

Sienten kasvatusta- ja jalostusprosessin sivuvirtojen hyödyntäminen

Ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Biotalousratkaisut

Syyskuu 2024

Anu Tamminen

Koulutus	Biotalous ratkaisut	Tiivistelmä
Tekijä	Anu Tamminen	Vuosi 2024
Työn nimi	Sienten kasvatusta ja jalostusprosessin sivuvirtojen hyödyntäminen	
Ohjaaja	Tuija Pirttijärvi	

Sienissä piilee valtava potentiaali, jota emme ole vielä täysin osanneet hyödyntää. Sieniä on lähinnä totuttu käyttämään elintarvikkeena, mutta niitä voidaan hyödyntää myös monissa erilaisissa sovelluksissa kuten lääketeollisuudessa, terveys- ja hyvinvointivaikuttajina tai täysin uusien materiaalien valmistuksessa.

Tämä opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona biotekniikka alan yrityksessä, Kääpä Biotech Oy:llä, joka valmistaa ravintolisiä funktionaalisista sienistä. Funktionaaliset sienet ovat yksi nopeimmin kasvavista ja mielenkiintoisimmista toimialoista ravintolisäalalla. Opinnäytetyön tarkoituksena oli innovoida hyötykäyttömahdollisuuksia sienten kasvatuksessa ja ravintolisien valmistusprosessissa syntyville sivuvirroille sekä kartoittaa erilaisia kestäviä prosessimenetelmiä. Sivuvirrat ovat yritykselle arvokasta ja hyödynnettävissä olevaa ainesta, jota ei kannata heittää jätteeksi, vaan ennemmin hyödyntää takaisin ravinteiksi tai edelleen jatkojalostaa arvokomponenteiksi. Sienten kasvatusprosessissa jää vuosittain sivuvirtana yli noin 400 000 kg käytettyä sienialustaa sekä ravintolisien jalostusprosessissa uutettua sienibiomassaa noin 15 000 litraa. Yrityksen suurin sivutuote on siilirakkaan kasvatuksessa ylijäänyt sienialusta, jolla myös suoritettiin suurin osa opinnäytetyön käytännön kokeista. Kerran satoa tuottanut alusta voidaan hyötykäyttää sellaisenaan useammassakin eri käyttökohteessa, kuten maanparannuksessa, kompostikuivikkeena, puutarhakatteena, eläinten kuivikkeena tai sienipetinä. Sienipitoista sivuvirtajätettä jalostamalla, sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi mykoremediaatiossa, biovärjäyksessä tai biohiilenä. Biohiilellä on tutkitusti useita käyttökohteita, esimerkiksi veden puhdistuksessa ja maan parannuksessa. Edelleen jatkojalostamalla tuotteesta voidaan valmistaa bionahkaa, erilaisia biokomposiitteja tai sitä voi soveltaa erilaisissa korkean jalostusarvon sovelluksissa.

Uutettu etanolipitoinen sienibiomassa, joka jää jäännösfraktiona jalostusprosessissa, on sellaisenaan mahdollista kompostoida, hyödyntää maanparannuksessa tai käyttää fermentointiprosessin kasvualustana esimerkiksi uusien proteiininlähteiden tuotannossa. Sienibiomassa voi sisältää useita mielenkiintoisia yhdisteitä, jotka ovat vapautuneet jäännösfraktioon sienten jalostusprosessissa, kuten kitiini. Sienen soluseinän sisältämä kitiini ja sen hajoamistuote kitosaani voi puolestaan avata täysin uusia, potentiaalisia sovellusmahdollisuuksia kosmetiikka- ja lääketeollisuudessa tai biolannoitteena.

Opinnäytetyössä on ideoitu useita, erilaisia soveltamisratkaisuja jäännösfraktioiden hyödyntämiseen sekä esitetty oman asiantuntijuuden pohjalta kestäviä ehdotuksia sivuvirtojen hallintaan. Näitä biotalouden ratkaisuja voidaan hyödyntää nopeasti kasvavan yrityksen tueksi. Opinnäytetyön aihe jatkuu Business Finlandin rahoittamassa Fantastic Fungi tutkimusprojektissa, jossa on tarkoituksena analysoida tarkemmin sivuvirtojen koostumusta sekä tutkia jätevirtojen hyödyntämistä biojalostamoiden substraattina.

DP	Bioeconomy solutions	Abstract
Author	Anu Tamminen	Year 2024
Subject	Utilization of side streams from the mushroom cultivation and processing	
Supervisor	Tuija Pirttijärvi	

Mushrooms hold enormous potential that we have not yet fully harnessed. They are primarily used as food, but they can also be utilized in various applications such as the pharmaceutical industry, health and wellness influences, or the production of entirely new materials.

This thesis was conducted as a commissioned project for a biotechnology company, Kääpä Biotech Oy, which produces dietary supplements from functional mushrooms. Functional mushrooms are one of the fastest growing and most interesting sectors in the dietary supplement industry. The aim of this thesis was to innovate utilization opportunities for by-products generated during mushroom cultivation and the dietary supplement production process, as well as to explore various sustainable processing methods. By-products are valuable and usable materials for the company that should not be discarded as waste but rather repurposed as nutrients or further processed into valuable components. Annually, the mushroom cultivation process yields over 400,000 kg of used substrate and approximately 15,000 liters of extracted mushroom biomass as by-products from the dietary supplement processing. The company's largest by-product is the leftover substrate from the cultivation of the Lion's mane, which was also used for the practical experiments of this thesis. Once the substrate has produced a harvest, it can be utilized in several different applications, such as soil enrichment, as a composting material, in green construction, as bedding for animals, active litter or as mushroom beds. By upgrading the by-product, it can be utilized in mycoremediation, biodyeing, or as biochar. Biochar has been shown to have several applications, including water purification and as soil improver. Further processing can lead to the production of bioleather, various biocomposites, or applications with high added value.

The extracted ethanol-rich mushroom biomass that remains as a residue fraction during the processing can be composted, used for soil improvement, or as a growth medium in fermentation processes to produce new protein sources. Biomass may contain several interesting compounds that have been released into the residue fraction during the processing. Among these, the most interested subject for further research is chitin. Chitin contained in the fungal cell wall and its degradation product chitosan may open entirely new, potential opportunities in the cosmetics industry, as biofertilizers, or in various medical applications.

The thesis proposes several different solutions for utilizing residue fractions and presents sustainable suggestions for managing by-products based on the author's expertise. These bioeconomy solutions will be utilized to support a rapidly growing company. The thesis serves as a foundation for the Fantastic Fungi research project, funded by Business Finland, which aims to analyze the composition of by-products more closely and investigate the utilization of waste streams as substrates for biorefineries.

Keywords	sustainable development, process development, utilization of by-products, functional mushrooms
Pages	69 pages

Tämän opinnäytetyön keskeiset käsitteet

Biohiili	Biomassasta pyrolysoituja hiilipitoisia kiinteitä aineita, joiden hiilivarasto säilyy pitkäaikaisesti.
Biomassa	Elollista alkuperää oleva aines, muodostuu jalostusprosessissa, josta voidaan erottaa arvokomponentteja erilleen.
Bioreaktori	Mikrobien hyödyntämiseen käytettävä käymisastia, joka ylläpitää biologisen prosessin olosuhteita.
Dekantointi	Kemiallinen työmenetelmä, jonka avulla erotetaan niukkaliukoinen aines nestemäisestä aineksesta.
Fermentointi	Mikrobien kasvatus suljetussa astiassa, bioreaktorissa, hallituissa olosuhteissa.
Funktionaalinen sieni	Terveysteen- ja hyvinvointiin käytetty sieni, niistä saadut yhdisteet, jossa funktionaalisuus linkittyy sienten tuottamiin yhdisteisiin.
Kuivike	Kierrätyskelpoinen pohja-aines kotieläimille, joka sitoo kosteutta ja hajuja, toimien samalla tukiaineena.
Käytetty sienialusta	Kerran satoa tuottanut sienialusta, joka koostuu sienirihmastosta ja osittain käytetystä koivupurusta/vehnästä. Työssä kokeellinen osuus suoritettiin pääosin käytetyllä siiliorakas alustalla.
Mykoremediaatio	Sienten käyttö ympäristöhoidossa tai saastuneiden maa-alueiden puhdistuksessa.
Myseeli	Sienen ja kasvin juurten välinen symbioottinen yhteys, joka parantaa ravinteiden ja veden imeytymistä.
Sivuvirta	Pääasiallisen tuotteen valmistusprosessissa syntyvä sivuaine.
Solid state kasvatus	Sienten kasvatus kiinteällä alustalla.
Steriili alusta	Mikrobeista ja itiöistä puhdistettu alusta.
Substraatti	Kasvatus-/viljelyalusta, jolla sieni kasvaa ja saa siitä ravintonsa. (https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/substraatti)
Tinktuura	Sienibiomassasta alkoholiuutettu nestefaasi.
Ympäpi	Elävä kasvusto, joka lisääntyy sopivassa, uudessa ympäristössä

SISÄLLYS

1 Johdanto	1
2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset	2
3 Menetelmät.....	4
4 Sienten hyötykäyttö	5
4.1 Terveys- ja lääkevaikutus	6
4.1.1 Siiliorakas (<i>Hericium erinaceus</i>), lääkenimi Lion´s mane	7
4.1.2 Siitake (<i>Lentinula edodes</i>), lääkenimi Shiitake	8
4.1.3 Punaloisikka (<i>Cordiceps militaris</i>), lääkenimi Cordiceps	9
4.2 Elintarviketeollisuus.....	10
4.3 Kosmetiikkateollisuus.....	11
4.4 Tekstiiliteollisuus.....	12
4.5 Mykoremediaatio.....	13
4.6 Maanparannus	13
4.7 Muu hyötykäyttö.....	14
5 Funktionaalisten sienten jalostusprosessi.....	15
5.1 Sienten kasvatusta.....	16
5.1.1 Sienialusta.....	16
5.2 Sienten keräys, pilkkominen, kuivaus, jauhatus ja uutto	19
5.3 Suodatus ja dekantointi tinktuurien valmistuksessa.....	20
5.4 Sivuvirrat.....	21
6 Prosessikehitys sivuvirtojen pienentämiseksi.....	22
6.1 Sienisadon tehostaminen	23
6.1.1 Sienisadon tehostaminen solid state kasvatuksessa.....	23
6.1.2 Sienimyseelin nestekasvatusta bioreaktorissa	25
6.1.3 Sienikasvatuksen ulkoistaminen	25

6.2 Etanolin korvaaminen tinktuuran valmistuksessa	25
6.3 Suodatuksen tehostaminen ja dekantointi	26
7 Sivuvirtojen hyödyntämisehdotukset käytetylle siiliorakasalustalle.....	26
7.1 Sienialustan ominaisuudet	29
7.2 Poltto.....	31
7.3 Sienipeti kotitalouksille	31
7.4 Komposti- ja huussikuivike	32
7.5 Kotieläinten kuivike	34
7.5.1 Kuivikekoe laamoille	35
7.5.2 Kuivikekoe lehmillä	36
7.5.3 Kuivikekoe hevosille	37
7.5.4 Kuivikekoe tuhatjalkaisille, siiroille ja käärmeille.....	38
7.5.5 Kuivikekoe kääpiöhamstereille.....	40
7.5.6 Kuivike- ja virikekoe kanoille ja possuille.....	41
7.5.7 Yhteenveto kuivikekokeista.....	42
7.6 Puutarhakate ja maanparannus	45
7.7 Kasvatusalusta.....	46
7.8 Jatkojalostus käytetylle sienialustalle	48
7.8.1 Biohiili.....	48
7.8.2 Bioremediaatio.....	49
7.8.3 Biokomposiitti	50
7.8.4 Nollakuidun käsittely	50
8 Sivuvirtojen hyödyntämisehdotukset uutetulle sienibiomassalle.....	51
8.1 Biovärjäys	51
8.2 Sieninahka	52
8.3 Sienestä eristetyt komponentit	52
8.3.1 Kitiini ja sen hajoamistuotteet	52
8.3.2 Sieniproteiini	53

8.4 Uudet materiaalit jatkojalostuksessa	54
9 Sienituotannon haasteet sivuvirtojen hyötykäytöstä	55
9.1 Muovin poistaminen/korvaaminen käytetystä sienialustasta	55
9.2 Tuotteen käyttövarmuus	55
9.3 Asenteelliset haasteet	56
10 Johtopäätökset	57
Jälkisanat	60
Lähteet	61

1 Johdanto

Ilman sieniä ei ole elämää. Yli 90 % kasveista elää symbioosissa maaperän sienirihmastojen kanssa ja niitä esiintyy maan kaikissa elinympäristöissä. Sienet ovat heterotrofeja, joiden sienirihmasto kasvaa pääsääntöisesti maan tai puukuoren alla. Sienen näkyvä osa eli itiöemä, tuottaa sienen itiöt. (Piippo & Salo, 2020, s. 13). Sienet ovat uusiutuva luonnonvara, jotka ovat erittäin tehokkaita selluloosan ja ligniinin hajottajia. (Timonen & Valkonen 2018, s. 259). Suuri osa sienistä toimii lahottajina, joilla on luontainen kyky hajottaa kariketta, puuta, olkea ja kasvijätettä. Sienet kykenevät muuttamaan saadut sokerit aineenvaihdunnassaan myös ihmiselle hyödyllisiksi tuotteiksi kuten antibiooteiksi. Sienten erinomaisia hajotusominaisuuksia hyödynnetäänkin bioteknisin keinoin yhä uusin tavoin, esimerkiksi teollisuuden biopolttoaineina, maanpuhdistuksessa, biomuovin valmistuksessa ja puunjalostusteollisuudessa (Halmetoja, 2014. s.11). Sieniä on myös käytetty kautta aikain lääke- ja hyvinvointituotteina. Ihmistä sienten terveysvaikutukset kiinnostavat yhä enemmän, sillä ne sisältävät runsaasti erilaisia bioaktiivisia aineita, kuten antioksidantteja ja kolesterolia alentavaa β -glukanaa. Sienten terveysvaikutuksiin liittyvä tutkimus tulee pääasiassa Aasiasta, jossa sieniä on käytetty jo tuhansia vuosia lääkeaineina. (Halmetoja, 2014.) Sienet sisältävät lisäksi paljon kuituja, proteiineja (2–5 %), vitamiineja (A, B ja D), kivennäisaineita ja hivenaineita.

Kääpä Biotech Oy on ihmisten hyvinvointiin keskittynyt kotimainen bioteknologinen yritys, joka on erikoistunut sienitieteellisten sovellusten tutkimukseen, kehittämiseen ja kaupallistamiseen. Kääpä Biotech Oy on voimakkaasti kasvava, yksi länsimaiden suurimmista funktionaalisten sienten tuottajista. Yritys valmistaa ravintolisiä, uutteita, jauheita ja hyvinvointituotteita kasvatetuista sienistä. Yrityksen toiminta perustuu luomusertifikaatin (Luomusertifikaatti, 2018/848 35§) sekä elintarviketurvallisuussertifikaatin (Elintarviketurvallisuussertifikaatti, FSSC22000) vaatimuksiin, jotka ohjaavat yrityksen toimintaa (Kääpä Biotech Oy, Susanna Kääriäinen, tuotantopäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto 23.4.2024). Ravintolisien valmistuksessa sovelletaan yleisesti elintarvikkeita koskevaa lainsäädäntöä.

