoBoard on "Cradle to Cradle" kullaga sertifitseeritud toode.



Foto 11. Cradle to Cradle kriteeriumid (Cradle to Cradle Product Innovation Institute)



Foto 10. Tool Savor (Gunlocke)

„Cradle to Cradle” on sertifitseerimine, mis hindab toote toimivust järgmise 5 kriteeriumi alusel (vt foto 11):

- 1) materjali tervis,
- 2) toote ringlus,
- 3) sotsiaalne õiglus,
- 4) vee ja pinnase säästmine,
- 5) puhta õhu ja kliima kaitse. (Cradle to Cradle Product Innovation Institute)

Iga kriteeriumi kohta antakse hinne (kas pronks, hõbe, kuld või platinum) ja madalaim hinne määrab toote üldise sertifitseerimise taseme. Sertifikaati annab välja Cradle to Cradle Products Innovation Institute, mis on registreeritud Hollandis. Nende eesmärk on aeglustada Maa ressursside kasutamist suurendades ringmajandust, säilitada puhast joogivett ja värsket õhku ning suurendada taastuvate tehnoloogiate kasutusele võtmist. Lisaks tagab sertifikaat, et tootes ei ole kasutatud inimesele ega keskkonnale kahjulikke koostisosi. Ettevõtte kogu väärtusahelas arvestatakse sotsiaalse õigluse ja nii töötajate kui loomade heaolu tagamisega. Väärtusahelaks nimetatakse tegevuste kogumit, mille käigus lisatakse teenusele või tootele väärtust (Oxford Dictionaries).



Foto 13. Isekasvav Paviljon 2019. aasta Hollandi disaininädalal (Foto Erik Melander)



Foto 12. Mükokomposiidist tool (Autor Grant Goldner)

Disainer Grant Goldner kasvas koos Ecovative Design tiimiga suuremahulise seenmaterjalist tooli, mis meenutab proportsioonidelt tugitooli (vt foto 12). See näide

illustreerib hästi, kuidas õigetes tingimustes on võimalik materjalist ka suuremaid objekte kasvatada.

Sisustusvaldkonna toodetest pakub ettevõtte MOGU akustilisi seinapaneele ja meie oma Eesti ettevõtte Myceen sai 2022. aastal Eesti disaini auhinna BRUNO esitledes laelampi B Wise (elukeskkondliku toote disaini kategoorias) (vt foto 14). Suurbritannia ettevõtte BIOHM müüb samuti lampe, mis on käsitsi valmistatud.

Nagu ka Ecovative Design, siis pakub ka GROWN Bio ja Mushroom Packaging seenemütseelist toodetud pakkematerjale (vt foto 14). GROWN Bio toodab ka päris mitmeid ehitusmaterjale nagu insulatsioonipaneele, väiksemaid ehitusplaate ja tellised.



Foto 14. Seenmaterjalidest tooted (Myceen, Mogu, Beijing Institute of Fashion Technology, Mushroom Packaging)

Ka on seenmaterjalid paljude disainerite ja kunstike üheks meelismaterjaliks. 2019. aasta Hollandi disaininädalal eksponeeriti seen- ja muudest biomaterjalidest ehitatud isekasvatavat paviljoni „The Growing Pavilion”, mille autoriks oli kunstnik Pascal Leboucq - projekt sündis koostöös Erik Klarenbeeki stuudioga Krown Design (vt foto 13). Seenmaterjalist paneelidel kasutati maiade iidset pinnatöötlusvahenidit,

mis tagas vastupidavuse välitingimustes. Paviljoni näol oli tegemist ka tegevuskunstiga (ing k *performance*). Seal eksponeeriti biomaterjalidest rõivaid, mööblit ja muid tooteid, kasvatati seeni ja kõigele lisaks esitati J.S. Bachi muusikat. Paviljonis kasvavaid seeni korjati iga päev kell kolm päeval ja müüdi hiljem tänaval. (Dezeen)

Disaineritele, kes huvitusid biopõhistest materjalidest, oli kättesaadav materjalide ja ettevõtete atlas, mis koondas endas infot. Kunstnik Leboucq kommenteeris ise seda järgnevalt: "Kui tahate midagi muuta, siis peaksite teabe avalikustama. Inimesed istuvad selle peal ja püüavad teavet kaitsta, mida ma mõistan, sest paljud disainerid on väikesed ettevõtted, kes töötavad tõesti seitse päeva nädalas, et oma äri ajada, kuid kui teete koostööd, läheb see palju kiiremini." (Dezeen)

Kineco.

[home](#) [shop](#) [contact](#)

 cart (0)



HedelComposite

30L / ~10kg

Hedelcomposite is composed of sterilized residual sawdust and inoculated with mycelium. Ready to use. Grow your own biodegradable mycelium objects with Hedelcomposite in just one week! Check out our [growing guidelines](#) for tips and tricks on how to grow. Hedelcomposite needs to be stored airtight and cool (max. 4°C) until usage. Process your material within 3 weeks after receipt.

€22,- excl. VAT

- 1 +

Add to cart

Maximum of 10 bags (30L) per order. if you want to order larger quantities, please send an e-mail to contact@kineco.bio

Foto 15. HedelComposite (Kineco)

Kineco on Hollandi ettevõtte, mis pakub komplekte kodus seenmaterjali kasvatamiseks. Toode kannab nimetust Hedelcomposite (mütseelsubstraat) ja seda saab ettevõtte kodulehelt tellida (vt foto 15). Tootja väidab, et materjal kasvab 5-7 päeva jooksul. Kodulehelt leiab klient ka juhised seenmaterjali kasvatamiseks. (Kineco)

Kõiki ettevõtteid ühendab see, et nad on avatud suhtlema otse disaineritega - töötama välja toote vastavalt vajadustele (ent siiski ka võimalustele). See aitab kaasa materjalide üldsusele kättesaadavaks tegemisele. Ka valdkonnas mitte orienteeruv inimene saab pöörduda oma ideedega spetsialisti poole - tekib võimalus koostööks ja nii kestab pidev biomaterjalide arendustöö.

2. SEENMATERJALIDE TOOTMINE

2.1 KASVATAMISTINGIMUSTE LOOMINE

Sobilikud kasvutingimused olenevad suuresti seeneliigist ja millisel materjalil seent kasvatatakse. Inkubeerimise temperatuur võiks jääda vahemikku 21-30 kraadi (Haneef *et al.* 2017). Oluline on tagada puhtus - desinfitseerida kõik pinnad, millega katsevahendid kokku puutuvad. Samuti peaks olema ka ruum, milles seen materjal kasvab, puhta õhuga. Ruumi õhus on pea alati mingil kontsentratsioonil hallitusseeni. Katse õnnestumiseks tuleb tekitada olukord, kus katsekehale satuks neid võimalikult vähe.

Õhu saastumist tuleks vältida, puhastades kõik aluspinnaga kokkupuutuvad pinnad. Mütseel toodab loomulikult süsihappegaasi. Õige ümbritseva temperatuuri ja niiskustaseme korral reguleerib substraat ise oma keskkonda. Selleks tuleb kasvukeskkond sulgeda, nii et CO₂ ei pääse välja. Kui biomassi hulk on piisav, siis toodab seen ka piisavalt süsihappegaasi. Madal süsihappegaasi tase võib tekitada nõrku objekte. (Kineco)

Substraat peab olema piisavalt niiske, et see läbi ei kuivaks, kuna siis seene kasv aeglustub. Niiskuse tase võiks jääda umbes 66% juurde (Ross, 2016). Suhtena avalduks niiskuse tase järgmiselt: 2/3 vett ja 1/3 substraati. Samuti on oluline substraadi pH tase – seenetele on parim vahemik pH 5 – 8 (Tampere 2022). Kõige parem on seent kasvatada pimedas (mitte otsese päikesevalguse käes) kontrollitud keskkonnas, kus oleks tagatud gaaside ja õhu ringlus. Seenmaterjali kasvatamisel võiks ruumi temperatuur jääda vahemikku 21-26 °C (Kineco).

Alles siis, kui materjal on kasvanud soovitud hulgal, tuleks komposiidist detail kuivatada – suuremate objektide puhul tehakse seda ahjus, väiksemaid objekte saab kuivatada õhu käes ja/või küttekehal (näiteks radiaatori peal).

2.2 ALUSMATERJALI PASTÖRISEERIMINE

Oluline on substraadi pastöriseerimine - selle käigus hävitatakse kõikvõimalikud kultuurid, sealhulgas hallitusseened. Substraadi pastöriseerimiseks ja steriliseerimiseks on mitmeid variante: üheks neist on temperatuuri tõstmine, näiteks läbi autoklaavimise ja pastöriseerimise, ja teiseks on substraadi töötlemine keemiliste või mikroobsete ainetega.