Funktionaaliset sienet ovat yksi ravintolisäalan kiinnostavimmista toimialoista tällä hetkellä. Yritystoiminnan laajentuessa voimakkaasti, myös sivuvirtojen määrä kasvaa. Kestävällä prosessikehityksellä ja -suunnittelulla voidaan hallita jäännösfraktioiden syntyä ja sivuvirtojen

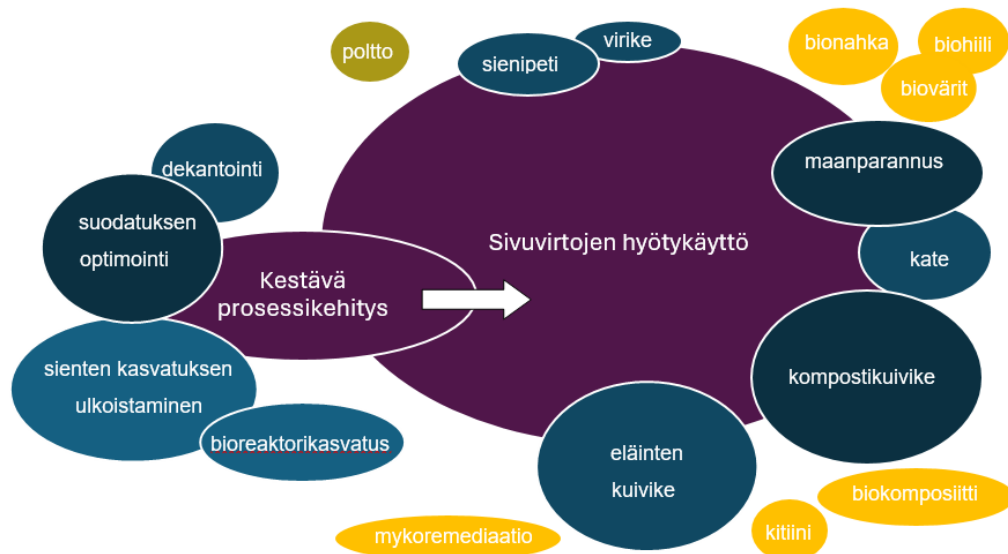
tehokasta talteenottoa. Sivuvirtojen tehokkaalle hyödyntämiselle koetaankin nyt suurta tarvetta. Käytettyä sienialustaa muodostuu Kääpä Biotech:llä noin 400 000 kg vuodessa sienten viljelyn yhteydessä. Jalostustoiminnan sivutuotteena jää yli uutettua sienibiomassaa noin 15 000 litraa vuosittain. Näitä sivuvirtoja ei hyödynnetä, vaan ne menevät jätteeksi. Suomessa teollisuuden ja yritystoiminnan sivuvirrat sisältävät merkittävää potentiaalia, mitä ei vielä täysin osata hyödyntää. Vuonna 2022 yhdyskuntien orgaanisen sivuvirtojen määrät olivat yhteensä 787 000 tonnia (Välinen, 2024). Pelkästään pääkaupungissa ja sen lähialueilla biopohjaisia sivuvirtoja syntyi yhteensä yli 460 000 tonnia vuodessa, joista suurin määrä muodostui puupohjaisista biomassoista. Seuraavaksi suurimmat virrat muodostivat jätevesiliitteet, metsäsivuvirrat sekä kotieläinten lanta (Inkinen, 2020). Sivuvirtojen hyödyntämiselle koetaankin suurta tarvetta.

2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena oli etsiä kestäviä ratkaisuja sivuvirtojen määrän vähentämiseen sekä innovoida erilaisia sivuvirtojen hyötykäyttömahdollisuuksia, tuottaen samalla lisäarvoa kasvavan yrityksen tarpeisiin. Kuvassa 1 on esitetty kaaviona opinnäytetyön arvovirtailmiöt. Yrityksellä on sivuvirtojen hyötykäytölle suuri tarve, sillä tällä hetkellä muodostuvia sivuvirtoja ei hyödynnetä lainkaan. Sivuvirrat sisältävät useita, arvokkaita ainesosia, joiden monipuolinen hyödyntäminen tukee kestäväää kiertotaloutta.

Työssä on esitetty useita innovatiivisia ratkaisuehdotuksia käytetyille sienialustoille sekä jatkojalostusideoita prosessissa muodostuvalle sienibiomassalle. Sivuvirtojen tehokkaalla uusiokäytöllä säästetään neitseellisiä raaka-aineita, vähennetään jätteen määrää sekä luodaan mahdollisia uusia tulovirtoja yritykselle. Bioteknisin keinoin jäännösfraktioista on mahdollista jatkojalostaa entistä arvokkaampia jakeita sekä täysin uusia materiaaleja hyödynnettäväksi. Opinnäytetyön lähtökohdat ovat terveysvaikutteisissa sienissä, siksi työ keskittyy pääsääntöisesti sieniin, joita käytetään terveys- ja hyvinvointituotteiden valmistuksessa. Lääkesienet on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

Kuva 1. Opinnäytetyön arvovirtajärjestys ja keskeisimmät ilmiöt. Ympyrän koko, väri ja etäisyys ovat suhteutettuna työn merkittävyyteen.



Kiertotaloudella ja sivuvirtojen hyötykäytöllä on monia positiivisia ympäristövaikutuksia. Suomi tavoittelee kiertotaloudesta perustaa koko taloudelle vuoteen 2035 mennessä (Kiertotalous Suomi, 2023). Kestävän kehityksen teema on vahvasti esillä läpi työn. Sivuvirtojen hyötykäyttö liittyy vahvasti ekologisesti kestävän kehityksen teemaan sekä kiertotalouden edistämiseen. Kestävä prosessikehitys puolestaan vaikuttaa suoraan taloudelliseen kannattavuuteen.

Seuraavat tutkimuskysymykset on asetettu ohjaamaan työtä ja vastaamaan tavoitteeseen.

- 1) Millä kestävin keinoin sivuvirtojen määrää voidaan vähentää jalostusprosessissa?
- 2) Miten funktionaalisten sienten käytettyä kasvatusalustaa voidaan hyötykäyttää?
- 3) Mitä uusia innovaatioita ja jatkojalostusmahdollisuuksia löytyy uutetulle sienibiomassalle?

3 Menetelmät

Opinnäytetyö on toimintaa kehittävä toimintatutkimus. Toimintatutkimuksen periaatteisiin kuuluu löytää ratkaisuja organisaatioiden ja käytännön konkreettisiin ongelmiin, kyseenalaistaa olemassa olevan käytännön haasteet sekä tunnistaa työn eteneminen. Työssä tuotettiin tietoa, joka yhdistettiin eri lähteistä, kuten kirjallisuudesta, selvityksistä sekä yhteistyöpartnereiden haastatteluista ja yritysvierailuista. Pohdinnassa tuodaan esille myös näkemyksiä sivuvirtojen hyödyntämistavoista sekä ideoitiin useita uusia hyötykäyttö kohteita. Kestävän prosessikehityksen parannusehdotuksissa on myös hyödynnetty tekijän asiantuntijuutta ja kokemusta biotekniikan alalta. Sivutuotteiden hyödyntämisessä on innovoitu useita erilaisia soveltamisratkaisuja, jotka on testattu käytännön kokein. Sivuvirtojen jatkojalostus on toteutettu pääosin kirjallisuusselvityksenä. Ehdotukset käyttökelpoisuuden toteuttamisesta jäivät täten yrityksen arvioitavaksi. Taulukossa 1 on vertailtu opinnäytetyön eri menetelmiä.

Sivuvirtojen hyödyntämisen käytännön kokeet suoritettiin opinnäytetyössä pääsääntöisesti käytetylle siiliorakas alustalle, joita muodostuu sivuvirtana tällä hetkellä eniten. Punaloisikan viljely on yrityksessä huomattavasti pienimuotoisempaa, sillä sen myynti on rajattu ainoastaan EU alueen ulkopuolelle. Myös punaloisikan kasvatus ja substraatti poikkeavat huomattavasti siiliorakkaan viljelystä. Käytetyn sienialustan lisäksi jäännösfraktiota syntyy suodatuksen yhteydessä. Uutetun sienibiomassan hyötykäyttö sekä sen jatkojalostus on työssä esitetty pääosin erilaisin innovointiehdotuksiin ja soveltamisideoihin.

Taulukko 1. Opinnäytetyön eri menetelmien vertailu.

Kestävä prosessikehitys sivuvirtojen pienentämiseksi	Käytetyn sienialustan hyötykäyttö	Uutetun sienibiomassan hyötykäyttö
	Sienten kasvatuksesta ylijäänyt alusta (siiliorakas)	Suodatuksesta ylijäänyt sienibiomassa (useampi sieni)
Prosessikehitysideat perustuivat havaintoihin sekä omaan kokemukseen ja asiantuntemukseen biotekniikan alalta. Ehdotetut ratkaisut ja käyttökelpoisuuden arviointi jäävät yrityksen arvioitavaksi.	Käytetyn siiliorakasalustan konkreettiset hyödyntämistestaukset suoritettiin mautiloilla, kasvihuoneessa tai puutarhassa. Ehdotetut toimenpiteet ja käyttökelpoisuuden arviointi jäävät yrityksen arvioitavaksi.	Uutetun etanolipitoisen sienibiomassan hyödyntämisehdotukset ja jatkojalostusideat perustuivat aiempiin tutkimustuloksiin ja kirjallisuusselvityksiin. Varsinaisia laboratoriokokeita ei sienibiomassalle tässä työssä tehty.
innovointi havainnointi keskustelut haastattelut selvitys kehittämISRatkaisuja	alustakokeilut eläintiloilla - laamat - hevoset - possut - lehmät - siirat - hiiret - hamsterit - käärmeet kasvatustestit puutarhalla kasvihuonekasvatukset käytännön kompostointikokeet haastattelut keskustelu	kirjallisuus innovointi kartoitus ideointi

4 Sienten hyötykäyttö

Sienet ovat tärkeä osa biotaloutta, sillä niistä löytyy valtava potentiaali eri teollisuuden hyötykäyttöön. Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi pakkausmateriaaleissa, lääketieteessä, tekstiileissä ja biopolttoaineissa. Lisäksi sienistä voi löytyä ratkaisu moniin ympäristöhaasteisiin, kuten maaperän puhdistukseen.

4.1 Terveys- ja lääkevaikutus

Sienet ovat tuhansien vuosien ajan joutuneet kilpailemaan poikkeuksellisen haastavissa olosuhteissa erilaisia mikrobeja vastaan. Tämän takia ne ovat luonnostaan erikoistuneet tuottamaan antibiootteja ja muita viruksia tuhoavia yhdisteitä. Ihminen on käyttänyt sieniä lääketieteellisiin tarkoituksiin jo vuosisatoja. Erityisesti Japanissa lääkesienten viljelyllä, tutkimisella ja käytöllä on pitkät perinteet. Näillä sienillä uskotaan olevan lievittäviä tai parantavia vaikutuksia erilaisiin sairauksiin. Lisäksi niiden uskotaan tukevan terveellistä ruokavaliota. Funktionaaliset sienet ovat yksi ravintolisäalan kiinnostavimmista toimialoista, ja kiinnostus niitä kohtaan on kaiken aikaa kasvussa. Tämänhetkisistä tunnetuista sienilajikkeista n. 400 lajia käytetään lääke-/funktionaalisina sieninä. (Korhonen, 2009; Halmetoja, 2014)

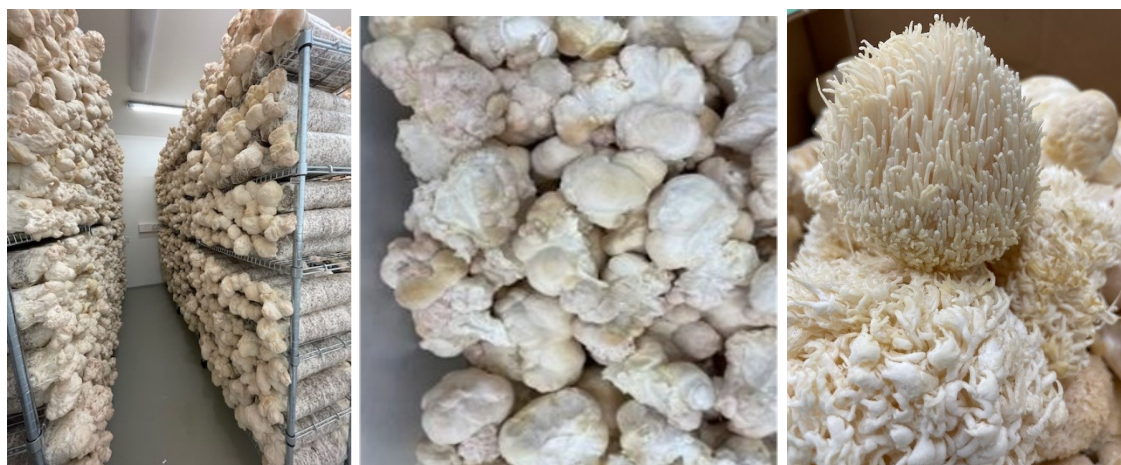
Myös Suomen metsissä kasvaa useita arvokkaita sieniä, joista farmakologisesti vaikuttavina lajeina pidetään lakkakääpää, siiliorakasta, silkivyyhkääpää, siitaketta, pakuria ja koppelokääpää (Halmetoja, 2014). Sieniä voidaan kasvattaa myös itse. Mykoritsasienten, kuten vahveroiden ja tattien viljely on huomattavasti haasteellisempaa ja hitaampaa kuin lahottajasienten, sillä ne elävät symbioosissa elävien puiden kanssa (Issakainen, 2019, s. 9). Useimmat funktionaaliset sienet ovat lahottajia, pääsääntöisesti kääpiä. Kääpä on sienen itiöemä, jonka rihmasto kasvaa loisena puun sisällä (Halmetoja, 2014). Funktionaalisten sienten kasvatusolosuhteita muutamalla voidaan vaikuttaa merkittävästi sienten sisältämiin bioaktiivisiin yhdisteisiin ja niiden tehoon. Suuri osa sienten terveysvaikutuksiin liittyvistä tutkimuksista keskittyy polysakkarideihin, jotka ovat monimutkaisia hiilihydraatteja. Terveydelle parhaimpina polysakkarideina pidetään sienten β -glukaaneja, joita löytyy kaikissa sienissä, sillä ne ovat sienten soluseinien rakennusmateriaaleja. Ne ovat rakenteellisesti hyvin samankaltaisia kauran ja rukiin terveysvaikutusten taustalla olevien yhdisteiden kanssa (Mäkelä, 2006). β -glukaanin uskotaan parantavan suoliston toimintaa, lisäävän energiatasoa, hapenottokykyä ja edesauttavan immuuniteettia ylläpitävän hyvän bakteerikannan lisääntymistä. (Halmetoja, 2014). Polysakkaridien lisäksi sienet sisältävät spermiidejä ja glykoproteiineja kuten terpenoidit, polyfenolit, alkaloidit, sterolit ja vitamiinit. (Halmetoja, 2014; Agarwal & Fulkoni, 2021). Bioaktiivisten ainesosien määrät voivat vaihdella huomattavasti eri sienten välillä. Niiden määrään vaikuttavat esimerkiksi sienilaji ja sienen ikä, kasvatusalusta, kasvatustekniikat, sienen kehitysvaihe, prosessimenetelmät ja varastointiolosuhteet (Valverde ym., 2014, s. 3).

Ravintolisät ovat elintarvikkeita, jotka poikkeavat ulkonäöltään ja käyttötavaltaan muista elintarvikkeista. Ne ovat usein tiivistetyssä muodossa ja niiden tarkoitus on täydentää normaalia ruokavaliota, ilman että niissä käytetyillä valmistusaineilla on lääketieteellisiä vaikutuksia. Ravintolisiä säädellään useiden eri säädösten avulla ja niillä on monia rajapintoja elintarvikkeiden, lääkkeiden ja terveydenhuollon kanssa. (Ruokavirasto, n.d.; Evira, 2016) Terveys- ja hyvinvointituotteiksi viljeltävistä sienistä tässä on esitetty tarkemmin siiliorakas, siitake sekä punaloisikka, jotka ovat tämän työn kannalta merkityksellisimmät.

4.1.1 Siiliorakas (*Hericium erinaceus*), lääkenimi Lion's mane

Siiliorakas (Lion's mane) on yksi Kääpä Biotech:n päätuotteista (Kuva 2). Se kasvaa luontaisesti Aasiassa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Syötävällä siiliorakkaalla on osoitettu olevat useita hyvinvointia edistäviä vaikutuksia. Puutuholaisenakin tunnetulla siiliorakkaalla on esitetty olevan tulehdusta lievittäviä, immuniteettia stimuloivia ja kasvaimia torjuvia sekä muistia ja keskittymistä parantavia vaikutuksia. Tutkimuksissa on havaittu siiliorakkaan mahdolliset hyödyt myös liikalihavuuden torjunnassa (Sung, 2012). Eräässä rotille tehtävässä tutkimuksessa esitettiin, että siiliorakasuute voi myös parantaa rasva-aineenvaihduntaa sekä alentaa triglyseridipitoisuuksia (Choi, 2013).

Kuva 2. Siiliorakkaan viljely Kääpä Biotechilla koivusubstraatilla.



Sheng, 2017, havaitsivat että siiliorakkaat sisältävät kahta erityistä yhdistettä, jotka saattavat stimuloida aivosolujen kasvua: herisenoneja (terpenoidit) ja erinasiineja. Herisenonit ovat luonnollisesti esiintyviä kemiallisia yhdisteitä, joita on löydetty monista eri kasveista ja sienistä. Siiliorakkaan on mainittu lisäksi nostavan immuniteettia lisäämällä suoliston

immuunijärjestelmän toimintaa, joka suojaa elimistöä suolen tai nenän kautta suolistoon pääseviltä taudinaiheuttajilta. Eräässä eläinkokeessa on raportoitu, että siiliorakasuutteen päivittäinen lisäys ruokavalioon lisäsi lähes nelinkertaisesti hiirten eliniän, joihin oli ruiskutettu tappava annos salmonellabakteereja (Sung, 2012). On myös esitetty, että siiliorakas saattaa auttaa suojaamaan Alzheimerin taudilta, rappeuttavalta aivosairaudelta, joka aiheuttaa etenevää muistinmenetystä. Eräät tutkimukset ovat osoittaneet, että siiliorakkaan sisältämällä yhdisteillä on havaittu olevan aivojen hermoston kehitystä tukevia sekä masennusta ja ahdistusta lievittäviä vaikutuksia (Sung, 2012; Zhang, 2016; Sheng, 2017).

4.1.2 Siitake (*Lentinula edodes*), lääkenimi Shiitake

Siitakesieni on kotoisin Itä-Aasiasta, jossa ne kasvavat luonnollisesti lahoavissa lehtipuissa. Siitake on syötävä sieni, jota on myös käytetty pitkään perinteisessä kiinalaisessa lääketieteessä. Siitake on myös oleellinen osa Japanin ja Korean lääketieteellisiä perinteitä. Siitakesienen on uskottu parantavan flunssaa ja vahvistavan vastustuskykyä jo vuosisatojen ajan. Kiinalaisessa lääketieteessä siitakkeen uskotaan luovan pitkäikäisyyttä, parantavan verenkiertoa sekä tukevan sydämen terveyttä.

Siitakesienet sisältävät polysakkarideja, terpenoideja, steroleja ja lipidejä, joista joillakin on mainittu olevan kolesterolia (Fukushima ym., 2001; Suzuki & Oshima, 1974) ja tulehdusta alentavia vaikutuksia (Korhonen, 2009). Eräässä tutkimuksessa siitakkeen vesiuutteen havaittiin jopa suojaavan polioviruksen lisääntymistä vastaan (Cochran, 1967). Chiharan (1993) puolestaan päätteli tutkimuksensa pohjalta, että siitakkeen polysakkaridi lentinan, muutti isännän vastustuskykyiseksi bakteerien, sienten ja virusten infektiolle. Siitakkeesta on eristetty useita aktiivisia aineita, kuten β -1,3-glukaaneja, kinoko platinum AHCC, lentinania, joita on tutkittu ja käytetty Aasiassa pääasiassa eri syöpätyyppien tukihoitona (Kim ym., 1999; Halmetoja, 2014; Zhen, 2024). Siitakkeista eristettäviä aineita voidaan käyttää myös lääkkeinä allergioihin ja viruksiin (Takehara ym., 1979).

Kuva 3. Siitakeen viljely Mikkolan Sienituotteella.



Siitake on maailman toiseksi eniten viljelty sieni herkkusienen jälkeen (Korhonen, 2009). Noin 83 % siitakesta kasvatetaan Japanissa, vaikka niitä tuotetaan myös Yhdysvalloissa, Kanadassa, Singaporessa ja Kiinassa. (Shiitake blogi, 2023). Kääpä Biotech:lle siitake (Kuva 3) kasvatetaan Mikkolan Sienituote MST Oy:llä, joka toimitetaan tuoreena ravintolisän valmistusprosessiin.

4.1.3 Punaloisikka (*Cordiceps militaris*), lääkenimi Cordiceps

Luonnossa punaloisikka on hyönteisparasiitti. Sienitartunnan saanut hyönteinen kaivautuu maaperään, jossa se lopulta kuolee sieni-infektioon. Punaloisikka on tunnettu lääkesienenä, jolla on useita biofunktionaalisia ominaisuuksia ja se sisältää useita biologisesti tärkeitä komponentteja, kuten polysakkarideja, ergosterolia, cordysepiiniä ja cordymiiniä (Liu ym., 2022). Punaloisikalla uskotaan olevan potentiaalia torjua diabetesta sekä edistävän pitkää ikää (Li & Chin, 2010). Sieni on osoittanut myös potentiaalin estää tulehdukseen liittyviä tapahtumia sekä in vivo että in vitro -kokeissa. Kuten muutkin funktionaaliset sienet, punaloisikka sisältää runsaasti β -glukaaneja, jotka tunnetaan immuunijärjestelmää vahvistavista ominaisuuksistaan. Lisäksi punaloisikan uskotaan tukevan maksan toimintaa ja hidastavan kasvaimien kasvua (Liu ym., 2022). Punaloisikka on yksi maailman kalleimmista lääkesienistä ja se on käytännössä kaikki viljeltyä. Se on toinen lääkinällisistä sienistä, mitä itse kasvatetaan Kääpä Biotech:llä (Kuva 4). Sienen viljely on hyvin herkkää ja sadon saaminen kestää useamman viikon.

Kuva 4. Punaloisikan viljely Kääpä Biotechilla vehnäsustraattilla.



Punaloisikka on luokiteltu ruokaviraston mukaan uuselintarvikkeeksi. Uuselintarvike, elintarvike tai ainesosa, jota ei ole merkittävästi käytetty ihmisravintona Euroopan Unionin alueella ennen 15.5.1997. (Ruokavirasto, n.d.). Uuselintarvikkeen markkinoille saattamiseen tarvitaan lupa, jota siiliorakkaalle ei ole haettu. Punaloisikan kasvattaminen on sallittua, mutta sen myynti ja markkinointi on sallittu ainoastaan Euroopan ulkopuolisiin maihin.

4.2 Elintarviketeollisuus

Sieniä on yleisesti totuttu käyttämään elintarvikkeena. Ravintoarvoltaan sienet muistuttavat eläinperäisiä tuotteita, kuten kalaa tai lihaa. Ne soveltuvat hyvin myös keliakoille, koska ne eivät sisällä gluteenia. Sienilajien välillä on kuitenkin suuria eroja ja lajierojen lisäksi myös kasvuolosuhteet vaikuttavat niiden ravitsemukselliseen sisältöön. Sienet ovat vähärasvaisia ja runsaskuituisia, ja sisältävät vain vähän energiaa. Tämänhetkisistä tunnetuista sienilajikkeista n. 700 lajiketta käytetään ruokasieninä. (Halmetoja, 2014). Tärkein viljelysieni on herkkusieni, muita ovat siitake, osterivinokas ja kuningasvinokas.

Energiasisällöltään sienet ovat kevyttä ravintoa, sillä suurin osa niiden painosta, 85–90 % on vettä. Tuoreiden sienten rasvapitoisuus on vain 0,5 %. Sienten rasvat koostuvat suurimmaksi osaksi monitydyttymättömistä rasvahapoista, muun muassa myristiini-, linoli-, öljy-, ja palmitiinihaposta. (Sankero & Siivari, 2007)

Sienten proteiinipitoisuus on 2–5 %, joka on noin 20–40 % kuivapainosta. Joidenkin sienilajien proteiinipitoisuus on suurempi sekä aminohappokoostumus monipuolisempi kuin monissa kasviksissa. Sienten valkuaiset sisältävät kahdeksaa ihmiselle välttämätöntä aminohappoa. Sienissä valkuaisaineita on yhtä paljon kuin maidossa tai herneissä. Hiilihydraattien osuus vaihtelee sienilajeittain 3–6 % tuorepainosta. Niissä on vaikeasti hajoavaa selluloosaa ja hemiselluloosaa. Sienissä on kuitua enemmän kuin esimerkiksi porkkanassa. Siitake sisältää kuitua noin 50 % kuivapainosta. Ravintokuitua sienissä on 15–28 %. Korkean proteiinipitoisuuden lisäksi sienet sisältävät paljon A, D2, B1, B2 sekä B3-vitamiinia. (Sankero & Siivari, 2007; Pihlanto & Mattila, 2019; Halmetoja, 2014). Syötävien sienten lisäksi, sienijäämiä voidaan lisäksi jalostaa eri elintarvikkeiden ainesosiksi, esim. levitteiksi, arominvahventeiksi ja proteiinilähteiksi (Agro & Chemistry platform, 2022).

Mikkolan Sienituote MST Oy on suomalainen perheyrittys, joka on toiminut sienialalla jo yli 30-vuoden ajan. (Kaiteki, n.d.). Mikkolan Sienituotteella viljellään siitaketta, kuningasvinokasta sekä siiliorakasta suomalaisille kuluttajille Kaiteki-nimisellä brändillä. Mikkolan Sienituote toimittaa siiliorakkaan sekä punaloisikan viljelyalustat valmiiksi steriloituina yritykselle sienten kasvatusta varten.

4.3 Kosmetiikkateollisuus

Vain pientä osaa erilaisista sienilajeista on hyödynnetty kosmetiikassa, vaikka niistä löytyy paljon kosmeettiseen käyttöön hyödynnettäviä raaka-aineita, kuten antioksidantteja, polysakkarideja, vitamiineja, fenolihdisteitä ja erilaisia uutteita. (Jokinen, 2023). Esimerkiksi pakurikääpää käytetään kosmetiikassa ihottumien ja haavojen parantumisen edistäjänä sekä ihon pigmenttimuutoksien korjaajana. (Choi ym., 2016; Laitinen, 2022). Eniten sieniä on hyödynnetty seerumeissa, kosteusvoiteissa sekä erilaisissa kasvovesissä. Lisäksi sieniä on käytetty myös hoitoaineissa sekä hiusten muotoilutuotteissa, shampoissa, kasvoöljyissä, meikkiseerumeissa ja auringonsuojatuotteissa (Jokinen, 2023). Sienen soluseinämän kitiinin tärkeintä johdannaista, kitosaania käytetään kosmetiikkateollisuudessa tuomaan tuotteelle kiiltoa, lujuutta ja kovuutta muun muassa kynsi- ja hiuslakoissa sekä shampoissa.

4.4 Tekstiiliteollisuus

Muoti- ja tekstiiliteollisuudessa on yleisesti käytössä epäekologisia ja epäeettisiä ratkaisuja, jotka aiheuttavat monenlaisia ongelmia ympäristölle. Tekstiiliteollisuus käyttää suuret määrät vettä ja tuotannon värjäysprosessit aiheuttavat samalla vesistöjen laadun heikkenemistä (European parliament, 2020). Lisäksi tekstiiliteollisuuden CO₂ päästöt saattavat olla yllättävänkin suuria. Ala kaipaakin pikaisesti uusia ympäristöystävällisiä innovaatioita.

Useimmat käytetyt väriaineet ovat synteettisiä yhdisteitä, joita tuotetaan ei-uusiutuvista petrokemiallisista yhdisteistä. Tekstiilivärjäys on maailman toiseksi suurin vesien saastuttaja (European parliament, 2020). Luonnon väriaineille on siis valtava kysyntä. Sieniä on käytetty värjäämiseen jo 1970-luvulta alkaen. Sienillä voidaan värjätä erilaisia materiaaleja, kuten silkkiä, villaa, kankaita, paperia ja lankoja. Sienistä eristettyjä väriaineita voidaan hyödyntää lisäksi kosmetiikassa ja hajuvesiteollisuudessa (Korhonen, 2009).

Sieninahka on ympäristöystävällinen, monipuolinen ja eettinen materiaali, joka voisi korvata sekä naudannahan että muovista valmistetun keinonahan. Eläinperäisen nahan saatavuus on riippuvainen eläinten määrästä, kun taas sieninahkaa voidaan valmistaa kysynnän ja tarpeen mukaan. Ensimmäiset patentit sienistä valmistettuihin kankaisiin on peräisin 1950-luvulta. (Elbein, 2020). Uusia yrityksiä ja innovaatioita bionahan ympärille muodostuu kaiken aikaa lisää, kun tietoisuus kasvaa. Esimerkiksi Teknologian tutkimuskeskus VTT on kehittänyt ekologisen tuotantotavan sienirihmastosta valmistetulle nahalle, joka on yhtä vahvaa kuin eläinperäinen nahka (VTT, 2021).

MycoWorks on yhdysvaltalainen bioteknologiayritys, joka kehittää erilaisia sienipohjaisia materiaaleja ja hyödyntää sienirihmastoa ekologisissa tuotteissa. Ranskalainen nahkatalo, Hermès ja MycoWorks ovat yhteistyössä kehittäneet ympäristöystävällisen Victoria-laukun, jonka valmistuksessa on käytetty sienirihmastosta valmistettua materiaalia, joka tuntuu ja näyttää eläinperäiseltä nahalta. Mykoworks:n kehittämä Reishi-sieninahka on myös täysin biohajoava, jonka tuotannossa ei synny lainkaan hukkaa. Nahka on peräisin lakkakäävästä, eli reishistä. (Mycoworkswebsite, 2021). Myös uusiutuviin biomateriaaleihin keskittynyt, Kalifornialainen yritys Bolt Threads, kehittää ekologisia materiaaliratkaisuja sienistä, kuten vegaaninen Mylo-sieninahka (Bolt Threads, 2021). Tekstiilijäte on myös suuri ongelma. Jotkut yritykset ovatkin yrittäneet selvittää miten tekstiilijätettä voitaisiin hyödyntää sienten avulla.