Substraati autoklaavitakse temperatuuril vahemikus 115 – 121 kraadi ja tavaliselt 15-28 minutit (Yang *et al.* 2017). Pastöriseerimisel uputatakse materjal keevasse vette (100 kraadi) umbes 100-ks minutiks (Levelt *et al.* 2015). Kuumus aitab kaasa taime rakukestade hävimisele ja pehmendab keemilisi komponente nagu ligniin ja hemitselluloos, tehes need mütseelile paremini omastavaks.

Alternatiivina saab substraati töödelda vesinik-peroksiidi lahusega (0.3-10%). Kõik seenmaterjaliga kokkupuutuvad detailid nagu vorm ja tööriistad tuleb steriliseerida alkoholipõhise lahusega (näiteks 70% etanool) (Elsackler *et al.* 2019; Jiang *et al.* 2017).

Kirjeldatud meetoditest kõige tõhusam on tõenäoliselt autoklaavimine, kuna see tapab ära ka kultuurid, mida näiteks keemiliste ühenditega hävitada ei saa.

2.3 SUBSTRAADI INOKULEERUMINE

Substraadi inokuleerimiseks nimetatakse alusmaterjali nakatamist mütseeliga. Selleks on mitmeid variante- enamjaolt kasutatakse eelkasvatatud mütseeli. Inokuleerimine viiakse läbi steriilsetes tingimustes, et vältida hallituse teket.

Võimalik on kasvatada mütseel ette petri tassil selleks ettenähtud söödal (tavaliselt on koostiseks agar agar ja linnaseekstrakti peptoon) (Haneef *et al.* 2017). Petri tassilt lõigatakse väikesed tükikeksed ja asetatakse alusmaterjali sisse.

Ühtlase seenesporide jaotumise huvides saab valmistada vedela inokuleerimislahuse, mida süstlaga materjali sisestada. Inokuleerimisprotsessi ajal substraat segatakse läbi ja mütseeli biomass tõmmatakse väiksemateks tükkideks lahku. See protsess stimuleerib hüüfide kasvu.

Seenmaterjali kasvamisaeg oleneb sellest, kui suure ala peab mütseel katma. Kasvuperiood võib olla 5-14 päeva, aga ka 25-30 päeva – osadel juhtudel isegi kuni 40+ päeva (Haneef *et al.* 2017; Moser *et al.* 2017; Yang *et al.* 2017).

Pikema aja jooksul kasvanud materjalid on vähem poorsed ja seega väheneb ka veeimavus (Ahmadi 2016). Kui seen jääb liiga kauaks materjali lagundama, siis väheneb alusmaterjali elastsus. Seda põhjusel, et seen muudkui lagundab alusmaterjalis leiduvaid koostisosi. Küll aga suureneb pikema kasvuperioodi tõttu materjali tihedus ja vastupidavus survele, kuna seenemütseel täidab tihedalt alusmaterjalis leiduvad vahed.

2.4 PROTSESSI LÕPETAMINE

Protsessi ja seene kasvamise saab lõpetada läbi kõrgel temperatuuril kuumutamise. Kuivatusprotsess sõltub valmistatud eseme mahust ja kuivatamiseks kasutatavast temperatuurist. seetõttu võib kuivamisaeg varieeruda 2 päevast kuni 1 või 2 nädalani.

Kuumutamiseks on samuti mitmeid viise nagu mikrolaineahi, infrapuna ahi, infrapuna lambid, termiline pressimine 250 kraadi juures 20 minutit (ing k thermal pressing) (Jiang *et al.* 2017) ja ka nii-öelda tavalises ahjus küpsetamine: 60-125 kraadi juures umbes 2 tundi.

Mütseelmaterjal loetakse surnuks, kui kuivatatud esemete niiskused näitavad 13% või vähem niiskust. Üldiselt kuivavad väiksemad esemed 48 tunni jooksul temperatuuril 60-80 °C. (Kineco)

Suuremate esemete kuivamine võtab rohkem aega. Kasutada tuleks niiskused näitajat, et niiskustaset jälgida. Keerake esemeid perioodiliselt, sest kõrgemal temperatuuril kuivatamisel võib tekkida paindumine. Kui teie ese on kuivanud, on see kaotanud umbes 50% oma kaalust.

Väiksemamahuliste esemete puhul piisab ka õhu käes kuivatamisest. Küll aga tuleks meeles pidada, et kuivatatud esemed ei ole 100% kuivad - õhus on alati mingi hulk niiskust. Kuivatatud materjali niiskusetase võib jääda 0,6 – 20 % vahele. Läbi kuumutamise kaotab seenemütseeli rakud oma seespidise hüdrostaatilise rõhu ja sel põhjusel on nende välimused silutunud, tasandatud (materjal ei ole nii kohev kui enne) (Haneef *et al.* 2017).

Valdkond, mis vajab veel uurimist, on seenmaterjalil kasutatavad viimistlusvahendid. Olenevalt funktsioonist on oluline, et materjal oleks vastavalt viimistletud.

Biomaterjali viimistlemiseks sobivad hästi looduslikud viimistlusvahendid nagu naturaalsed õlid ja šellak, mis täidavad materjali poorid ja kaitsevad seda välimõjutajate eest. Näiteks saab kasutada linaseemne õli ja šellakit, et säilitada ja kaitsta seenemütseelil põhinevaid materjale. Naturaalsel õlil on desifitseeriv efekt ja šellak mõjub kaitsekihina (Scott 2012).

Seenemütseelilt saab nahka toota, mille tõttu on uuritud ka vees-mittelahustavate valkudel põhinevat strateegiat. Need valgud on järgmised: maisivalk, nisugluteen, kala müofibrillaarne valk (müofibrillid on lihaste osa) – neid kõiki saab põllumajanduslikust jäägist (Elasacker).

Lisaks kaitseks keskkonna tingimuste eest, saavad looduslikud viimistlusvahendid parandada ka materjali mehaanilisi omadusi nagu tugevus ja jäikus (Jiang *et al.* 2017). Seda saab teha kasutades vaakum-infusiooni tehnikat (ing k *vacuum infusing processing*) (Jiang *et al.* 2014).

3.PRAKTILISE TÖÖ KIRJELDUS

3.1 LÄHTEÜLESANDE PÜSTITUS

Lähteülesanne püstitati pärast seenmaterjalidega lähemalt tutvumist: saadi ülevaade seenmaterjalide koostisest ja omadustest, nende kasvatamise põhimõtetest ja kasutusest juba eksisteerivate toodete ilmel.

Sooviti leida mükokomposiidile optimaalne kasutusvõimalus mööbli valdkonnas, katsetada kogu kasvatamise protsessi, analüüsida tulemusi ja aidata teisi disainereid seenmaterjali lahenduste loomisel. Tehtud näiteid analüüsides mõisteti, et valdavalt kasutatakse seenmaterjali sisustuses ja mööblis kas ühe suurema monoliitse kehana, konstruktsioonile kasvatatuna (näiteks Myceeni B wise lamp) või siis komposiidist paneelina (näiteks Mogu akustilised seinapaneelid). Erandiks on puhtast mütseelist kasvatatud seen-nahk ja pakkematerjalides kasutatav seen-vaht, mida saaks kasutada näiteks pehme mööbli valmistamisel (Ecovative).

Enim potentsiaali nähti kuumpressitud mükokomposiidis, mida on Eestis varem uurinud Risto Nahksepp oma rakenduskõrghariduseõppe lõputöös „Kuumpressitud mükokomposiitide mehhaaniliste omaduste uurimine”. Samuti leidis kasutust Liisi Tampere magistritöö „Mükokomposiitmaterjali kasvatamine ja võrdlemine vahtpolüstüreeni omadustega”. Analüüsides varem avaldatud materjaliuuringute tulemusi, leiti, et seenmaterjalidel ja eriti kuumpressitud mükokomposiidil on puitlaastplaadiga sarnased omadused. Puitlaastplaat on täna üks levinumaid mööblitööstuses kasutatavaid materjale (Šumigin).