4.5 Mykoremediaatio

Sieniä voidaan hyötykäyttää saastuneiden maa-alueiden puhdistuksessa. Pilaantuneiden maiden biologista puhdistusta kutsutaan bioremediaatioksi. Jos puhdistus tapahtuu sienillä, sitä kutsutaan mykoremediaatioksi. Stamets ym. (2005) tutkimusryhmä osoitti, kuinka osterivinokkaan avulla onnistuttiin puhdistamaan öljyn ja dieselin pilaama maa-alue muutamassa kuukaudessa. Stametsin mukaan myös useat muut sienilajit, kuten silkkivyökääpä voi sitoa itseensä raskasmetalleja. (Stamets, 2005, ss. 91–106) Toinen mielenkiintoinen bioremediaatio koejärjestely on tehty Suomessa. Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy:n (VTT) tutkijat ovat kehittäneet biologisen suodattimen sienirihmaston avulla, jolla on onnistuttu keräämään jopa 80 % elektroniikkaromun sisältämästä kullasta. (Ernvall, 2014.) Metallien lisäksi sieniä on hyödynnetty muovin hajottamisessa. Vuonna 2011 Yalen yliopiston tutkijat löysivät Ecuadorista *Pestalotiopsis microspora* sienen, joka pystyy hajottamaan polyuretaania (Russell ym., 2011). Muutamia vuosia myöhemmin toinen tutkimusryhmä löysi Pakistanista *Aspergillus tubingensis* sienen, joka kykeni hajottamaan polyesteri polyuretaania (Khan ym., 2017). Ukrainan Tšernobylin ydinreaktorin vierestä puolestaan eristettiin vuonna 2008 sienilaji, joka pystyi melaniinin avulla muuttamaan radioaktiivista säteilyenergiaa itselleen ravinnoksi (Dadachova & Casadevall, 2008). Kyseistä gammasäteilyä hyödyntävää sientä on myöhemmin kasvatettu onnistuneesti kansainvälisellä avaruusasemalla ISS:llä. Ajatuksena että sientä voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää Marsissa astronauttien suojaamiseen säteilyltä. (Shunk ym., 2020).

4.6 Maanparannus

Sienten soluseinä rakentuu suurilta osin kitiinistä, joka on pitkäketjuinen sokeryhdiste. Se on rakenteeltaan erittäin vahvaa, jota esiintyy luonnossa sienten lisäksi nilviäisten, äyriäisten ja hyönteisten kuorissa ja tukirangassa sekä levien soluseinässä. (Halmetoja, 2014). Kitosaani on kitiinin tärkein johdannainen, joka tunnettiin mielenkiintoisista ominaisuuksistaan jo 1919-luvulla. Kitiinipitoisten aineiden käsittely vahvistaa kasvien kasvua, lisää vastustuskykyä erilaisia taudinaiheuttajia vastaan. Kitiinipohjaisten aineiden käyttö voisi täten vähentää esimerkiksi torjunta-aineiden käyttöä. (Siltavirta, 2017)

Kitosaania voidaan tuottaa muun muassa ultrasonikoimalla sieniä. Useat kitosaanin käyttöä tarkastelevat tutkimukset osoittavat, että kitosaani on huomattavasti tehokkaampi synteettisiin lannoitteisiin verrattuna. Kitosaania sisältävä tai kitosaanilla päällystetty biolannoite parantaa tehokkaasti kasvien satoa ja kasvua synteettisiin lannoitteisiin verrattuna. (Kosamo, 2021) Kitiinipitoisen lannoitteen typpi-, kalium- ja fosforipitoisuudet ovat yhtä korkeat kuin lannan. Kitosaani onkin lupaava päällystemateriaali lannoitteille. Kitosaani päällysteen käyttö lannoitteissa parantaa kasvilannoitteiden tehokkuutta. Hitaasti vapautuvissa lannoitteissa ravinnepitoisuudet vapautuvat vähitellen kasvin ravintotarpeisiin. Hitaasti vapautuvien ravinteiden käyttö myös vähentää veden haihtumista ja samalla pienentää vesiliukoisten lannoitteiden ympäristövaikutuksia.

4.7 Muu hyötykäyttö

Joillakin sienillä on erityisominaisuuksia, joita voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi uusien materiaalien valmistuksessa. VTT:n tutkimusryhmä tutki taulakäävän (*Fomes fomentarius*) mekaanisia ominaisuuksia, joiden ominaisuuksien yhdistelmä voisi synnyttää täysin uudenlaisia, suorituskyvyltään ainutlaatuisia materiaaleja, korvaten esimerkiksi muoveja. (Pylkkänen ym., 2023) Toisessa VTT:n tutkimusprojektissa tutkittiin miten sienirihmaston nahkamaista materiaalia voi hyödyntää täysin uusissa tuotekehityskonsepteissa. ”Korvaa”-tutkimuksen tuloksena kehitettiin biomateriaaleista valmistetut kuulokkeet (VTT, 2020). Muita sienipohjaisten materiaalien ominaisuuksia on esimerkiksi palonkesto, lämmöneristyskyky ja antibakteerisuus (Bustillos ym., 2020; Elsacker, 2019). Erilaisilla sienimateriaaleilla voi myös olla parempi puristuslujuus kuin mitallistetulla puulla ja parempi taivutuslujuus kuin teräsbetonilla (Rothschild, 2018).

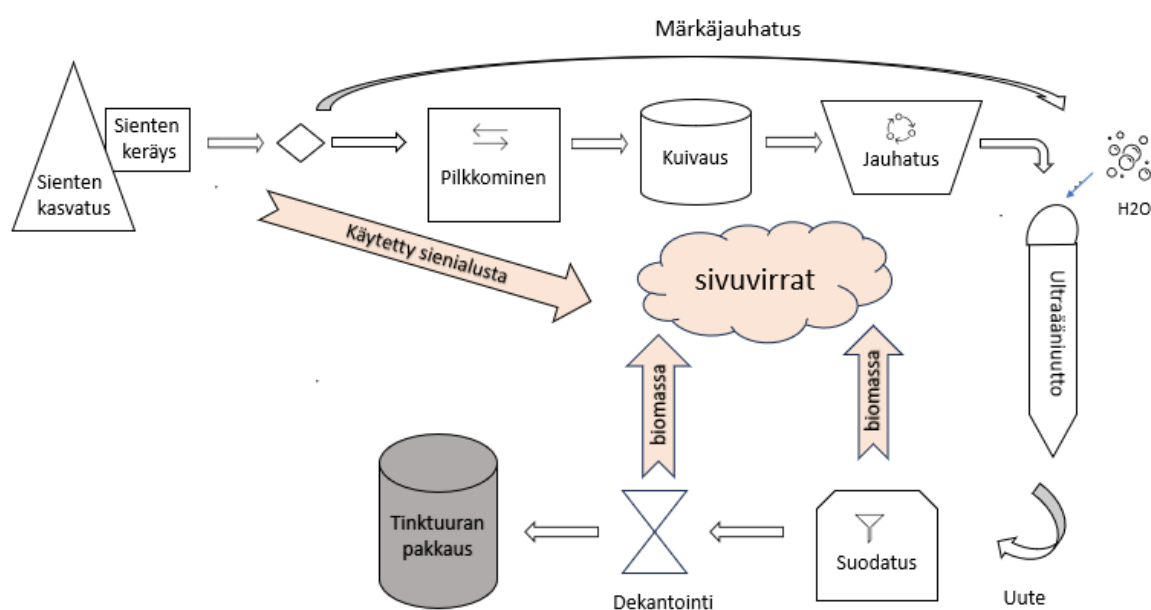
Sienistä eristetyn kitosaanin soveltamispotentiaali on hyvin monimuotoinen ja laaja. Lannoitteiden lisäksi sitä hyödynnetään monissa biolääketieteellisissä ja terapeuttisissa sovelluksissa. Kitosaanin on todettu olevan antibakteerinen, antioksidanttinen, anti-inflammatorinen, kosteuttava ja UV-kestävä. (Sahariah & Masson, 2017). Se voi muodostaa syötävän, suojaavan kalvon, joka saa kasvit kasvamaan nopeammin ja suojaavat niitä taudinaiheuttajilta. Kitosaania käytetäänkin laajalti kuten eläinten rehussa, kemikaaleissa, maa- ja puutarhateollisuudessa, autojen maalipinnan korjausaineena, lääketieteellisissä materiaaleissa (Siltavirta, 2017). Kitosaania valmistetaan tällä hetkellä pääasiassa Aasiassa ja Yhdysvalloissa, ja se on lähes aina eläinperäistä. Potilaille, joilla on äyriäisallergia, se on suorastaan vaarallista, joten ei-eläinperäisen kitosaanin paikalliselle tuotannolle on suuri

tarve. (Agro & Chemistry, 2023). Kitosaani on erittäin käyttökelpoinen myös eri lääketieteiden sovelluksissa. Sillä on bakteereita tappava vaikutus, joten sitä on hyödynnetty monissa lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten kudosteknologiassa, leikkausompeleissa ja haavasiteissä (Siltavirta, 2017; Kosamo, 2021).

5 Funktionaalisten sienten jalostusprosessi

Kääpä Biotech valmistaa ravintolisiä funktionaalisista sienistä niitä uuttamalla. Lopputuote voi olla joko nestemäinen tinktuura tai jauhemainen sienijauhe. Hyvinvointituotteiden tuotantoprosessi kestää Kääpä Biotechilla kokonaisuudessaan noin 3–4 viikkoa, joista aikaa vievin vaihe on sienten kasvatusta. Kehittämällä tuotantoprosessia, voidaan tuotantoa aikaa lyhentää ja prosessia tehostaa merkittävästi. Kuvassa 5 on esitetty funktionaalisten sienten jalostusprosessi ravintolisän valmistuksessa.

Kuva 5. Funktionaalisen sienen jalostusprosessi tinktuurin valmistuksessa.



Tuotantoprosessi alkaa sienten kasvattamisella spesifisellä kasvatusalustalla eli substraatilla. Jokaisella sienellä on oma funktionaalinen tuotteensa. Sienet joko kasvatetaan itse (kappale 5.1) Kääpä Biotech:illa tai ne tilataan valmiiksi kuivatettuina yhteistyöpartnereilta. Kasvatuksen jälkeen sienet kerätään käsin, pilkotaan, kuivataan, jauhetaan ja uutetaan. Tinktuurin

valmistuksessa uute suodatetaan, dekantoidaan ja valmis tinktuura pullotetaan. Valmis lopputuote sisältää 20 % etanolia säilyvyyden parantamiseksi. Tinktuurin valmistuksen yhteydessä syntyy sivuvirtana liejumaista biomassaa, joka menee tällä hetkellä biojätteeksi. Sienijauheen (powder extract) valmistuksen yhteydessä ei synny sivuvirtoja.

5.1 Sienten kasvatusta

Viljeltävät sienet ovat lähes poikkeuksetta lahottajia, jotka kykenevät kasvamaan pääosin puupohjaisissa kasvualustoissa. Sienien kasvualustan, substraatin pääaines on usein lehtipuu tai lehtipuru, johon voidaan sekoittaa erilaista viljaa, esimerkiksi vehnää, ohraa, spelttiä tai ruista, kasvatetun sienen mukaan. Havupuut eivät toimi hyvinä kasvualustoina, sillä niissä on liikaa luonnollisia sieniä torjuvia aineita. (Stamets, 1993, ss. 48–49) Jokaisella sienikannalla on kuitenkin oma, spesifinen alustan ravintokoostumus. Substraatin raaka-aineiden partikkelikoko ja pakkaustiheys ovat oleellisia tekijöitä hyvän kasvun kannalta (Kaiteki, n.d.).

5.1.1 Sienialusta

Tässä opinnäytetyössä käytettävät luomu sienialustat eli substraatit valmistetaan Mikkolan Sienituote MST Oy:llä. Siiliorakkaan alusta valmistetaan koivusta ja luomuvehnästä. Siitake puolestaan kasvaa parhaiten koivuspeltti seoksella. Koivu murskataan hakkeeksi, johon sekoitetaan vehnä ja lisätään vesi, jolloin saadaan alustaan sopiva rakenne. Massan raaka-aineista noin 70 % on vettä. Valmis substraattimassa johdetaan pussitus koneeseen, jossa kasvatusalusta pakataan tiiviisti muoviin. Muovin suu kiinnitetään niitillä tiiviiksi pakettiksi, jolloin substraatti voidaan lämpö steriloida estäen kontaminaatiot. Steriili kasvualusta mahdollistaa sienirihmaston kasvun ilman kilpailevia mikrobeja. Jäähdyneen kasvatusalustan päihin asetetaan inokulointi-tikut, jotka sisältävät valmiiksi sienirihmastoja. (Korpela, 2023) Ympättyjä substraatteja kasvatetaan Mikkolan Sienellä solid state kasvatuksessa, optimaalisissa olosuhteissa, jonka jälkeen substraatti kuljetetaan Kääpä Biotechille varsinaiseen sienen viljelyyn.

Sienten kasvatuksessa on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota ympäristön kosteuteen, lämpötilaan, valoon, CO₂ pitoisuuteen sekä ilmanvaihtoon. Toisin kuin kasvit, sienet eivät vaadi runsaasti valoa, mutta sen sijaan sienet tarvitsevat kosteutta kasvuunsa, joten kasvualusta ei saa päästä kuivumaan. Tavallisen asuinhuoneen ilma on sienille usein liian kuivaa. (Kaiteki, n.d.)

Kääpä Biotech:llä muovitetun sienialustan päihin tehdään steriilisti viillot ja sieniä kasvatetaan vielä noin 1–2 viikkoa kontrolloiduissa olosuhteissa. Itiöemien kasvatus toteutetaan solid state kasvatuksena, vertikaalisesti hyllyillä, jolloin sisätiloissa koko tilan korkeus voidaan käyttää tehokkaasti hyödyksi. Sienen itiöemät muodostuvat näkyviin, kun sienirihmasto on esikasvatettu riittävästi (Kuva 6). Kasvatuksen aikana sienien entsyymit esikäsittelevät puuaineksen, jolloin vaikeasti hajoava ligniini vapautuu. Koska useat sienet ja bakteerit kasvavat samankaltaisissa lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa kuin halutut sienet, suurin haaste on substraatin pitäminen steriilinä. Sienet ovat hyvin arkoja ja herkkiä erilaisille kontaminaatioille ja kemikaaleille (Korpela, 2023). Solid state kasvatus hallituissa olosuhteissa kestää kaikkiaan noin 7–8 viikkoa.

Kuva 6. Sienisubstraattikomponenttien muovitus pussituskoneella Mikkolan Sieni Oy:llä. Siiliorakkaan esiviljely sekä itiöemien solid state kasvatus.



Punaloisikan eli Cordiseps:n kasvatusalusta ja kasvatusolosuhteet eroavat merkittävästi siiliorakkaan ja siitakkeen kasvatuksesta. Punaloisikkaan alusta koostuu 100 % luomuvehnästä ja sen kasvatus tapahtuu kannellisissa muovilaatikoissa, joissa ilmanvaihto on varmistettu ilmastusreikien avulla (Kuva 7).

Kuva 7. Punaloisikan kasvatus Kääpä Biotech:llä ja sadonkorjuu, kuvassa oikealla.



Optimaaliseen sienien kasvuun vaikuttavat merkittävästi valon määrä, lämpötila, kosteus sekä ilmanvaihto. Bioaktiivisten yhdisteiden muodostuminen sieneen puolestaan riippuu pitkälti sienien kasvatuseroista, valitusta sienialustasta sekä uutto- ja kasvatusprosessista. Sadonkorjuussa talteen otetaan ainoastaan näkyvä itiöemä, jolloin itse alusta sekä sen sisältämä sienirihmasto jäävät sivuvirtana hyödyntämättä. Sienirihmasto on sekä itiöemän, että koko kasvatusprosessin perusta. Sienien kasvatusprosessin lähtökohdat ovat oikeat ravinteet, puhtaus sekä itiöemien kasvun aikaansaaminen.