Teise huviobjektina valiti mütseeliga segatud substraadi vormi kasvatamine. Seeneniidistik hoiab küll substraati koos, aga selleks peab niidistik olema piisavalt tihe ja keha võrdlemisi suur (et moodustuks suurem nö. jäigem blokk). Eelnevalt on proovitud kasvatada terve mööbliese vormi või on kasvatatud valmis üks suurem detail (näiteks tabureti istumisalus), millele on kinnitatud külge teisi väiksemaid

detaile (näiteks taburetijalad). Peab otsustama, kas seenmaterjal kasvatatakse juba puidust jalgade külge nii, et jalad ei ole teisaldatavad või pannakse substraat vormi mingisuguse detailiga, mille ümber kasvab seen ja mille külge saab hiljem vajalikke osi kinnitada (vt foto 17).

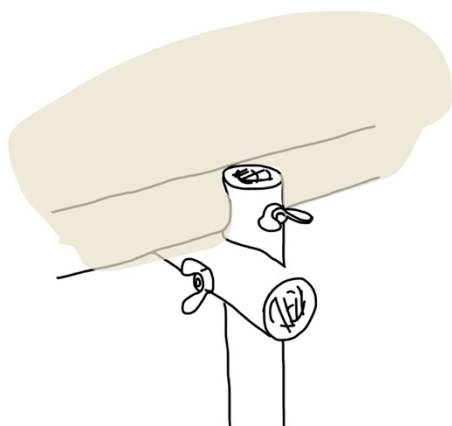


Foto 16. Seenmaterjali ja puidu ühendus
(Autori erakogu)



Foto 17. 3D-prinditud seenmaterjalist
tool (Eric Klarenbeek)

Üheks variandiks on kaasata puidust konstruktsioon, kuna seda saab seen lagundada ja kuna tegemist on samuti loodusliku materjaliga, siis on toode endiselt kergesti ümbertöödeldav ja biolagunev. Seenmaterjali on ka 3D-prinditud (vt foto 16). 3D-printimise eelis on see, et võimalik on saada väga tugevad ja stabiilsed tooted. Masstootmise koha pealt võtab jälle 3D-printimine liialt aega ja tehnoloogia ei ole veel kõigile kättesaadav. Turul on palju otstarvepärast mööblit nagu melamiinist riiulisüsteemid, kus kasutatakse kergesti masintöödeldavat ja transporditavat plaatmaterjali. Puitlaastplaadil on häid omadusi ja üks neist ongi selle kättesaadavus. Oluline on kasutada materjali otstarbepäraselt. Kuna mütseelipõhises komposiidis ei kasutata liimaineid, siis võib see kokku pressimata kujul nõrgaks - sinna ei ole võimalik kinnitada kõiki vajalikke detaile ja/või furnituure. Näiteks kui tahta kinnitada mükokomposiidist keha külge toolijalg, eeldaks see tappimist või kerme kasutamist, milleks võib pressimata materjal üksi nõrgaks jääda. Pressimise käigus surutakse seeneniidistik tihedalt kokku. Materjali

kuivatamisel seeneniidistiku sidemed kõvastuvad ja alusmaterjal (substraat) püsib tervikuna koos.

Kokkuvõtvalt saab öelda, et seenmaterjalil on palju häid omadusi, ent materjal seab ka disainerile parajalt piiranguid. Eesmärk oleks pakkuda lahendus, mis lihtsustaks uuritud biomaterjali kasutamist mööblidisainis - võimaldaks materjali kombineerida vajalike detailide ja furnituuridega. Soov oleks leida seenmaterjalil optimaalne, materjali otstarbekalt kasutatav rakendus. See aitaks kaasa seenmaterjalist mööbli tööstuslikule toodetavusele, mis omakorda suurendaks huvi materjali vastu ja tooks selle ka ringlusesse.

3.2 ESIALGNE KONTSEPTSIOON

Esialgne kontseptsioon oli luua rakendamisvõimalus mükokomposiidi kasutamiseks nii pressitud plaatmaterjalina kui ka pressimata kujul. Mõtete koondamiseks ja lahenduse otsimiseks sketšiti paberile ideid, mis seostusid uuritud seenmaterjalidega (vt foto 18).

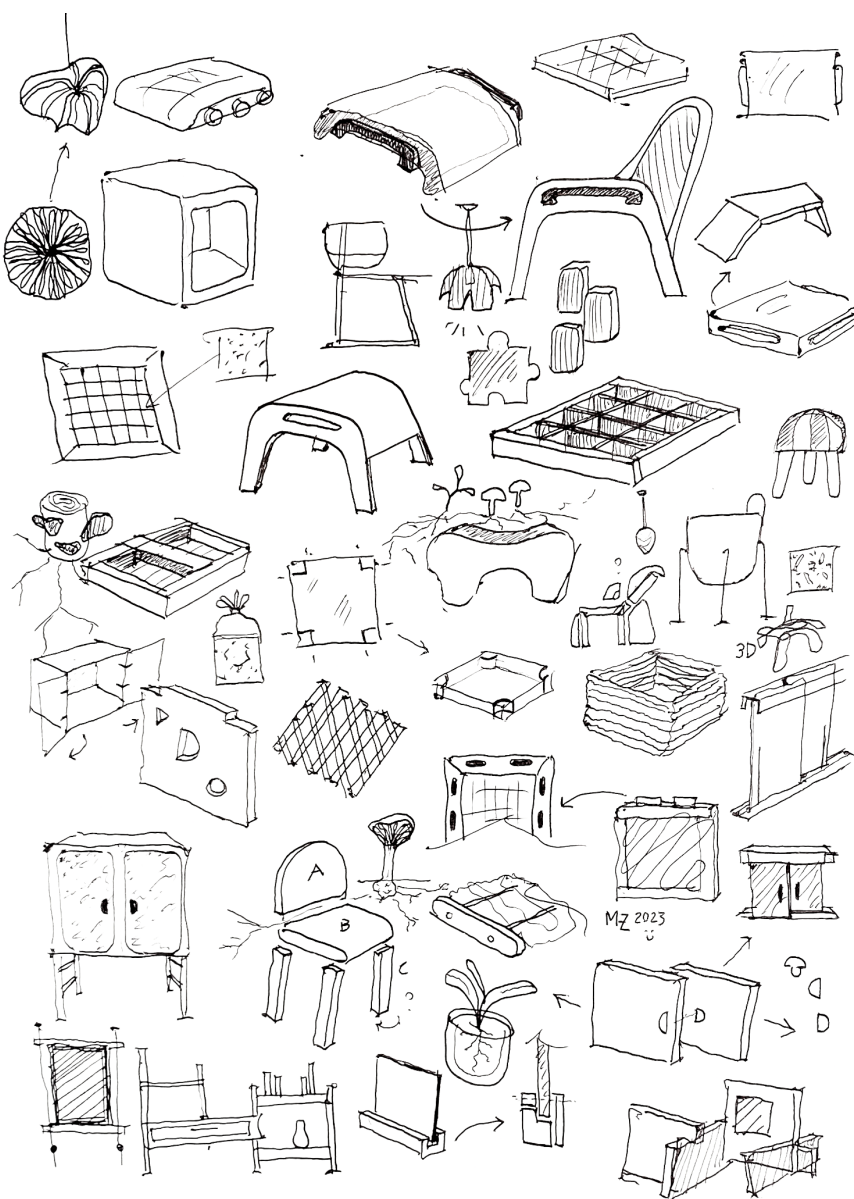


Foto 18. Sketšid (Autori erakogu)

Mõttetöö tulemusena leiti, et pressimata seenmaterjali on vaja mingil moel konstruktsiooniga tugevdada. Konstruktsiooni materjaliks valiti puit. Sooviti katsetada, kas ja mil viisil võiks mütseel ka puidust osale kasvada. Puidu külge on võimalik ka hiljem muid vajalikke detaile kinnitada. Samas tuleb meeles pidada, et seeneniidistiku tekkimisel eritub puitu mädanik, mis muudab puidu hapraks, mille tulemusena ei pruugi see muude detailide liitmiseks sobida.

Isegi kui puidu külge ei peaks saama kinnitada, vajab materjal sellegipoolest mingisugust tugevdavat konstruktsiooni. Raamist loodi kolm varianti (vt foto 19):

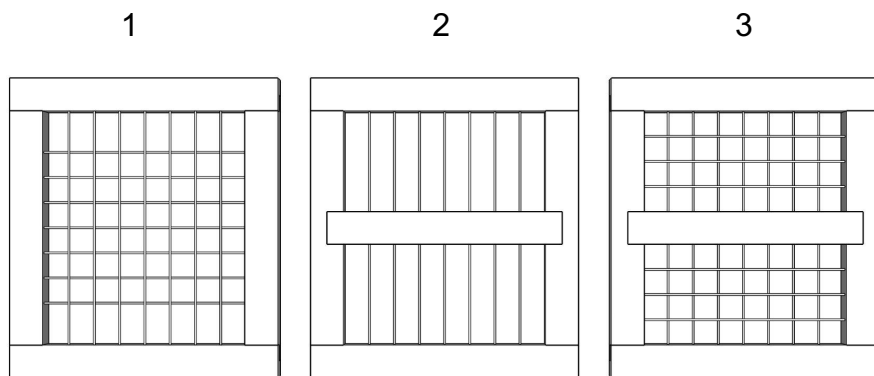


Foto 19. Raami konstruktsioonid (Autori erakogu)

- 1) tapitud ühendusega raam, millesse on puuritud augud (bambusest) varraste kinnitamiseks, vardaid on kokku 14 (7 + 7) (vt foto 19 nr 1)
- 2) sarnaselt esimesele variandile samamoodi tapitud raam, millele on lisatud kesktugi - kasutatakse 7 varrast, mis läbivad kesktoe (varraste jaoks on puuritud augud (vt foto 19 nr 2)
- 3) kombinatsioon esimesest ja teisest variandist - kõige stabiilsem variant, mille materjali kulu on samuti suurim (vt foto 19 nr 3)

Edasi liiguti esimese variandiga, kuna see tundus olevat piisavalt stabiilne ja sooviti katsetada, milline on tulemus kasutades minimaalselt toetusmaterjali.

Pressitud mükokomposiiti saab kasutada kas horisontaalse või vertikaalse pinnana (vt foto 20). Vertikaalse pinnana sobiks materjal näiteks kapi ukseks ja/või kapi külge ja tagaseinaks (vt foto 21). Horisontaalse pinnana materjali kasutamisel tuleb lahenda materjali viimistlus: pressitud plaat ei ole pealt piisavalt sile ja kiulist pinda on keeruline puhastada.

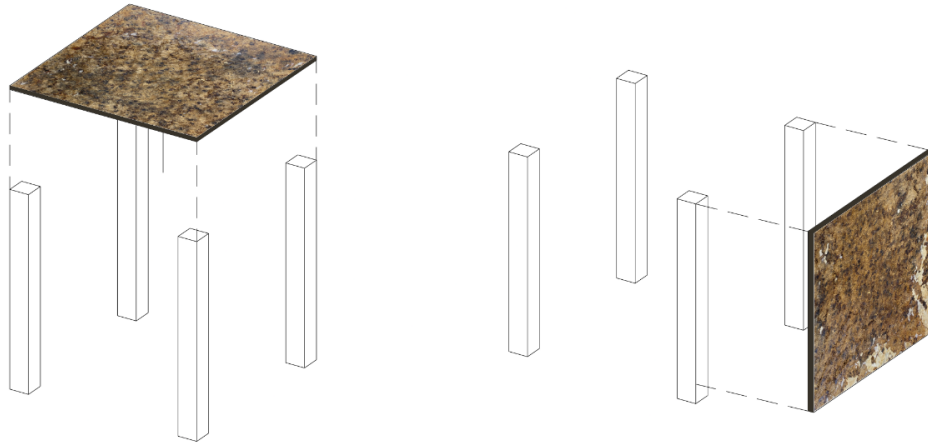


Foto 20. Mükokomposiit horisontaalse ja vertikaalse pinnana (Autori erakogu)

Küll aga Ecovative'i arendatud toote MycoBoard näitel saab öelda, et õigete võtetega on võimalik toota ka siledat plaati. Kindlasti on see koht, mis vajab tähelepanu ja arendamist - millise materjaliga pind katta. Kaaluda saab ka pinna lamineerimist, aga siis ei oleks enam tegemist puhta, loodusliku materjaliga.



Foto 21. Mükokomposiidi paneelid liugustena (Autori erakogu)

3.3 SEENMATERJALI KASVATAMINE

3.3.1 SUBSTRAADI ETTE VALMISTAMINE

Enne seenmaterjali kasvama panemist tuli valmistada substraat, milles seen saaks kasvada, levida. Substraadiks valiti värskelt langetatud haava saepuru, millesse segati rukkijahu, umbes 5% kogu substraadi kaalu kohta (vt foto 23). Koostisosade nagu rukki- või kaerajahu lisamine suurendab seene kasvuks vajalike toiteainete hulka. Jahu on peen ja seguneb saepuruga hästi.



Foto 23. Saepuru koos jahuga
(Autori erakogu)



Foto 22. Niiske substraat
(Autori erakogu)



Foto 24. Autoklaavitud saepuru
(Autori erakogu)

Kasutatav saepuru ei olnud väga peen – pigem saab seda võrrelda puiduhakkega. Saepuru ja jahu segati läbi. Kõige olulisem on hoida puhtust, desinfitseerida kõik pinnad ja töövahendid, millega substraat kokku puutub ja kanda ühekordseid kummikindaid. Töölaua süüdati piirituslamp. Kuna leek tekitab ülespidist õhuvoolu, siis hoiab see ära nakkustekitajate sattumise substraadi pinnale. Tuleks vältida substraadi kohal rääkimist, et sülg piiskadena pinnale ei satuks. Segule lisati destilleeritud vett – seda tunde järgi. Saepuru peaks olema piisavalt niiske – segu kokku pigistades tuleb vaevu mõni tilk vett välja (vt foto 22). Substraat tõsteti läbipaistvatesse küpsetuskottidesse ja suleti. Seejärel läksid kotid autoklaavi: 121°C juures 90 minutiks (1,5 atm) (vt foto 24). Substraat jahutati toatemperatuurini (22°C).

3.3.2 SUBSTRAADI NAKATAMINE MÜTSEELIGA

Eelnevalt valmistatud substraat nakatati teramütseeliga (vt foto 25). Massile lisati umbes 10% steriliseeritud rukkiteradel kasvatatud seeneniidistikku ehk teramütseeli, mis pärines Eesti Maaülikooli laborist (vt foto 26). Seenmaterjali kasvatamisega nõustas ja abistas autorit Eesti Maaülikooli metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool Kalev Adamson. Materjali kasvatamiseks kasutati Eesti Maaülikooli ruume ja materjale.

Teramütseel segati substraadi sisse. Seeneliigiks valiti austerservik *Pleurotus ostreatus*, mis paikneb klassis *Agaricomycetes* ja seltsis šampinjonilaadsed *Agaricales* (Tampere 2022).

Antud seen sai valituks, kuna selle eelkasvatatud mütseel oli parasjagu kättesaadav ja seen on saanud palju kajastust – mitmed õpetused ja avaldatud uurimistööd kasutavad seenmaterjalide valmistamisel austerservikut. Kuna kasvatatava materjali omadused sõltuvad suuresti valitud kultuurist ja substraadi koostisest, siis variante on palju.



Foto 25. Substraadile teramütseeli lisamine (Autori erakogu)



Foto 26. Teramütseel (Autori erakogu)

3.3.3 SEENMATERJALI VORMI PANEMINE

Vorme, kuhu sisse seen substraadil kasvama panna, oli kokku kolm: kaks läbipaistvat karpi ja eelnevalt valmistatud toolipõhja konstruktsioon (vt foto 27).

Toolipõhja konstruktsioon valmistamisel kasutati järgmiseid materjale: haavapuit, bambusvardad, puidust tüübleid ja PVA-liimi. Esmalt valmistati raam, liimiti see kokku ja siis puuriti raami bambusvarraste jaoks augud.

Kuna bambusvardad on painduvad, siis saadi need aukudesse suruda, liimi aukudesse ei pandud. Bambusvarraste eesmärk oli tekitada sõrestik, mis hoiaks seenmaterjali puidust raami küljes.

Bambusvarraste vahele asetati jutekangas (vt foto 28) – kuna tegemist on looduslikest kiudest koosneva materjaliga, siis kasvab seeneniidistik sellest läbi. Puidust raam valmistati järgnevates mõõtudes: 445 x 408 mm. Raamiliistu laiuks oli 50 mm ja paksuseks 24 mm. Bambusvardaid oli kokku 7+7. Toolipõhja raam tehti haavapuidust, kuna lehtpuidu peal levib mütseel hästi.



*Foto 27. Puidust konstruktsioon
(Autori erakogu)*



*Foto 28. Puidust konstruktsioon
kangaga (Autori erakogu)*

Puidust raam ligunes umbes ööpäeva destilleeritud veega täidetud kilekotis (vt foto 31). Vees ligunedes raam paisus. Tegelikult oleks pidanud ka raami autoklaavima või kõrgrõhuga läbi keetma, aga pastöriseerimise etapp jäeti vahele. Raam oli mõõdult liialt suur, et autoklaavi panna.