Kuva 8. Kuvassa vasemmalla steriloitu siiliorakkaan substraatti ennen ympäystä. Keskellä siiliorakkaan kasvatus sienialustalla. Oikealla käytettyä kuivattua sienialustaa, joka jää tällä hetkellä sivuvirtana hyödyntämättä.



Siiliorakkaan kasvatusalustoja kuluu Kääpä Biotech:illa noin 2500–4000 kappaletta viikoittain (Kuva 8). Yksi siiliorakkaan sienialusta painaa tuoreena noin 2–2,5 kg ja on tilavuudelta noin viisi litraa. Punaloisikan sienialustaa tilataan Mikkolan Sienituotteelta noin 220 laatikkoa viikossa. Yksi laatikko painaa 2,9 kg, josta sienialustan paino on noin 2 kg. Käytetyt sienialustat jäävät tällä hetkellä täysin hyödyntämättä ja päätyvät jätteeksi.

5.2 Sienten keräys, pilkkominen, kuivaus, jauhatus ja uutto

Kun siiliorakkaan itiöemä on kasvanut noin kolme viikkoa optimaalisissa olosuhteissa, sienisato kerätään käsin. Sadonkorjuun jälkeen sienet pilkotaan, kuivataan ja jauhetaan hienoksi ennen uuttoa. Punaloisikan viljely ja sadonkorjuu on huomattavasti hitaampaa ja vaativampaa kuin siiliorakkaan.

Kuva 9. Tuoreen siiliorakkaan pilkkominen, kuivattaminen ja ultraäänIUutto.



Sienten kuivaus (Kuva 9) suoritetaan kuivaushuoneessa, jossa pilkotut sienet kuivataan ohuina kerroksina levyillä, siten että ilma pääsee kiertämään hyvin levyjen välissä. Kuivauksen jälkeen sienet jauhetaan hienoksi jauheeksi. Jauhaminen ja erityisesti sen käsittely tuottaa sienipölyä, jolta suojautuminen on tärkeää.

Kääpä Biotech:llä sienten uuttamisessa hyödynnetään ultraääniteknologiaa. Kuivattu ja jauhettu sienijauhe sekoitetaan veden kanssa hienoksi massaksi. Sienimassalle suoritetaan ultraäänivusteinen uuttoprosessi. (Kääpä Biotech Oy, Susanna Kääriäinen, henkilökohtainen tiedonanto 21.3.2024). Uuton tarkoituksena on rikkoa tehokkaasti sienen kitiinistä koostuva soluseinä ja vapauttaa erilleen solun sisältämät arvokkaat yhdisteet, kuten β -glugaani ja tertiini (Leong ym., 2021).

5.3 Suodatus ja dekantointi tinktuuran valmistuksessa

Tinktuura-ravintolisä valmistuksessa sienibiomassa suodatetaan uuton jälkeen tärinämyllyllä (Kuva 10) ja suodos dekantoidaan ennen lopullista pakkausta. Suodatuksen yhteydessä jää prosessista uutettua biomassaa yli sivuvirtana noin 160–400 litraa viikossa, joka tekee noin 15 000 litraa biojätettä vuodessa.

Kuva 10. Tinktuuran valmistuksessa ylijäävä biomassa, jota muodostuu sekä suodatusprosessissa että dekantoinnin (kuvassa oikealla) yhteydessä.



Dekantoinnissa (Kuva 10) biomassan annetaan ensin laskeutua muutamista päivistä viikkoihin, riippuen sienestä, jonka jälkeen nestemäinen liuos pumpataan letkupumpulla suodattimen läpi steriloituun kanisteriin. Dekantoinnissa jää sivuvirtana yli etanolipitoista biomassaa, joka sisältävää alkoholia noin 20 %.

Kuva 11. Jalostusprosessin lopputuotteena syntyvä ravintolisä, tinktuuran muodossa.



Prosessin aikana määritetään kokonaisbakteeripitoisuus sekä raskasmetallit eri vaiheista, jolla varmistetaan tuotteen puhtaus läpi koko prosessin. Kuvassa 11 on esitetty lopputuotteena tuotettua ravintolisää, joka voi olla sienijauhetta tai nestemäistä tinktuuraa.

5.4 Sivuvirrat

Kiertotalouden tehostaminen tuotannossa tarkoittaa materiaalien sekä energian käytön optimointia, jätteiden määrän minimointia ja sivuvirtojen hyötykäyttöä. Sivuvirroilla tarkoitetaan kaikkia niitä tuotantoprosessissa syntyviä jakeita, jotka eivät ole varsinaisia päätuotteita. EU:n tiukentuva lainsäädäntö ja sääntely ovat merkittävässä roolissa sivuvirtojen hyötykäytössä. Sienten kasvatuksen yhteydessä muodostuu Kääpä Biotech:llä sivuvirtoina sienialustaa vuosittain noin 400 000 kg.

Kuvassa 12 on kuvattuna Kääpä Biotech:n sivuvirtoina muodostuvat jäännösfraktiot. Sivutuotteista eniten syntyy käytettyä koivupuru-vehnä sienialustaa, jota jää yli siiliorakkaan kasvatuksesta. Käytettyä siiliorakas alustaa syntyy tällä hetkellä noin 300 000 – 400 000 kg/vuosi. Sivuvirtojen määrä on kuitenkin 2-3 kertaistumassa lähiaikoina yrityksen laajentuessa. Punaloisikka sientä kasvatetaan noin 220 laatikkoa/viikko. Alustasta vain noin 1/3 on sienen itiöemää, joka pystytään hyödyntämään ravinnelisinä. Loppu on hyödyntämätöntä sienialustaa, joka jää sivuvirtana yli. Punaloisikan käytettyä sienialustaa jää yli noin 21 000 kg vuodessa.

Kuva 12. Ravintolisien valmistusprosessista syntyviä sivuvirtoja: punaloisikan ja siiliorakkaan käytetty sienialusta sekä tinktuuran valmistuksen yhteydessä ylijäänyttä sienibiomassaa.



Kolmantena sivuvirtana on sienibiomassa, jota muodostuu n. 160–400 litraa viikossa. Käytettyjen sienialustojen lisäksi jalostusprosessissa syntyy etanolipitoista, uutettua sienibiomassaa suodatuksen yhteydessä. Suodatuksen saanto on keskimäärin noin 25 %. Valmistusprosessista muodostuvan sivuvirran määrä ja koostumus vaihtelee käsitellyn sienilajin mukaan. Kääpä Biotech:llä valmistetaan ravintolisiä tällä hetkellä seitsemän erilaista funktionaalisesta sienestä, joissa kaikissa on erilaiset vaikuttavat yhdisteet. Ylijäänyt ultraäänijuutettu sienibiomassa sisältää noin 20 % etanolia.

6 Prosessikehitys sivuvirtojen pienentämiseksi

Yritystoiminnan laajentuessa myös kestävään prosessikehitykseen kiinnitetään yhä tarkemmin huomiota. Tämän työn yhtenä tavoitteena oli tarjota erilaisia kehittämiskäsitteitä sivuvirtojen pienentämiseksi eri prosessivaiheissa. Alla on esitetty tärkeimpiä parannusehdotuksia prosessin sivuvirtojen hallintaan. Ehdotusten lopullinen päätös käyttökelpoisuudesta jää yrityksen arvioitavaksi. Tämän opinnäytetyön prosessikehitys osiota on mahdollista hyödyntää osana yrityksen perehdytysmateriaalia.

6.1 Sienisadon tehostaminen

6.1.1 Sienisadon tehostaminen solid state kasvatuksessa

Funktionaaliset sienet kasvatetaan solid state kasvatuksessa. Siiliorakkaan kasvatusalustana toimii kiinteä, muoviin kääritty koivusubstraatti. Itiömät kasvavat sienialustan päissä, jotka kerätään sadonkorjuussa käsin. Tämän jälkeen kasvatusalusta jää sivuvirtana jätteeksi. Sienisadon tehostamista testattiin itiöemien kasvattamisella substraatin eri kohdista. Kokeessa substraatin suojamuoviin tehtiin muovikääreeseen viillot itiöemälle substraatin päiden lisäksi myös alustan keskiosaan (Kuva 13). Testikasvatuksessa koko sato jäi kuitenkin hyvin pieneksi. Tämä viittaa siihen, että ympäristö ei ole tarpeeksi tehokas tuottamaan useampaa satoa kerralla tai kasvatusta pitäisi jatkaa pidempään. Jos samasta substraatista halutaan kasvattaa useampi itiöemä, kasvatuksen kestoa pitäisi lisätä tai kasvattaa ympäristön määrää substraatissa. Toisessa kokeessa testattiin useampi sienisato samasta substraatista, siten että ensimmäisen sadonkorjuun jälkeen kasvatettiin uusi sato samasta substraatista. Sienisato heikkeni kuitenkin sen verran merkittävästi jo toisella kasvatuskerralla, että tätä vaihtoehtoa ei suositeltu sadon tehostamistratkeisuksi.

Tällä hetkellä myös tuotantotilat rajoittavat sienten kasvatuksen tehostamista. Sienten kasvattaminen vaatii hyvin optimoituja tiloja ja substraattien siirtäminen ja kuljettaminen vie turhan paljon aikaa sekä tilaa. Tämänhetkinen sadonkorjuu on yrityksen tuotannossa kehitetty siten, että sienisadon korjaaminen sienialustojen päistä on mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Jos satoa aletaan keräämään myös sienisubstraatin keskiosasta, pitäisi kasvatushyllyt muokata uudelleen tähän sopiviksi.

Kuva 13. Siiliorakas sienisadon parantamista testattiin kasvattamalla itiöemät useammasta kohtaa substraattia.



Kasvatusalusta sisältää kuitenkin vielä runsaasti hyviä ravinteita ensimmäisen sadonkorjuun jälkeen. Käytetyn sienialustan ravinteita voitaisiin hyötykäyttää useampaan kertaan. Eräs ratkaisu voisi olla toisen sienilajin kasvattaminen jo kerran sientä tuottaneella sienialustalla. Tähän tarkoitukseen sopiva sieni voisi olla itiötön osterivinokas, jonka alustavaatimukset ovat lähes vastaavat kuin siiliorakkaalla. Osterivinokas on helppo ja nopeakasvuinen ruokasieni. Kyseistä koetta ei tässä työssä kuitenkaan testattu, sillä osterivinokkaan ymppeä ei ollut tähän opinnäytetyöhön saatavilla. Toisen sienien kasvattaminen samalla sienialustalla voisi kuitenkin olla yksi vartenotettava vaihtoehto tehostamaan sienialustan uudelleenkäyttöä.

Sieniä kasvatetaan tällä hetkellä Kääpä Biotech:n kasvatushuoneissa, joissa on tarkoin määritellyt kasvatusolosuhteet sienten viljelyyn. Kesäisin sieniviljely siirretään pihalle. Jotta saataisiin parhaat kasvatusolosuhteet hapensaannin, valon ja kosteuden osalta, optimaalisin vaihtoehto olisi jokaiselle sienikannalle tarkoin optimoitu oma olosuhdehuone. Tällöin voisi myös varmistua siitä, että sienien kasvatusolosuhteet pysyvät aina toistettavina, saanto vakiona ja laatu tasaisena, riippumatta vuodenaikasta.

6.1.2 Sienimyseelin nestekasvatus bioreaktorissa

Sieniuuteravintolisät valmistetaan sienten itiöemistä, jossa itiömät ensin pilkotaan, kuivatetaan, uutetaan ja lopulta suodatetaan. Sienten itiömät kasvatetaan solid state kasvatusperiaatteella, kiinteällä koivusubstraatilla, josta muodostuu itiöemien sadonkorjuun jälkeen huomattava määrä hyödyntämätöntä sivuvirtaa. Sienimyseelin kasvattaminen bioreaktorissa kiinteään alustan sijaan, poistaisi kokonaan kiinteän substraatin käytön. Tämä lyhentäisi merkittävästi prosessin kestoja, sillä useampi kasvatusprosessin vaihe jäisi kokonaan pois. Tässä vaihtoehdossa sienimassa valmistetaan suoraan nestefaasissa, jolloin kasvatusprosessista jäisi pois useampi työvaihe. Bioreaktorikasvatuksessa sienimyseelin kasvattaminen tapahtuisi huomattavan hallitummin ja kontrolloidusti. Valvotut olosuhteet varmistaisivat samalla tasaisemman tuoton ja nopeamman jalostusprosessin. Bioreaktorikasvatuksen jälkeen, tuotettu nestemäinen sienimyseeli voitaisiin suoraan ohjata uuttoprosessiin. Ennen sienimyseelin kasvattamista bioreaktorissa itiöemien sijaan, on varmistettava myseelin sisältämien bioaktiivisten yhdisteiden aktiivisuus, sillä nestekasvatuksessa funktionaalisten sienten tuottamat aktiiviset aineet eivät välttämättä korreloi itiöemistä saatujen yhdisteiden kanssa.

6.1.3 Sienikasvatuksen ulkoistaminen

Valmiit siiliorakkaan ja punaloisikan sienisubstraatit tilataan tällä hetkellä Mikkolan Sienituotteelta. Siiliorakkaan ja punaloisikan kasvatus ja prosessointi tapahtuu Kääpä Biotech:llä. Mikkolan Sienituote Oy on laajentamassa tuotantoaan tämän vuoden aikana, yhtenä potentiaalisena vaihtoehtona voidaan pitää koko sienituotannon ulkoistamista Mikkolan Sienituotteen kasvatustiloihin. Tällöin Kääpä Biotech:lle vapautuisi huomattavasti enemmän aikaa ja resursseja funktionaalisten sienten tutkimus ja tuotekehitykselle, aktiivisten aineiden karakterisoinnille sekä kasvatusolosuhteiden optimoinnille bioaktiivisten aineiden osalta. Työn ulkoistaminen keskittäisi myös sivuvirtojen muodostumista, parantaa logistiikkaa ja sivuvirtojen jatkohyödyntämistä.

6.2 Etanolin korvaaminen tinktuuran valmistuksessa

Tinktuuran valmistusprosessissa lisätään vahvaa etanolia siten, että tuotteen lopullinen etanolipitoisuus on noin 20 %. Etanolin lisäyksellä varmistetaan biomassan puhtaus

jatkokäsittelyn aikana. Etanoli suojaa tinktuuraa myös kontaminaatioilta. Lisätty etanoli aiheuttaa kuitenkin epämiellyttävää sivumakua lopputuotteeseen. Myös happamuutta säätämällä voidaan ehkäistä kontaminaatioiden syntyä. Sienimassan pH:n laskeminen seitsemästä viiteen uuton yhteydessä, voisi olla yksi ratkaisu ehkäistä mahdollisia kontaminaatioita prosessissa, jolloin päästäisiin eroon etanolin lisäyksestä. Etanolista luopuminen helpottaisi myös biomassan hyödyntämistä jatkojalostuksessa.