Raami sisse läks substraat järgmiselt: esmalt pressiti üks kiht substraati bambusvarraste vahele, seejärel tõmmati varraste vahelt läbi jutekangas ja lõpetuseks asetati jutekangale peale veel üks kiht substraati (vt foto 30). Substraati pressiti pigem õrnemalt kokku, et saepuru sisse jääks rohkem õhku (seene kasv on soodustatud).



Foto 31. Veega immutatud puitraam (Autori erakogu)



Foto 30. Substraat puitraamil (Autori erakogu)



Foto 29. Substraat plastkastis (Autori erakogu)

Raami ümber pandi suuremat sorti läbipaistev kilekott - kotiava suleti kergelt. Segati kokku allesjäänud autkolaavitud saepuru ja teramütseel, et seda kastides kasutada. Teisel korral segatud substraati sai veidi rohkem teramütseeli kui esimesse kogusesse. Hiljem väljendus see sellega, et kastides olevas substraadis tekkis rohkem seenekolooniaid.

Substraat tõsteti plastkasti (vt foto 29), millesse oli asetatud läbipaistev kilekott. Kilekott suleti pealt ja mõlemad kastid ning toolipõhi jäeti metsafütopatoloogia laborisse kasvama (Eesti Maaülikooli Metsamaja ruum nr 1410).

3.3.4 SEENMATERJALI KASVAMINE

Materjali kasvatati ajavahemikus 13.04-12.05.2023 Eesti Maaülikooli Metsamajas metsafütopatoloogia laboris. Protsessi dokumenteeriti fotode ja kirjetega järgmistel kuupäevadel: 13.04, 14.04, 25.04, 02.05, 08.05 ja 12.05. Materjali kasvatati puidust raamil ja kahes läbipaistvas plastkastis.

Seene kasvamine puitraamil:

13.04



14.04



25.04



Foto 32. Kasvamine puitraamil (Autori erakogu)

13.04 - Dokumenteeriti, milline oli raam ja seenmaterjal vahetult pärast kasvama panemist (vt foto 32).

14.04 - Kasvama panemisest järgmisel päeval on näha esimeste seenekolooniate tekkimist (vt foto 32). Kui purgis oli teramütseelil vähe hapnikku, siis väliskeskkonnas oli seda piisavalt ja seen sai elujõuliselt kasvada.

25.04 - 13ndal kasvamise päeval oli juba näha levinud mütseeli ja kolooniate suurenemist (vt foto 32).

02.05

08.05

12.05



Foto 33. Kasvamine puitraamil (Autori erakogu)

02.05

20ndal päeval tekkisid esimesed hallituse märgid. Hallitusseen pärssis eelistatud seene, austerserviku kasvamist (oli sellele konkurendiks) (vt foto 33).

08.05

25ndal päeval oli näha hallituse kiiret levimist (vt foto 33). Tõenäoliselt tekkis hallitus, kuna katse ette valmistamisel ei suudetud tagada piisavat puhtust. Raami ei steriliseeritud enne katse alustamist. Selleks oli põhjuseid palju: üks neist oli see, et raam ei mahtunud mõõdult autoklaavi, mis oli tol korral steriliseerimiseks käepärane vahend. Järgmise katse puhul tuleks raam eelnevalt kas autoklaavida või kõrge temperatuuri ja rõhuga läbi keeta. Hallitus levis puidust raamile ja eraldas sellele pigmenti. Samal ajal oli siiski näha ka austerseviku kasvu, kolooniate suurenemist. Kuna seen on elusolend, siis käitub see vastavalt taatele – tingimused ei olnud talle enim meeldivad.

12.05

29ndal päeval peatati protsess ja sealjuures igasuguste seente kasvamine raamil. Alustati raami kuivatamise ja seene kasvu peatamisega (vt foto 33).

Seene kasvamine plastkastis:

13.04



14.04



25.04

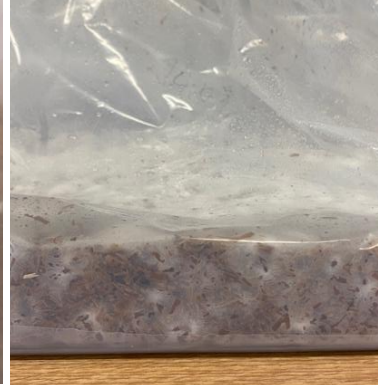


Foto 34. Kasvamine plastkastis (Autori erakogu)

13.04

Dokumenteeriti, milline oli kast substraadi ja mütseeliga kasvama panemise päeval (vt foto 34).

14.04

Kasvama panemisest järgmisel päeval oli näha esimeste seenekolooniate teket (vt foto 34).

25.04

13ndal päevaks oli mütseel saanud ohtralt levida. Kasvutingimused tundusid olevat seenele sobilikud (vt foto 34).

02.05



08.05



12.05



Foto 35. Kasvamine plastkastis (Autori erakogu)

02.05

20ndal päeval dokumenteeriti kasvamise pilt (vt foto 35).

08.05

25ndal päeval silmaga nähtav muutus kasvus puudus (vt foto 35).

12.05

29ndal päeval alustati materjali kuivatamist (vt foto 35)

3.3.5 SEENMATERJALI KUIVATAMINE / PRESSIMINE

Seenmaterjali kuivatamist alustati 12.05.2023. Puidust konstruktsioon viidi kuivatuskappi (vt foto 36), kus see kuivas kolm ööpäeva temperatuuril 50°C.



Foto 36. Puitraamil seenmaterjal enne kuivatamist (Autori erakogu)

Tulemuseks saadi kuivatatud istmepõhi, mis jäädvustati mõlemalt poolt. Mütseeli kasvu oli enim näha istmepõhja esimesel poolel, mis ei olnud lauaga kontaktis (vt foto 38). Pind, mis oli kasvamise ajal kontaktis lauaga, jäi hallitusest puhtam (istmepõhja teine pool) (vt foto 37).



Foto 38. Pärast kuivatamist (esimene pool)



Foto 37. Pärast kuivatamist (teine pool)

Plastkastides kasvanud materjal tõsteti koos kilekotiga tasapinnale, kus kile lõigati noaga lahti. Seejärel keerati materjal ümber ja asetati küpsetuspaberile. Materjal asetati pressi vahele. Esimesel pressimisel tuli marjalist välja vett – pressiti eelnevalt kuivatamata materjali. Pressi juurde asetati panged, mis täitusid kiirelt. Pressimiseks kasutati Eesti Maaülikooli puidutehnoloogia labori pressi Joos LAP 6 (Nahksepp 2022). Kuna materjal oli eelnevalt kuivatamata, siis esialgu pressiti seda 3 tundi 90 °C juures ja hiljem tõsteti kuumust 150 kraadini - pressiti lisaks veel 20 minutit. Vastasel juhul oleks materjal võinud lõhki minna, tulenevalt materjali



Foto 39. Pressimata mükokomposiit

seesmistest pingetest. Pressimissurveks oli 55-58 kN (umbes 60 tonni). 44-45 mm paksune materjal (vt foto 39) pressiti 5 mm paksuseks mükokomposiitplaadiks (vt foto 40). Materjali mõõdud enne pressimist olid järgmised: laius 320 mm, pikkus 500 mm ja paksus 44-45 mm (vt foto 39). Materjali kuivatamise ja pressimisega aitas autorit Eesti Maaülikooli dotsent Regino Kask.



Foto 40. Mütseelkomposiidi pressimine (Autori erakogu)

Kuivatamisele ja pressimisele järgnes plaatmaterjali mõõtu lõikamine. Selleks kasutati Kõrgema Kunstikooli Pallas skulptuuriosakonna Saxona laserlõikurit. Saadi kaks plaati mõõdus 320 x 470 mm ja lisaks lõigati ka välja väiksemad ruudukesed (materjalinäidised) (vt foto 41).



Foto 41. Plaadi laserlõikikus (Autori erakogu)

3.3.6 ANALÜÜS

Protsessi käigus saadi otsene kogemus seenmaterjali kasvatamisega ja tutvuti lähemalt materjaliga saades teada selle omadused. Mõistmaks seenmaterjalidega töötamise keerukust ja materjali iseärasusi, oli oluline läbida kogu kasvatamise protsess algusest lõpuni.

Seenmaterjali kasvatamisel raamil eksiti puhtuse nõuetega. Kõik võõrkehad, mis puutuvad seenmaterjaliga otseselt kokku, tuleks eelnevalt töödelda. Kui välja arvata, et raamile tekkis mittesoositud hallitus, siis konstruktsiooniliste omaduste poolt täidab lahendus püstitatud eesmärgi: karkass toestab seenmaterjali ja annab detailile jäikust. Kui võrrelda taolise variandi ja pressitud seenmaterjali tööstuslikku toodetavust, siis eelis on kindlasti viimasel neist. Pressitud mütseelkomposiidi tootmisel on kergem puhtust tagada, samuti käib materjali vormi panek kiiremini – sealhulgas ei ole vaja toota eraldi raami.

Pressitud mütseelkomposiidi plaadid täidavad püstitatud eesmärgi: neid saab kasutada puitlaastplaadi asendajana kas vertikaalse või horisontaalse pinnana. Kui tahta saada paremate konstruktsiooniliste omadustega plaati, siis tuleks pressimisel tagada vee äravoolavus ka materjali keskelt. Kuna seda ei tehtud, siis on katse tulemusena saadud plaadid keskelt nõrgemad kui äärtest. Üksikasjaliku arendustöö käigus on võimalik selgitada välja parim meetod seenmaterjali toomiseks – seda just vastavalt vajadustele. Tootearendus eeldaks kindlasti korduvaid katsetusi.

3.4 SEENMATERJALI RAKENDAMINE MÖÖBLI KONSTRUKTSIOONIS

Pakun välja mükokomposiidi kasutamiseks kaks võimalikku lahendust.

Esimene lahendus asendaks puitlaastplaat-materjale. Sarnaselt muudele plaatmaterjalide saab mütseelil põhinevat komposiitplaati kasutada kas horisontaalse või vertikaalse tasapinnana (vt foto 42). Horisontaalseks kasutuseks



Foto 42. Kontseptuaalne lahendus pressitud mükokomposiidi kasutamiseks mööblis (Autori erakogu)

võib olla laua, kapi või riuli pind. Vertikaalseks kasutuseks võib olla näiteks kapi käänd-, hõlmik- või liuguks. Samuti sobib plaat ka kapi seinteks ja erinevateks paneelideks. Kui panna kokku mitu mükokomposiiti ja seda sõrestikuga tugevdada, saab luua kilbitaolise toote, mida kasutada suuremamõõtmeliste kandvate pindadena. Lisaks on võimalik mütseelkomposiiti pealtpoolt viimistlusvahenditega töödelda : soovitatav on kasutada looduslikke vahendeid nagu naturaalsed õlid ja šellak. Milliseid viimistlusvahendeid täpsemalt kasutada – seda oleks vaja tulevikus uurida.

Teise lahendusena pakun välja puidust detailide ümber seenmaterjali kasvatamise konstruktsioonilise tugevuse ja (teisaldatavate) mööblidetailide lisamiseks. Lisaks on võimalik karkassiga anda seenmaterjalile soovitud kuju. Kui kasutada selleks puitu või ka näiteks pappi, siis on võimalik toode eluea lõppedes hõlpsasti ümber töödelda, kasutades selleks biolagundavaid organisme nagu on seened.

Et seenmaterjalide kättesaadavus ja kasutatavus suureneks, võiks tekitada vajalikud tootmisliinid lisaharuna ettevõtete juurde, kes toodavad juba toiduks seeni. Nõnda saab kasutada sarnaselt söögiseente tootmiseks vajalikke ressursse. Sarnaselt toimib ettevõtte Ecovative, kelle tütarettevõtte toodab toiduks minevat seenmaterjali - samal ajal toodetakse seenmaterjalidest pakkematerjale. Niimoodi on võimalik üles ehitada terve struktuur, mille alustalaks on seened ja nende niidistik.

Nii nagu juba paljud seenmaterjale tootvad ettevõtted müüvad oma kodulehe kaudu komplekte seenmaterjalidega kodus katsetamiseks, saaks pakkuda igas riigis teenust, kus kliendile saadetakse kõik vajalik soovitud toote kodus kasvatamiseks.



*Foto 43. Mütseeliga segatud substraat
(Osmose Studio)*

Näiteks on võimalik osta 1-2 kg kott mütseeliga segatud substraati Suurbritanna ettevõtte Osmose Studio kodulehe kaudu (vt foto 43). Kui valida saab, kas tellida

materjal välismaalt või kasutada kohalikku toorainet, siis neist viimane keskkonnale parem variant. Sellepärast on oluline kasutada just kohalikku toorainet. Samuti võiks kasutada kohalikke seenekultuure.

KOKKUVÕTE

Lõputöö tutvustab seenemütseelil põhinevat komposiitmaterjali ja selle rakendamisvõimalusi mööbli konstruktsioonis. Töö annab ülevaate seeneniidistikul põhinevast komposiidist – selle koostisest, omadustest ja kasvatamistingimustest, kirjeldab näidete põhjal materjali varasemat kasutust ning pakub välja lahenduse komposiidi kasutamiseks mööblidisainis. Pakutud lahendus lähtub ringdisaini põhimõtetest ning taotleb olla tööstuslikult toodetav.

Töö annab ülevaate seenmaterjali kasvatamise protsessist, selleks vajalikest tingimustest ning on ka mingil määral tööriist ja juhend disainerile, kes soovib seenmaterjali oma toodetes kasutada, aga ei ole veel selle kasvatamisega tuttav.

Autor analüüsib seenmaterjali rakendamisvõimalust mööblidisainis, jagab probleemi lahendamise ja materjali kasvatamise protsessi ning pakub välja võimalusi seenmaterjali kasutamiseks mööbli konstruktsioonis: seda nii vertikaalsete kui ka horisontaalsete pindade puhul.

SUMMARY

Advances in biotechnology and design tools have encouraged the use of natural mechanisms to create new materials. The fibrous network of fungal spores can be used to create sustainable alternatives to synthetic foams.

Syntethic materials are based on non-renewable natural resources and resins that are harmful to both human and environmental health. Research on the use of fungal resin, mycelium will provide information and input delivering cleaner architecture and design products with a sustainable life cycle.

The linear economic model work on the idea: take, produce, consume and dispose. It has long been recognised that such attitudes are neither sustainable nor wise use of natural resources, and are not sustainable in the long term - the mentality of how, what and how much we consume needs to change so that we can continue to enjoy what nature has given us. To do this, we need to take steps towards a circular economy, which requires opting for new sustainable solutions, redesigning materials and their polluting production lines.

Mycelium-based material can be used in packaging, furniture, interior furnishings and building materials, as well as a substitute for animal leather. Mushroom materials can be evaluated and compared through substrate composition, manufacturing methods and material properties revealed by water absorption and compressive strength tests. The final properties of the material are closely related to the mould properties of the substrate and the incubation conditions (Attias *et al.* 2020).

Compared to materials of the last century, the ongoing study of mycelium-based materials is still in its infancy - detailed studies on the composition of the material, incubation conditions and manufacturing methods will only improve the availability of information for its production and pave a way for a wider use of biomaterials.

The paper gives an overview of mycelium-based material: its composition, material properties and growing conditions. It describes examples of previous uses, and suggests optimal ways of using mycelium-based materials in furniture design.

The work can also act as a tool and guide for designers who wish to use fungal material in their products but are not yet familiar with its cultivation – to help other designers create mycelium-based solutions.

ALLIKAD

Alberti, Kaleem S., Weaver J.A. (2020). Recent developments of tools for genome and metabolome studies in basidiomycete fungi and their application to natural product research. [WWW] <https://journals.biologists.com/bio/article/9/12/bio056010/225335/Recent-developments-of-tools-for-genome-and> (20.05.2023)

Amazon. (2023). [WWW] <https://m.media-amazon.com/images/I/81Xb2AQUXIL.jpg> (20.05.2023)

Angus, S.W. (2016). Surface and Panel. It's All About the Fungi. [WWW] <https://surfaceandpanel.com/features/its-all-about-the-fungi/> (20.05.2023)

Appels, F. V. W. (2020). The use of fungal mycelium for the production of bio-based materials (University of Utrecht). [WWW] <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/390884/5e1c62cd1b0f1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Appels, F. V. W., & Wösten, H. A. B. (2021). Mycelium Materials. In Encyclopedia of Mycology [WWW] <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809633-8.21131-x> (20.05.2023)

Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijghsheld, P., Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. – Materials and Design. Vol. 161.

Appels, F. V. W., Dijksterhuis, J., Lukasiewicz, C. E., Jansen, K. M. B., Wösten, H. A. B., Krijghsheld, P. (2018). Hydrophobin gene deletion and environmental growth conditions impact mechanical properties of mycelium by affecting the density of the material. – Scientific Reports. Vol. 8, 4703.