6.3 Suodatuksen tehostaminen ja dekantointi

Suodatuksen tarkoituksena on erottaa nesteet kiintoaineesta (Kuva 10). Tämänhetkinen suodatusprosessi ei ole kovin tehokas. Sivuvirtana muodostuvaa sienibiomassaa jää suodatuksesta yli 15 000 litraa vuodessa. Tehokkaammalla suodatuksella voitaisiin parantaa merkittävästi saantoa ja tehoa. Samalla sivuvirran määrää voitaisiin pienentää merkittävästi. Dekantterisentriifuugi pystyy erottamaan hiukkaset lietteestä, suuremmastakin kiintoainepitoisuudesta keskipakovoiman avulla. Muita vaihtoehtoja sienimassan suodattamiseen voisi olla rumpu- tai Seitz-levysuodatin. Rumpusuodatuksen haasteena on lisäaineen (kuten piimaa) käyttö, jota halutaan välttää hyvinvointi- sekä luomutuotteiden kohdalla. Seitz-suodatuksessa käytetään hyödyksi patruunasuodatinta. Tämä suodatusprosessi on kuitenkin melko työläs, sillä suodatuslevypakkojen vaihto on tehtävä säännöllisesti käsin. Jos prosessia halutaan automatisoida, Seitz-suodatus ei ole tällöin paras vaihtoehto korvaamaan levysuodatinta.

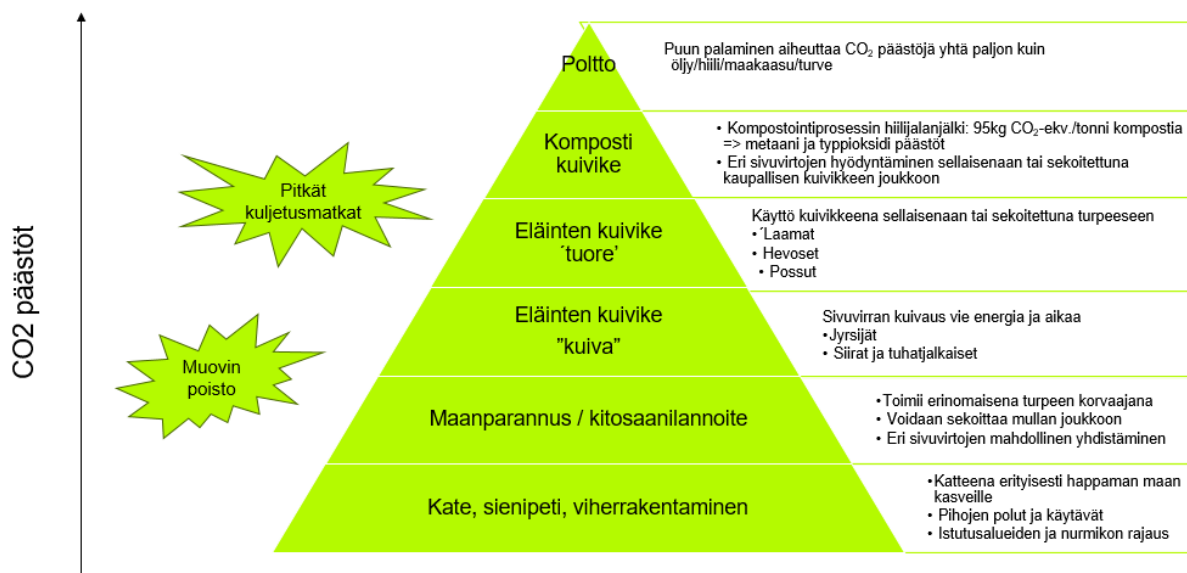
Dekantterisentriifuugi olisi paras vaihtoehto tärinämyllyn korvaamiseen. Tehokkaalla suodatuksella voidaan päästä myös eroon dekantoinnista, jolloin prosessiin käytettyä aikaa saadaan lyhennettyä ja sivuvirran määrää pienennettyä merkittävästi. Dekantoinnissa lietteen laskeuttaminen ja suodatus vie tällä hetkellä useamman vuorokauden.

7 Sivuvirtojen hyödyntämisehdotukset käytetylle siiliorakasalustalle

Kääpä Biotech valmistaa tällä hetkellä ravintolisiä seitsemän eri funktionaalisesta sienestä. Näistä siiliorakasta ja punaloisikkaa viljellään yrityksen omissa tiloissa. Siiliorakas on eniten kasvatettu funktionaalinen sieni Kääpä Biotech:llä, jonka viljelyn yhteydessä muodostuu myös eniten sivuvirtoja. Opinnäytetyön kokeelliset osuudet suoritettiin pääsääntöisesti siiliorakkaan kerran jo satoa tuottaneella kasvatusalustalla.

Käytetyn sienialustan arvo on nykyisellään varsin matala, mutta sivuvirtojen arvokkaita komponentteja olisi mahdollista hyödyntää monenlaisissa sovelluksissa. Suurimpana komponenttina siilorakkaan kasvatusalustassa on sen sisältämä, osittain jo hajonnut koivupuru, jossa on mukana elävä sienirihmasto (Kuva 15). Käytetyn sienialustan helpoin käyttökohde olisi hyödyntää alusta sellaisenaan, esim. sienten uusiokasvatuksessa tai poltossa, mutta koostumuksensa puolesta vaihtoehtoja käytölle löytyy huomattavasti enemmän. Yleisesti biohajoavien jätteiden tärkeimmät käsittelyvaihtoehdot ovat kompostointi ja energiantuotanto, joista poltto on kaikkein hyödyttömin ympäristön sekä lain kannalta (Keskitalo & Kettunen, 2007). Jätelain (Jätelaki 2 luku 8§) mukaan: ”Kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan noudatettava seuraavaa etusijajärjestystä: Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä.”

Kuva 14. Käytetyn sienialustan hyödyntämishierarkia, suhteutettuna CO₂ päästöihin.



Kuvassa 14 on kuvattu sivuvirtojen hyödyntämishierarkia eli etusijajärjestys. Kuvassa sivuvirtojen käyttökohteet on jaettu niiden arvokkuuden mukaan, ottaen huomioon CO₂ päästöt. Käytetyn sienialustan helpoin käyttökohde olisi energiatuotannossa, mutta erinomaisten käyttöominaisuuksien puolesta vaihtoehtoja hyötykäytölle on paljon muitakin. Vähiten CO₂ päästöjä uusiokäytössä syntyy, kun sivuvirtoja hyödynnetään suoraan prosessista kuten puutarhojen ja pihojen katteena, sienipedissä tai esimerkiksi viherrakentamisessa. Toisena arvojärjestyksessä sivuvirrat voidaan hyödyntää maanparannusaineena pelloilla joko sellaisenaan tai sekoitettuna mullan joukkoon. Tämän jälkeen arvovirtajärjestyksessä sivuvirrat pyritään hyödyntämään siten, että säästetään neitseellisen raaka-aineen käyttöä kuten korvaamalla turve eläinten pohjamateriaaleissa tai hyötykäyttämään sienien käytettyä alustaa komposti- tai huussikuivikkeena. Vasta viimeisenä hyödyntämishierarkian mukaan sivuvirrat hyödynnetään biokaasun polttoaineena tai energiana.

Kuva 15. Punaloisikan ja siiliorakkaan käytettyä sienialustaa. Vasemmalla punaloisikan kerätty sienisato sekä ylijäänyt kasvatusalusta. Keskellä siiliorakas substraatti ennen ymppeystä ja oikealla kuvassa osittain murskattua sienialustaa, joka on jäänyt sivuvirtana yli siiliorakkaan kasvatuksesta.



Käytettyä sienialustaa (Kuva 15) muodostuu prosessin sivuvirtana yhteensä n. 400 000 kg vuodessa. Siiliorakkaan kasvatuksessa sienialusta pötkelöitä jää sivutuotteena n. 2500–4000 kpl viikossa, joka vastaa viikossa 8 000 kg eli 16 m³. Punaloisikka sienien kasvatuksessa syntyvää vilja-alustaa puolestaan syntyy sivutuotteena n. 220 laatikkoa viikossa, joka vastaa 550 kg jätettä viikoittain. Substraatin poisvienti jätemaksuina maksaa n. 1700 €/lava (sisältää kuljetuksen, sekajätteen, kauhonnan, vastaanoton ja lavavuokran). Lava tyhjennetään kerran kuussa. Käytetty sienialusta tulee siis tällä hetkellä maksamaan yritykselle vuosittain yli 20 000 €.

7.1 Sienialustan ominaisuudet

Siiliorakkaan kasvatusalustan koostumus määriteltiin Kääpä Biotech:n omassa käyttölaboratoriossa. Taulukossa 2 on koottuna substraatin pH, kosteus ja paino sienien eri kasvatusvaiheista. Käytetyn siiliorakkaan sienialusta (pötkkelö) painaa sienien keräyksen jälkeen noin 2 kg ja sen koko on n. 40 x 12 cm. Sadonkorjuun jälkeen sienialusta sisältää kosteutta n. 40–50 % ja sen pH on noin neljä. Kuivattuna yksi substraattipötkkelö painaa n. 0,7 kg ja vie tilavuudeltaan noin viisi litraa.

Taulukko 2. Siiliorakas substraatin koostumus sienien kasvatuksen eri vaiheissa.

	Substraatti	Ympätty sienialusta	Sienialusta, jossa siiliorakas jo kasvamassa	Sivuvirtana ylijäänyt, käytetty sienialusta	Kuivattu, käytetty kasvatusalusta
pH	5,2	5,2	5,2	4,0	4,4
Kosteus	70 %	56 %	50 %	38–54 %	0 %
Paino	2,4 kg	2–2,1 kg	1,8 kg	1,5–2 kg	0,76 kg + muovi 11 g

Käytetyn sienialustan imukykyä testattiin Metsälammen Laamat -tilalla. Ensimmäinen testi suoritettiin kokonaisella käytetyllä kasvualustalla liottamalla se veteen kahdeksi vuorokaudeksi. Loppu- ja alkupainon erotus laskettiin punnitsemalla substraatti sekä ennen liotusta että sen jälkeen. Substraatti imi itseensä muutamassa vuorokaudessa noin 1/3 omasta painostaan eli 478 grammaa. Toisessa kokeessa (Kuva 16) 500 g käytettyä sienialustaa hajotettiin pieniksi muruiksi ja astiaan lisättiin vettä niin kauan kunnes puuhake imi kaiken nesteen itseensä. Vastaava koe tehtiin myös kaupalliselle Hankkijan puupelletti kuivikkeelle, joka sisältää kutterilastua sekä sahanpurua. Vettä lisättiin niin kauan kuin sitä imeytyi molempiin kuivikkeisiin. Nestettä lisättiin yhteensä 1,5 litraa. Nesteenlisäystä jatkettiin vielä puupelletille, jotta nähtiin imukyvyn ero. 36 tunnin jälkeen puupellettimurskaan oli lisätty vettä yhteensä kolme litraa, jolloin nesteytys oli silmämääräisesti samantasoinen. Kokeesta voitiin havaita, että Hankkijan puupelletti on noin puolet imukykyisempi kuin käytetty sienialusta.

Kuva 16. Käytetyn sienialustan nesteenpidätyskyky oli noin puolet verrattuna kaupalliseen puupelletti kuivikkeeseen. Vasemmalla muoviin kääritty sienisubstraatti.



Osa käytetystä siilorakasalustasta kuivatettiin kotieläinten kuivikekokeita varten (Kuva 17). Kuivaus suoritettiin sekä huoneenlämmössä että 50 asteen lämpökaapissa, ilman suojamuovia. Käytetty sienialusta kuivui parhaiten lämpökaapissa murskattuna, jossa se kuivui lopullisesti 1–2 päivässä. Huoneenlämmössä sekä ulkona sateensuojassa kuivaus kesti noin viikon, vaikka se oli hajotettu pienemmiksi palasiksi. Käytetyn sienialustan kuivausta testattiin myös kokonaisena ilman muovikuorta, mutta se osoittautui liian hitaaksi. Puupuru ja sienirihmasto sen ympärillä piti paketin liian tiiviinä estäen kosteuden haihtumisen tuotteesta. Kuivaus onnistui myös hyvin huoneenlämmössä, kun tuote oli murskattuna ohueksi kerrokseksi.

Kuva 17. Erilaisia kuivausmenetelmiä käytetylle sienialustalle. Kuivausta testattiin huoneilmassa kokonaisina pötkelöinä, lämpökaapissa, sisätiloissa murskattuna sekä ulkona.



7.2 Poltto

Kääpä Biotech on aiemmin ollut polttolaitokseen yhteydessä liittyen käytetyn sienialustan hyödyntämiseen energiaksi. Polttokoe kuitenkin vaatii todella suuret määrät sivuvirtaa, mihin tämänhetkinen tuotantomäärä ei yllä. Lisäksi hyvin hiilipitoisena aineena puuhakkeen hiilijalanjälki on poltettaessa suuri (Lehtoranta ym., 2021). Tässä työssä ei lähdetty tutkimaan tarkemmin käytetyn sienialustan hyötykäyttöä energiana.

7.3 Sienipeti kotitalouksille

Käytettyä sienialustaa voidaan sellaisenaan hyödyntää kotipihojen ja puutarhojen sienipetien rakennusaineena, sillä alusta sisältää edelleen runsaasti käyttämätöntä ravintoa. Käytetty sienialusta on helppo kuljettaa muovikääreessä ja se antaa satoa vielä muutamaan kertaan suhteellisen vähäisellä hoidolla. Sienipeti (Kuva 18) toimii samalla erinomaisena puutarhakatteena. Sienet eivät myöskään leviä muualle, sillä ne tarvitsevat kasvuunsa puualustaa, eivät multaa tai turvetta. Sienipeti on paras rakentaa puutarhan, kosteaan, notkelmaiseen ja varjoisaan paikkaan. Murennetun kasvualustan joukkoon voidaan sekoittaa vielä lisäksi puu- tai olkipellettejä, josta rihmasto saa lisäravintoa. Talveksi sienipedin päälle laitetaan noin 5 cm:n paksuinen puulastukerros, joka samalla suojaa rihmastoa pakkasilta ja toimii keväällä lisäravintona (Helsieni, n.d.).

Kuva 18. Siiliorakas sienipeti kotipuutarhassa.



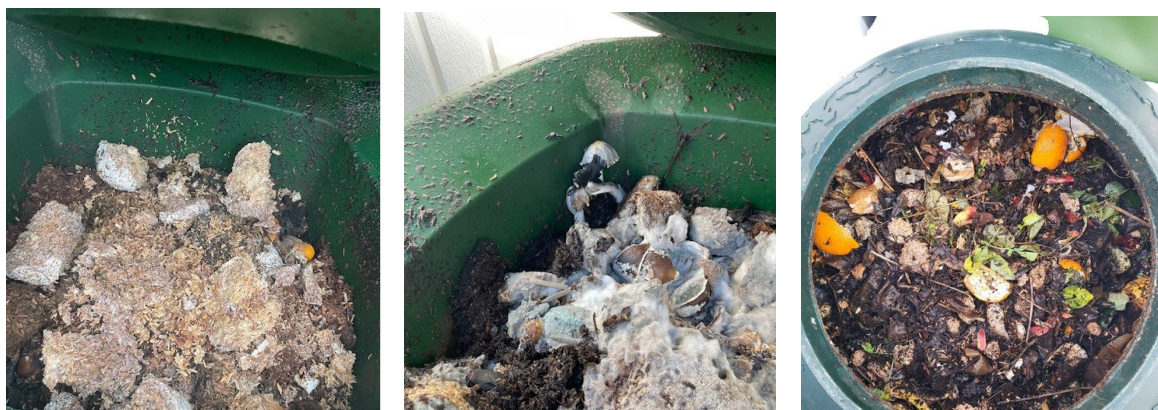
Jotta yritys voisi hyödyntää prosessista ylijäänyttä sienialustaa, kerran satoa tuottanut sienialusta voitaisiin myydä ”sienipakettina” kotitalouksille. Tämä sivuvirta toimii erinomaisena rakennusaineena sienipedille kotipuutarhoihin. Sienipetipaketin mukaan voi lisätä yksinkertaiset rakentamis- ja käyttöohjeet. Tällä hetkellä käytettyä siiliorakas alustaa myydään nettikaupoissa n. 1–1,8 €/kg (Kaiteki, n.d.; Helsieni, n.d.). Sienipedin pystyy hyvin rakentamaan noin 15–30 käytetystä sienialustasta. Käytetty alusta voidaan upottaa yöksi veden alle, jolloin sienirihmasto virkoaa uudelleen. Käytön jälkeen alustaa voidaan hyödyntää kuivikkeena biojäteastiassa tai kompostissa.