Arensburger, D. (2005). Komposiitmaterjalid. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus.

Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. Journal of Cleaner Production, 246, 119037. [WWW] <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119037>

Brown, T., (2018). The Circular Design Guide. Ellen MacArthur Found. [WWW] <https://www.circulardesignguide.com/> (20.05.2023)

Catchpole, Glenn. (2017). Pare Chair – A Zero Waste Chair [WWW] <https://www.behance.net/gallery/57505059/Pare-Chair-A-Zero-Waste-Chair> (20.05.2023)

Chan, C.K., Shin, J., Jiang, S.X.K. (2018). Development of Tailor-Shaped Bacterial Cellulose Textile Cultivation Techniques for Zero-Waste Design. Clothing and Textiles Research Journal 36

Charter, Martin. (2018). Designing for the Circular Economy. Routledge, 2019.

Dezeen. (2013). Mycelium Chair by Eric Klarenbeek is 3D-printed with living fungus. [WWW] <https://www.dezeen.com/2013/10/20/mycelium-chair-by-eric-klarenbeek-is-3d-printed-with-living-fungus/> (20.05.2023)

EKSS. Eesti keele seletav sõnaraamat. (2009). [WWW] <https://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=s%C3%BCmbioos&F=M> (20.05.2023)

EUR-Lex. (2008). Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr 1272/2008, 16. detsember [WWW] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A32008R1272> (20.05.2023)

Ecovative. (2022) MycoComposite™ [WWW] <https://www.ecovative.com/> (20.05.2023)

Ecovative. MycoComposite™. [WWW] <https://www.ecovative.com/pages/mycocomposite> (20.05.2023)

Eesti Disainerite Liit. BRUNO laureaadid 2022 [WWW] <https://www.edl.ee/bruno-tingimused> (12.05.2023)

Eesti Entsüklopeedia. Seened [WWW] <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/seened1> (20.05.2023)

Eesti Plastitööstuse Liit. (2022). Eesti teadlased hakkavad puidust plastmassi tootma. [WWW] <https://www.plast.ee/eesti-teadlased-hakkavad-puidust-plastmassi-tootma/> (12.05.2023)

Ehrlich L. 2014. Seenesügisese dilemma – söödav või mitte. Sirp, 12.09.2014.

Elsacker, E., Søndergaard, A., Van Wylick, A., Peeters, E., & De Laet, L. (2021). Growing living and multifunctional mycelium composites for large-scale formwork applications using robotic abrasive wire-cutting. Construction and Building Materials, 283, 122732. [WWW] <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122732>

Elsacker, E., Vandeloos, S., Brancart, J., Peeters, E., Laet L. De. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. – PLoS ONE 14(7).

Forager by Ecovative. [WWW] <https://forager.bio/pages/about> (02.05.2023)

Grimm, D., Wösten, H.A.B., 2018. Mushroom cultivation in the circular economy. *Appl Microbiol Biotechnol* 102, 7795-7803.

Grimm, D., Wösten, H.A.B., 2018. Mushroom cultivation in the circular economy. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>

Grow.bio. (2016). Ecovative Launches New Line of Biofabricated Furniture for the Home Fully Grown From Mushroom® Materials. [WWW] <https://grow.bio/blogs/press-releases/ecovative-launches-new-line-of-biofabricated-furniture-for-the-home-fully-grown-from-mushroom-materials> (02.03.2023)

Hammon, Dawn. Dornob. IKEA Commits to Biodegradable Mushroom Packaging. [WWW] <https://dornob.com/ikea-commits-to-biodegradable-mushroom-packaging/> (02.03.2023)

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., & Heredia-, J. A. (2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium : Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Nature Publishing Group*, (December 2016), 1–11. [WWW] <https://doi.org/10.1038/srep41292>

Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., & Chan, W. K. (2016). Cost modeling and optimization of a manufacturing system for mycelium-based biocomposite parts. *Journal of Manufacturing Systems*, 41, 8–20. [WWW] <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.07.004>

Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R., Tudryn, G., 2017. Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms. *Manuf. Syst.*

Jones, M., Bhat, T., Huynh, T., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H., & John, S. (2018). Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety. *Fire and Materials*, 42(7), 816–825. [WWW] <https://doi.org/10.1002/fam.2637>

Kennedy, B.K. (2001). Penn State Eberly College of Science. First Land Plants and Fungi Changed Earth's Climate, Paving the Way for Explosive Evolution of Land Animals, New Gene Study Suggests. [WWW] <https://science.psu.edu/news/first-land-plants-and-fungi-changed-earths-climate-paving-way-explosive-evolution-land-animals#:~:text=The%20researchers%20found%20that%20land,earliest%20fossil s%20of%20those%20organisms> (02.03.2023)

Kineco. (2023) [WWW] <https://kineco.bio/> (02.03.2023)

Kukk, Imre. Abiks seenekasvatajale. Eesti Aiandusliit, 2004.

Kumm, T., (2020). Rakendusüuring: linoleumi kasutusvõimalused interjööris. Kõrgem Kunstikool Pallas. Tartu

Lelivelt, R. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials — Eindhoven University of Technology research portal. [WWW] <https://research.tue.nl/en/studentTheses/the-mechanical-possibilities-of-myceliummaterials>

Lelivelt, R. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials — Eindhoven University of Technology research portal. <https://research.tue.nl/en/studentTheses/the-mechanical-possibilities-of-myceliummaterials>

Lelivelt, R. (2015). The mechanical possibilities of mycelium materials. Eindhoven

Lelivelt, R. J. J. The mechanical possibilities of mycelium materials. 2015. [WWW] <https://research.tue.nl/en/studentTheses/the-mechanical-possibilities-of-mycelium-materials> (20.12.2022)

Li, M., Y. Li , J. Song, Dr. H. Yang. (2021) Beijing Institute of Fashion Technology. China [WWW] <https://www.red-dot.org/project/mycelium-design-54364> (20.05.2023)

Libre Texts Biology. Human Uses of Fungi. [WWW] [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_Introductory_Biology_\(CK-12\)/08%3A_Protists_and_Fungi/8.15%3A_Human_Uses_of_Fungi#:~:text=Humans%20use%20fungi%20for%20many,research%20organisms%20a%20s%20well%20](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_Introductory_Biology_(CK-12)/08%3A_Protists_and_Fungi/8.15%3A_Human_Uses_of_Fungi#:~:text=Humans%20use%20fungi%20for%20many,research%20organisms%20a%20s%20well%20) (20.05.2023)

Material District. Myco Board. [WWW] <https://materialdistrict.com/material/myco-board/> (02.05.2023)

Medium. (2018). We Don't Have Time. IKEA Starts Using Biodegradable Mushroom-Based Packaging for Its Products. [WWW] <https://medium.com/wedonthavetime/ikea-starts-using-biodegradable-mushroom-based-packaging-for-its-products-42d079f98bb1> (20.05.2023)

Metsamägi, M. (2014). Materjaliefektiivsus puitmööblitööstuses ettevõtte xyz näitel. Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž. Tartu. [Magistritöö]

Moora, H., M. Vihma. (2019) Ringdisaini audit. Eesti Disainikeskus, 2019. [WWW] https://media.voog.com/0000/0038/1850/files/ringdisain_web.pdf

Moore, David. Geoff Robson, Tony Trinci. 21st century guidebook to fungi. Cambridge University Press, Cambridge 2011

Mycelia. (2023). [WWW] <https://mycelia.be/> (20.05.2023)

Mycelium Materials. MYFOAM (2023) [WWW] <https://www.myceliummaterials.nl/> (20.05.2023)

Nahksepp, R. (2022). Kuumpressitud mükokomposiitide mehhaaniliste omaduste uurimine. Eesti Maaülikool. Tartu. [Magistritöö].

Niemelä, T. (2008). Torikseened Soomes ja Eestis. (K. Jürgens, & I. Sell, Tõlk.) Helsinki: Finnish Museum of Natural History. (lk 9, 13, 17, 105, 111, 218, 268)

Opiq. Seente mitmekesisus. Peatükk 2.2 (Loodusõpetus 8. kl, 2. osa) [WWW] <https://www.opiq.ee/kit/309/chapter/17248> (20.05.2023)

Osmose Studio. (2022). Mycelium Myco-Materials Kit (Ready-to-grow) [WWW] <https://www.osmosestudio.co.uk/product/ready-to-grow-mycelium-materials-kit> (02.05.2023)

Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Bayer, E., McIntyre, G. (2013). An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates. – Industrial Crops and Products. Vol. 51.