7.4 Komposti- ja huussikuivike

Kompostin pieneliöt käyttävät ravintonaan kompostoitavia jätteitä. Hyvin toimivan kompostorin lämpötila voi nousta 70–80 asteeseen, joka johtuu kompostorin pieneliöiden elintoiminnoista. Kompostia hajottavat pieneliöt tarvitsevat happea hengitykseensä, siksi ilmava komposti on elinehto toimivalle kompostorille. Yksi yleinen haaste kompostoinnissa on liiallinen kuivuus. Myös hiilen ja typen oikea suhde on tärkeää onnistuneelle kompostoinnille (Biolan, n.d.). Hiiltä on runsaasti eloperäisessä jätteessä ja typpeä saa puolestaan talousjätteistä, virtsasta, lannasta ja vihreistä kasvinosista. Paras komposti saadaan sekoittamalla erilaisia jätteitä keskenään. Sienialustassa yhdistyy moni kompostoinnille tärkeä elementti. Sivuvirtayhdistelmä antaa kompostoituvalla materiaalilla kuohkeutta, sitoo nestettä ja hajuja ja sisältää runsaasti hiiltä. Sienirihmasto puolestaan saattaa nopeuttaa kompostin käymistä. Lisäksi tuote on helppo käsitellä ja on itsessään hajuton.

Käytettyä sienialustaa (sekä siiliorakas että punaloisikka) testattiin (Kuva 19) puutarhakompostissa, lämpökompostorissa ja ulkokuussissa korvaten kompostointikuivike joko osittain tai kokonaan sienialustalla. Sekä puutarha- että lämpökompostit toimivat todella tehokkaasti, huomattavasti nopeammin kuin normaalia kuiviketta käytettäessä. Keväällä, heti lumien sulamisen jälkeen, ilmankosteuden ollessa korkea, puutarhakompostiin lisättiin sienialustan lisäksi myös muuta kuiviketta sekaan imukyvyn tehostamiseksi. Lämpökompostorissa sienialusta toimi hyvin myös ainoana kuivikkeena. Tuotteen käyttö koettiin helpoksi ja miellyttäväksi ja tuote oli hyvin tasalaatuista. Sienialustan puupitoinen alusta imi hyvin itseensä kompostorin hajut.

Kuva 19. Käytetty sienialusta testauksessa kompostikuivikkeena kotikompostorissa.



Kaupalliset kompostikuivikkeet sisältävät yleensä turvetta, kutterilastua ja hieman karkeampaa puunkuorta. Kuvassa 20 on verrattu Biolanin kaupallista kompostointikuiviketta käytettyyn sienialustaan. Vertailussa testattiin tuotteiden imukykyä, happamuutta, koostumusta ja käyttöominaisuuksia toisiinsa. Imukyvyssä ei juurikaan havaittu eroa. Myös happamuuden taso oli molemmissa tuotteissa suhteellisen sama. Ainoa merkittävä ero kompostikuivikkeen ja käytetyn sienialustan välillä oli ulkoinen koostumus. Biolanin kuivike on huomattavasti pehmeämpää turpeen ansiosta. Molemmat ovat tuotteena kuitenkin hyvin tasalaatuisia, hygieenisinä sekä hajuttomia. Sienialustassa koivupurun rakenne on sienen ansiosta muokkautunut ja ligniini ainakin osittain hajonnut. Kaupallinen kompostikuivike maksaa yleisesti 0,2–0,4 € / litra ja sisältää kosteutta n. 20–30 %. Käytetyn sienialustan kosteus on hieman korkeampi, n. 50 %. Haastattelujen ja kyselyiden perusteella käytetystä sienialustasta oltaisiin valmiita maksamaan kompostikuivikkeena n. 0,5–0,75 € / käytetty sienialusta.

Kuva 20. Biolanin huussi- ja kompostointikuivike (kuvassa oikealla) verrattuna käytettyyn siiliorakas alustaan (kuvassa vasemmalla). Tuotteita verrattiin keskenään sekä kuivana sekä nesteeseen imeytettynä.



Käytetty sienialusta osoittautui erinomaiseksi kuivikevaihtoehdoksi turpeen ohessa tai sellaisenaan kompostoreihin ja ulkokuuussiin. Käytössä on kuitenkin huomioitava sivuvirtojen syntypaikan ja loppusijoituspaikan maantieteelliset sijainnit. Pitkät siirtomatkat nostavat helposti kuljetuskustannuksia. Käytetty kasvualusta voidaan lämpökompostoinnin lisäksi myös kompostoida lähipelloille ravinteiksi. Mikkolan Sienituote on hyödyntänyt omia käytettyjä ruokasienialustoja aumakompostoimalla ne heti sadonkorjuun jälkeen ja hyödyntämällä kompostoitunutta sienialustaa lähialueen maissipellolla parantamaan tiivistynyttä maaperää. (Kaiteki, n.d).

Suodatuksen sivutuotteena syntyvä lietemäinen sienibiomassa on sokeripitoinen, rikas materiaali, joka yhdistettynä käytetyn sienialustan kanssa tehostaa kompostin toimintaa. Eri prosessin sivuvirrat yhdistettynä voidaan saada tehokas kompostin käyminen. Ainoa haaste sienibiomassan kompostoinnissa saattaa olla sen sisältämä etanoli. Etanoli on kuitenkin mahdollista haihduttaa ennen lopullista käyttöä. Uutettua sienibiojätettä voidaan hyödyntää myös sellaisenaan maanparannusaineena.

Sivuvirtojen kompostointi on ympäristöystävällisintä ja edullisinta suorittaa biojätteen syntypaikalla. Käytetyn sienialustan sekä jalostusprosessissa muodostuvan biojätteen kompostointi yrityksen tiloissa toisi merkittävän taloudellisen säästön yritykselle ja säästäisi samalla luonnonvaroja. Sivuvirtojen kompostoinnissa kannattaisi hyödyntää myös henkilöstön taukotilojen kotitalousjäte, joka yleisesti sisältää kolmasosan eloperäistä ainesta. Kompostoinnissa syntyvä multa, olisi mahdollista jälleenmyydä esimerkiksi maanparannukseen. Vaikka kompostoinnissa syntyy hiilidioksidipäästöjä, ne ovat yleensä huomattavasti pienempiä kuin kaatopaikalla tai polttamalla syntyneet päästöt, sillä kompostointi edistää luonnollisesti orgaanisen aineksen hajoamista.

7.5 Kotieläinten kuivike

Kuivikkeiden tehtävä on pitää eläinten makuualusta ja itse eläin kuivana ja puhtaana, vähentää hajuhaittoja ja sitoa kosteutta ja ammoniakkia. Kuivikkeet vähentävät samalla eläimen lämmönhukkaa, pehmentävät pohja-alustaa ja suojaavat eläintä hiertymiltä ja hankauksilta. Kuivikkeet toimivat tarvittaessa myös eläinten virikkeinä. (Alasuutari, 2014, s.3). Tällä hetkellä yleisesti käytetyimmät kuivikkeet eläimille ovat turve ja puupohjaiset kuivikkeet, kuten kutterinpuru, sahanpuru tai puupelletti. Kasvavan ilmastokriisin vuoksi

erilaisten kuivikkeiden hinta ja niiden saatavuus kuitenkin heikkenee ja on siten uusi haaste myös kotieläintiloilla ja talleilla. Turvekuiviketta käytetään määrällisesti eniten hevosilla, naudoilla ja broilereilla. Sen muut käyttökohteet ovat kasvualustat, viherrakentaminen ja maisemanhoito. (Kiviranta, 2022; Turveinfo, 2017; Lehtoranta ym., 2022).

Turpeesta aiheutuu noin 20 % Suomen energiatuotannon hiilidioksidipäästöistä. Turve on erittäin hidas uusiutumaan. Koska energiaturpeen kysyntä on hiipumassa kaiken aikaa, vaikuttaa se samanaikaisesti sivutuotteena syntyvän kuiviketurpeen saatavuuteen ja hintaan. (Ruuskanen, 2014; Rantala, 2023; Luonnonsuojeluliitto, n.d.). Korvaaville kuivikemateriaaleille on siis tarve. Turpeen kuivikekäyttö on ilmastovaikutuksiltaan rinnastettavissa sen polttoon. Suomen ympäristökeskuksen raportin mukaan (Lehtoranta ym., 2021) korvaavien kuivikemateriaalien prosessointi ja kuljettaminen on osoittautunut kokonaisvaikutuksiltaan hyvin pieneksi. Erityisesti erilaisten sivutuotteiden hyödyntäminen kuivikekäyttöön on ilmastovaikutusten kannalta kannattavaa. Tuotteen lisäjalostamisella voidaan parantaa materiaalien soveltuvuutta kuivikkeeksi, varmistaen samalla tuotteen hygieenisyyden sekä sen turvallisen käytön.

Tässä työssä testattiin käytettyä sienialustaa eläinten kuivikkeena possuille, hevosille, lehmille ja laamoille. Lisäksi kuivatettua sienialustaa lähetettiin lemmikkieläinkauppaan testattavaksi hamstereille, hiirille, kanoille, siiroille, tuhatjalkaisille ja käärmeille. Lehmillä kuivikkeen lisäarvona mietittiin sienten mahdollista vaikutusta lehmien utaretulehduksiin (Tiina Ek, Rosendahl tila, henkilökohtainen tiedonanto, 14.3.2023.) Sienialustaa testattiin eläinten kuivikkeeksi sekä kuivatettuna että tuoreena. Kuiviketestissä sienialustasta tutkittiin nesteen imukyvyyn lisäksi, sen ulkonäköä, hajua, käyttömukavuutta, koossapysymistä, pölyävyyttä ja eläinten kiinnostusta uutta kuiviketta kohtaan. Käyttäjiltä kysyttiin myös mahdollista hinta-arvioehdotusta tuotteelle, jos se päätyisi kaupalliseksi tuotteeksi.

7.5.1 Kuivikekoe laamoille

Laama on siisteyttä rakastava eläin. Koko lauma käyttääkin samaa vessapaikkaa, jopa laitimella. Tästä syystä laama oli oivallinen kohde käytetyn sienialustan nesteenimeytys koetta varten. Ensimmäinen kuivikekoe toteutettiin Metsälammen Laamat tilalla, jossa on yhteensä kuusi laamaa. Koe suoritettiin orhilla, sillä ne valitsevat vessapaikan tarkemmin kuin emä tai vasa. Karsinaan rakennettiin erillinen vessapaikka, jossa kuivikkeen päälle

asetettiin ohut kerros olkia (Kuva 21). Kokeessa kaupallinen puupelletti korvattiin käytetyllä siiliorakasalustalla. Normaalikäytössä laamoilla kuluu kuiviketta noin 2 kg/päivä, joka vaihdetaan 3–7 päivän välein.

Kuva 21. Käytetty sienialusta kuiviketestauksessa laamoille.



Kuivikekoe suoritettiin 70x70 cm alueella (Kuva 21), jossa oli käytössä kolme siiliorakas alustaa. Sienialustan päälle ripoteltiin ohut kerros olkea ja naaraslaamojen papanoita (Kuva 21), jolloin orhi on helppo saada tekemään tarpeensa ko. paikkaan. Alkukiinnostuksen jälkeen orhi ei osoittanut suurempaa mielenkiintoa sienialustaa kohtaan, joten kuivikekoetta oli hyvä jatkaa. Sienialusta imi kaikkiaan itseensä reilu kolmasosan nestettä. Se siis toimi hyvänä kuivikkeena korvaten puupelletin.

7.5.2 Kuivikekoe lehmille

Metsätalousyhtymä Rosendahl perhetila on Lohjalla sijaitseva maataloustila, jossa on yhteensä 30 lypsävää lehmää. Yritys on perustettu vuonna 2018. Rosendahl tilalle annettiin kuivattua sienialustaa testattavaksi noin 45 kg. Ennen käyttöönottoa kuivatusta sienialustasta testattiin antimikrobiaalinen vaste maidon antibioottitestillä, jotta varmistetaan antibioottivapaa tuote. Testi ei antanut samaa vastetta kuin antibioottia sisältävä maito, joten tuote todettiin soveltuvaksi kuivikekoekäyttöön. Lehmille annettiin mahdollisuus valita kuivikkeena joko sienipeti tai turve. Lehmät eivät olleet lainkaan kiinnostuneita sienialustasta,

vaan valitsivat itselleen mieluummin turpeen kuivikkeeksi. Täten ei myöskään pystytty testaamaan sienien mahdollisia terveysvaikutuksia lehmien utaretulehduksiin. (Rosendahl tila, Tiina Ek, henkilökohtainen tiedonanto, 29.7.2024)

7.5.3 Kuivikekoe hevosille

Kuiviketta käytetään hevosille noin 1 m³ / päivä / hevonen, jonka kustannukset ovat noin 6000–7000 €/vuosi/hevonen (HAMK, Ilpo Pölönen, yliopettaja, henkilökohtainen tiedonanto 21.8.2024). Käytettyä siiliorakasalustaa lähetettiin kuiviketestaukseen kotieläintilalle Sastamalaan sekä islanninhevostallille Hestbakkiin Lohjalle (Kuva 22). Hevoset eivät juurikaan olleet kiinnostuneita substraatista (kuivattu/tuore), vaikka olivatkin möyhentäneet sitä osittain päivän aikana. Tämä oli välttämätön tieto ennen kuivikekokeen aloitusta, sillä hevosten suolistomikrobit ovat erittäin herkkiä erilaisille ruokinnanmuutoksille. Hestbakissa kuivikekoe järjestettiin hevosten karsinassa siten, että puolet turpeesta korvattiin tuoreella sienialustalla. Kuivikeseos toimi kuivikkeena hyvin, mutta sienialustan imukyky ei ole vastaava turpeen imukykyyn. Imukyky kuitenkin vastasi kaupallisen hampun ja puupurun nesteenpidätyskykyä. Seoksena kuivike toimi erinomaisesti. Testissä käytetty sienialusta koettiin kuivikkeena miellyttävän tuntuiseksi, pölyttömäksi, hajuttomaksi ja valoisaksi (Hestbakki, Satu Vuorio, henkilökohtainen tiedonanto 29.7.2024). Lisäksi kuivikkeeseen imeytyy lannan ja virtsan ravinteita, joten se voi toimia erinomaisena lannoitteena pelloilla jatkokäsittelyssä.

Kuva 22. Kuivatetun sienialustan kuiviketestaus hevosilla.