Prous, Marko. Eesti Loodus. Päristuumsete elupuu [WWW] http://vana.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel2706_2686.html (20.05.2023)

Põllumajandusuuringute Keskus. Austerserviku kasvatamine pakkudel [WWW] <https://pmk.agri.ee/et/austerserviku-kasvatamine> (20.05.2023)

Ross, P., 2016. Method for producing fungus structures. US9410116B2

Saar, I. 2015. Seente asend elupuul ja süstemaatika 1. Eesti Loodus 66 (3), 20–24.

Saarman, E., Veibri, U. (2006). Puiduteadus. Tartu: Eesti Metsaselts. 560 lk.

Sheldrake, Merlin. (2020). Entangled Life: How Fungi Make Our Worlds, Change Our Minds & Shape Our Futures. Random House.

Sheldrake, Merlin. (2020) Läbipõimunud elu: Kuidas seened loovad meie maailma, muudavad meie teadvust ja kujundavad meie tulevikku. TLÜ Kirjastus

Smith, R.S.H., Bader, C., Sharma, S., Kolb, D., Tang, T., Hsion, A., Moser, F., Weaver, J.C., Voigt, C.A., Oxman, N., 2020. Hybrid Living Materials: Digital Design and Fabrication of 3D Multimaterial Structures with Programmable Biohybrid Surfaces. Adv. Funct. Mater. 30, 1907401.

Stamets, Paul. (2005). Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World. Ten Speed Press

Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321–1337. [WWW] <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>

Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321–1337. [WWW] <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>

Talbot, Nicholas J. Fungal biology: Growing into the air, *Current Biology*, Volume 7, Issue 2, 1997, Pages R78-R81, ISSN 0960-9822: [WWW] [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(06\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(06)00041-8) (20.12.2022)

Tampere, L. (2022). Mükokomposiitmaterjali kasvatamine ja võrdlemine vahtpolüstüreeni omadustega. Tallina Tehnikaülikool. Tallinn. [Magistritöö].

Tokko, Urmas. Eesti Bioloogiaõpetajate Ühing. Seeneriik. [WWW] <https://ebu.ee/tokko/05.php> (20.05.2023)

Travaglini, S., Noble, J., Ross, P.G., Dharan, C. K. H. (2013). Mycology Matrix composites. – 28th Annual Technical Conference of the American Society for Composites, State College, PA, USA

University of Technology research portal. [WWW] <https://research.tue.nl/en/studentTheses/the-mechanical-possibilities-of-myceliummaterials> (20.05.2023)

Upstate Venture Connect. (2015). Eben Bayer of Ecovative: Biology at Work [WWW] <https://uvc.org/eben-bayer-of-ecovative-biology-at-work/> (20.05.2023)

Van Bael S. A. (2020). Fungal Diversity. Diversity. [WWW] <https://doi.org/10.3390/d12110437> (20.05.2023)

Vandelook, S. E. Elsacker, Van Wylick. Current state and future prospects of pure mycelium materials. 2021. [WWW] <https://doi.org/10.1186/s40694-021-00128-1> (20.12.2022)

Vanden Elsacker, E. (2021). Mycelium matters - an interdisciplinary exploration of the fabrication and properties of mycelium-based materials.

Wall, K., Walker, P., Gross, C., White, C., Mander, T. (2012). Development and testing of a prototype straw bale house. – *Construction Materials*. Vol. 165, pp 377-384.

Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G., Jones, P. (2018). Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials. – IOP Conference Series: Earth and Environment Science. Vol. 121, is. 2, 022032.

Yang, L., Park, D., & Qin, Z. (2021). Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review. *Frontiers in Materials*, 8 (September), 1–17. [WWW] <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>

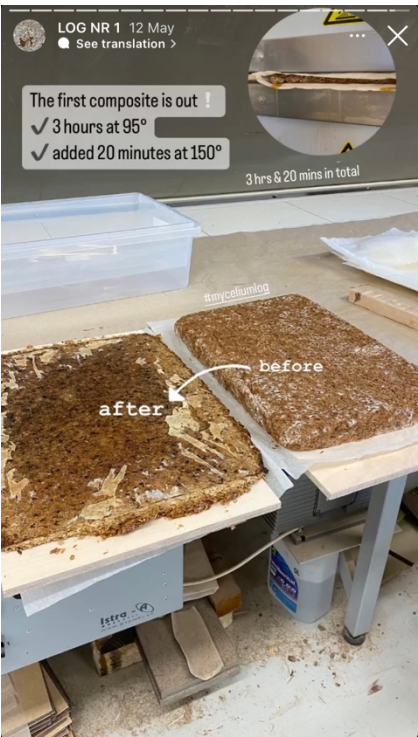
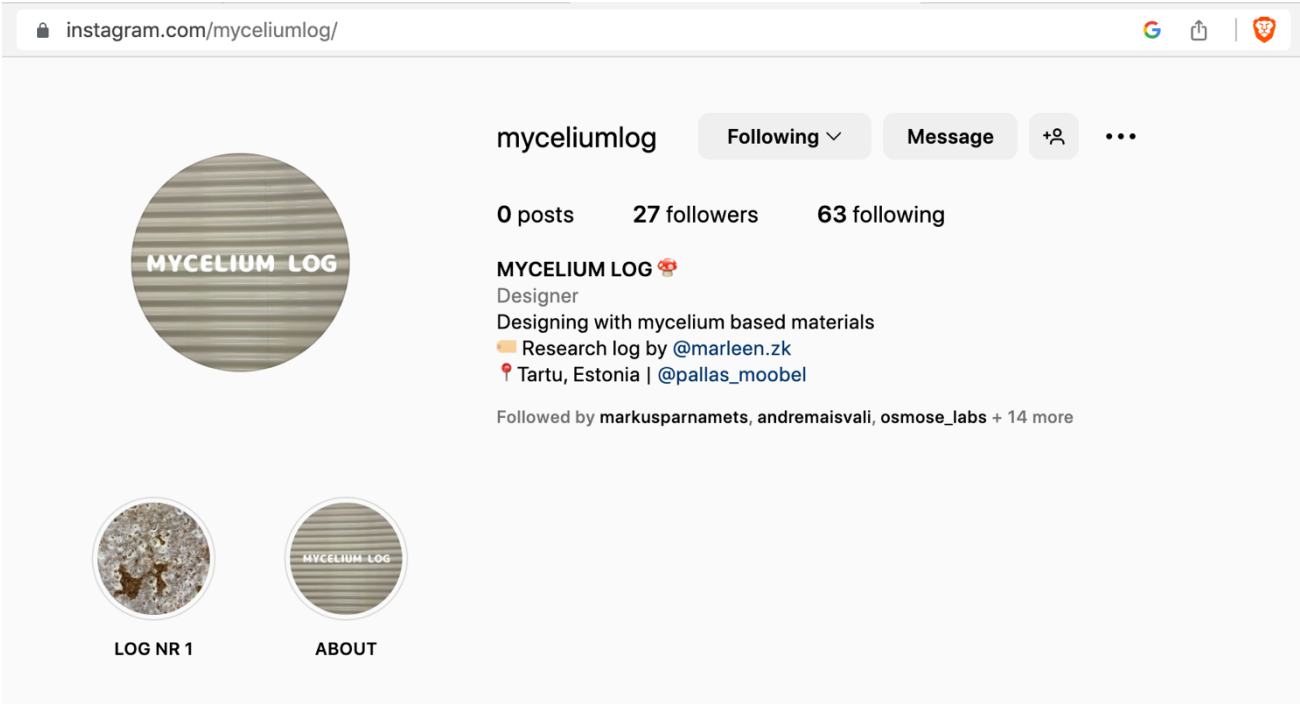
Yang, Z. (Joey), Zhang, F., Still, B., White, M., Amstislavski, P., 2017. Physical and Mechanical Properties of Fungal. Mycelium-Based Biofoam. *Journal of Materials in Civil Engineering* 29, 04017030.

van Boeijen, Annemiek. Jaap Daalhuizen, Jelle Zijlstra, Roos van der Schoor. Delft Design Guide : Design strategies and methods. BIS Publishers. Amsterdam 2013.

Šumigin, Dmitri. Puitlaastplaadid. Tallinna Tehnikaülikool [WWW] http://www.kk.ttu.ee/puit/Puitlaastplaatide_konspekt_final.pdf (20.05.2023)

LISAD

LISA 1. Kuvatõmmised (Instagram @myceliumlog)



LISA 2. Pressitud mükokomposiitplaat (esimene)



LISA 3. Pressitud mükokomposiitplaat (teine)



LISA 4. Seenmaterjal puidust raamil