7.5.4 Kuivikekoe tuhatjalkaisille, siiroille ja käärmeille

Kuivatettua sienialustaa testattiin jrsijätterraariossa hiirille, käärmeille, siiroille ja tuhatjalkaisille. Kuvassa 23 on nähtävissä kuivikekoejärjestely, missä hiirille laitettiin käytettyä sienialustaa laakeaan astiaan, jotta ne mahtuvat kuivikkeeseen päälle kokonaan. Hiiret pitivät kovasti sienialustasta kuivikkeena. Sen sisältämä sienirihmasto kiinnosti niitä myös kovasti, ja hiiret söivätkin heti isoimmat sienipalaset alustasta. Myös puupuru kelpasi ravinnoksi, jossa oli vielä mukana sienirihmaston/viljan jätteitä. Sienialustaa koettiin kuivatettuna pölyävämmäksi kuin kaupallinen hamppu- tai puupurukuivike. Pölyävä kuivike ei ole kovin toivottavaa, erityisesti jos tuotetta joudutaan käsittelemään sisätiloissa

Kuva 23. Sienialustaa kuiviketesti hiirelle. Kuvassa hiiri syö alustasta löytyviä sienen paloja.

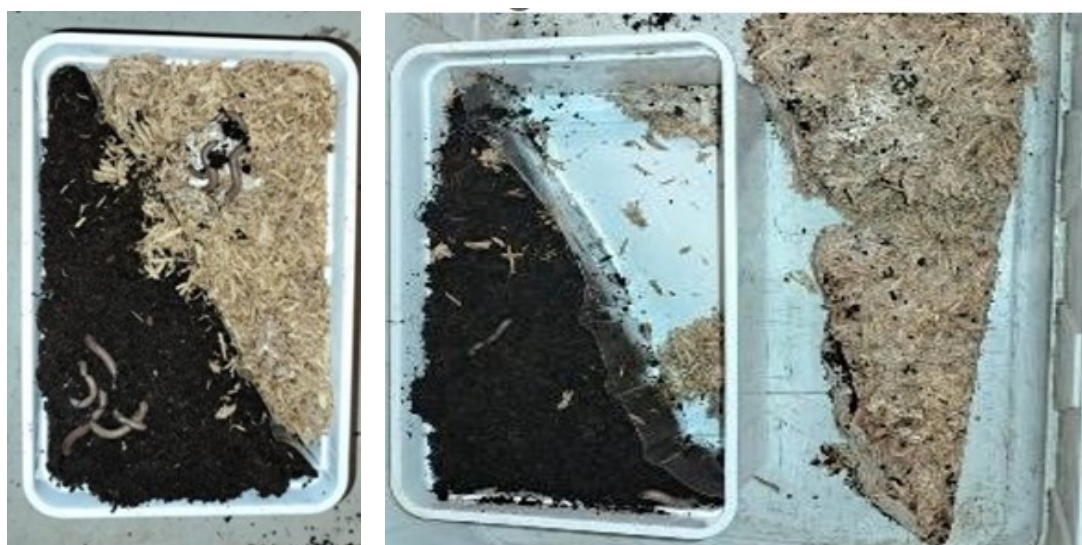


Tuhatjalkaiset ovat niveljalkaisia, joita on tietävästi ollut maailmassa jo yli 400 miljoonaa vuotta sitten. Niitä löytyy maailmalta noin 13 000. Ne elävät kosteassa maaperässä, karikkeen joukossa ja lahopuissa. Tuhatjalkaiset käyttävät ravinnokseen puutarhajätettä ja sienirihmastoja. Siiraja puolestaan löytyy maailmalta noin 4000 siiralajia, joista valtaosa elää vedessä. Siiraja kasvatetaan ravinnoksi sammakkoeläimille (Kuva 25), maanparannukseen bioaktiiviseen terraarioon tai lemmikeiksi. Siirat ja tuhatjalkaiset ovat luonnostaan hajottajia, jotka syövät kaikkea homehtuvaa. Siiralla on kidukset, jonka takia alusta on pidettävä kosteana, sumuttamalla sitä säännöllisesti.

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty kuivikekoe siiroille ja tuhatjalkaisille, jossa alusta jaettiin kahtia. (Joonas Gustafsson, henkilökohtainen tiedonanto, 20.5.2024). Tuhatjalkaisten terraarion kuivikkeena käytetään pääsääntöisesti turvetta, mutta siihen lisäksi sekoitetaan lahoavaa puuta. Toinen vaihtoehto ravintolisäksi tuhatjalkaisille käytetään kaupallista Beetlefix1-

ravintosubstraattia, joka myös sekoitetaan turpeen joukkoon. Tuhatjalkaiset syövät ja hajottavat luonnossa lahoavaa puuta ja homehtuvaa orgaanista materiaalia. Tämän takia sienialusta oli oivallinen kohde kuivikekäytön testaukseen tuhatjalkaisille. Siirat elävät normaalisti turvepohjassa, johon lisätään kasviksia, joka osin homehtuu turpeen sekaan. Kuiviketestissä seurattiin siirtyvätkö ötökät astian toiselle puolelle ja suosivatko selvästi jompaakumpaa kuiviketta. Sekä siirojen että tuhatjalkaisten alustaa kostutettiin päivittäin sumuttamalla, jotta alustan kuivike pysyisi niille tasaisen kosteana. Selkärangattomien terraarion suhteellisen ilmankosteuden tulisi olla noin 75 %.

Kuva 24. Kuivatun sienialustan kuiviketesti tuhatjalkaisille. Kuvissa tummempi kuivike on kaupallinen turve-sammalsekoitus ja vaaleampi testauksessa oleva sienialusta. Viikon kuluttua kaikki tuhatjalkaiset olivat siirtyneet sienialustasta turpeen puolelle, sillä alusta muuttui niille liian kovaksi.



Kuva 25. Käytetyn sienialustan kuiviketesti siiroille ja käärmeelle.



Sienialusta näytti alkuun toimivan hyvänä alustamateriaalina sekä siiroille että tuhatjalkaisille. Viikon kuluttua kuitenkin havaittiin, että kaikki tuhatjalkaiset olivat siirtyneet turvealustan puolelle. Sumuttelun takia sienirihmasto alkoi kasvaa alustalla ja sitoi samalla materiaalin erittäin tiiviiksi. Kovettunut substraatti oli sen verran tiivis, että tuhatjalkaisten sekä siirujen oli mahdoton enää kaivautua siihen. Siiroille kovettunut sienialusta ei sopinut sellaisenaan lainkaan. Kaikki testikäytön siirat olivat kuolleet viikon kuluttua testin aloittamisesta.

Turpeen sekaan sekoitettuna, murennettu sienialusta toimi kuitenkin erinomaisena alustaseoksena tuhatjalkaisille. Sienialusta voisi hyvin toimia myös siiroille turpeen joukkoon sekoitettuna, jolloin alusta muistuttaisi enemmän luonnon maaperää. Koostumuksensa puolesta materiaali on oivallinen lisä kaupallisen turvealustan joukkoon.

Käärmeillä on normaalisti terraarion pohjalla hiekan, turpeen ja lehtipuuhakkeen seosta. Pohjamateriaalitestissä käärmille laitettiin terraarioon testiastia, joka oli täynnä kuivatettua, murennettua sienialustaa (Kuva 25). Kuivikekoe testattiin siankärsäkäärmeellä. Siankärsäkäärme on lajina sellainen, joka voi itse kaivautua alustan pohjaan tai hakeutua piilopaikan alle. Käärme ei osoittanut mielenkiintoa kokeiltavaan kuivikkeeseen, eikä myöskään kaivautunut materiaalin sekaan. Suurimmaksi ongelmaksi tässä kuivikekokeessa koitui terraarion kosteus, joka homehdutti sienialustan lämpimässä ilmassa nopeasti. Vaikka käärmeterraariot eivät varsinaisesti ole märkiä, pitää niitä satunnaisesti kostuttaa. Lisäksi käärmeet voivat virtsata paikoin pohjan hyvinkin märäksi tai paikallisesti roiskia vettä vesikupistaan. Kosteus siis koitui substraattikuivikkeen lopulliseksi ongelmaksi käärmeterraario kokeilussa.

7.5.5 Kuivikekoe kääpiöhamstereille

Lemmikkitaivas on espoolainen pieneläinkauppa, joka kasvattaa muun muassa hamstereita ja gerbiileja sekä myy ja hoitaa kaneja, marsuja, jyrsijöitä ja matelijoita. Pieneläinkaupassa kuivikkeena käytetään Ruti-Mix turve-rahkasammalseosta tai Mörtti Röpö-haapakuiviketta. (Lemmikkitaivas, Turpeinen, J., keskustelu 27.3.2024). Kuivatettua siilorakas alustaa testattiin kuivikkeeksi kääpiöhamstereille, joille materiaalin sienisattumat maistuivat hyvin. (Kuva 26). Hamstereilla on luontaisesti voimakas kaivamisen tarve. Koska sienialusta sisältää koivupurua, alusta toimi hyvänä kuivikkeena hamstereille, sillä koivu lehtipuuna ei sisällä eläimille haitallisia fenoliyhdisteitä toisin kuin havupuut. Ongelmaksi alustakokeilussa osoittautui kuitenkin kuivan sienialustan pölyäminen. Kuivan tuotteen pölyäminen voi olla

ongelmallinen varsinkin gerbiileille, jotka kaivelevat paljon ja voivat saada allergisia oireita. Pitkäaikaisessa käytössä pöly saattaa olla ongelma myös ihmisten terveydelle.

Kuva 26. Kuivatettua sienialustaa kuiviketestauksessa kääpiöhamsterille. Kuvassa vasemmalla kaupallista kuiviketta, oikealla murskattua, kuivatettua sienialustaa.



Pölyävyytensä takia, käytetty sienialusta todettiin toimivaksi aktiivikuivikkeena, joko normaalikuivikkeen joukossa tai erilliseen kaivelulaatikkoon käytettäväksi. Yrittäjän sanoin: "Kiva tuote, pölyttömänä tämä olisi mahtava." (Lemmikkitaivas, Joana Turpeinen, henkilökohtainen tiedonanti, 27.3.2024)

7.5.6 Kuivike- ja virikekoe kanoille ja possuille

Kanat ovat luonnostaan uteliaita ja oppivia eläimiä. Niille on luontaista kuopiminen, nokkiminen ja kylpeminen alustassa. Kuivatettua sienialustaa annettiin kanoille testaukseen Karja-Lohjalla sijaitsevassa kotieläintilalla. Kanat saivat sienialustaa testattavaksi kanalaan pienessä astiassa. Se kiinnosti alkuun kanoja todella paljon ja useammat kanat kävivätkin sitä nokkimassa useaan kertaan. Uusi tuote voi aiheuttaa jännitystä ja kiinnostusta eläimissä. Tässä testissä kiinnostus ei jatkunut alun jälkeen ja sienialusta jäi ilman suurempaa huomiota. Pitkäaikaisena virikkeenä tuotetta ei nähty kanoille sopivaksi.

Käytettyä sienialustaa testattiin myös Kiven Säästöpossun tilalla, Karkkilassa, possujen virikeleluksi sekä samalla pohdittiin sen mahdollisuutta kuivikekäyttöön. Sikojen hyvinvointia voi parantaa antamalla niille jotain uutta pureskeltavaa ja tongittavaa. Virikkeet vähentävät hännän- ja korvanpurentaa ja parantavat possujen viihtyvyyttä. Kaikilla sioilla on

sisäsyntyinen pureskelun ja tonkimisen tarve, mutta virike materiaalien välillä on suuria eroja. Kiven Säästöpossun possuille annettiin testattavaksi muovista poistettuja kokonaisia sienialusta pötköjä. Possut eivät kuitenkaan olleet sienialustasta juurikaan kiinnostuneita, pahvilaatikot ja sanomalehdet aktivoivat niitä paljon enemmän. Aikaa myöten ne kuitenkin hajottivat myös sienialustat pieneksi muruksi karsinan pohjalle (Kuva 27). Kiven Säästöpossun tilalla tultiin siihen tulokseen, että sienialustaa ei suoraan ole kannattavaa hyödyntää maataloilla tai ainakaan siinä mittakaavassa, että siitä olisi yritykselle hyötyä. Jotta käyttö kuivikkeena olisi järkevää, koettiin että muovin poistamiseen pitäisi löytyä hyvä menetelmä. Muovi on todella paksua ja sitkeää ja se todettiin hankalaksi saada irti alustasta. Muiden maatilatoiden yhteydessä muovin poistaminen sienialustasta koettiin myös liian aikaa vieväksi ja työlääksi. Kuivatettuna käytetty sienialusta voisi kuitenkin sopia myös eläinten kuivikkeeksi, jos menetelmä muovin poistamiseksi ja massan kuivaamiseksi löytyy. Käytetyn sienialustan imukyky on noin puolet turpeen imukyvystä, joten kuivatettuna kuivikekäyttö olisi huomattavasti kannattavampaa.

Kuva 27. Kuivatettua sienialustaa lähetettiin kuivike- ja viriketestaukseen Kiven Säästöpossun tilalle.



7.5.7 Yhteenveto kuivikekokeista

Ennen sienialustan käyttöönottoa tulisi varmistaa ensin eläinten pölyn ja sienten itiöpölyn sietokyky. Erityisen pölyistä materiaalia käsiteltäessä on aina hyvä suojautua hengityssuojaimin. Erityisesti pieneläinten kanssa kuivatettu sienialusta pölysi sen verran, että se koettiin riskialttiiksi käyttää. Isojen eläinten kanssa tätä ongelmaa ei tässä kokeessa esiintynyt, sillä hevosille, lehmille ja laamoille käytetty sienialusta toimi hyvin kuivikkeena ilman kuivattamistakin.

Ilmastokriisin takia, kotieläintilat tarvitsevat kuiviketurpeen tilalle nopeasti uusia, innovatiivisia vaihtoehtoja. Käytetyn sienialustan hyödyntämistä eläinten kuivikkeena on syytä harkita potentiaalisena tuotteena turpeen korvaajana tai sen rinnakkaiskäytössä. Jos käytetyn sienialustan muovinpoistoon saadaan toimiva menetelmä sienisadon korjuun ohessa, löytyy maa- sekä kotieläintiloilla mielenkiintoa yhteistyöhankkeisiin sienialustan hyödyntämisessä.

Taulukkoon 3 on kerätty vertailuhintoja erilaisista kaupallisista kuivikkeista. Käytetyn sienialustan hinta-arvio perustuu kokeelliseen testiin osallistuneiden kotieläintilojen näkemykseen tuotteen toimivuudesta ja käytettävyydestä. Tuotteen hinta-arvioon vaikuttavat sen levitettävyyden, käyttömukavuuden, turvallisuuden, imukyky ja väri. Kuivikemateriaalien käyttökustannusten arviointi on haasteellista, sillä uusien materiaalien markkinat ovat koko ajan kehittymässä ja kuiviketurpeen hintaan on odotettavissa tulevaisuudessa muutoksia.

Taulukko 3. Kaupalliset kuivikkeet verrattuna käytettyyn sienialustaan.

	Käytetty sienialusta	Komposti- ja huussikuivike	Eläinten kuivike
Hinta €/kg	0,25 €/kg *		0,5–0,75 €/kg
Hinta €/L	0,1 €/L *	0,2–0,4 €/L	4,25 €/L **
kosteus	~ 50 %	~ 20 %	0 %
imukyky	~ 50 %	~ 50 %	100 %
pH	4	7,5	3,5–4
koostumus	sienirihmasto +koivupuru+vehnä	havupuun kuori, puukuitu +sammal	turve

*hinta-arvio käyttäjiltä

**Beetlefix1, ravintosubstraatti tuhatjalkaisille

Eläinten kuiviketestissä kiinnitettiin huomiota erityisesti testikuivikkeen maittavuuteen, pölyämiseen, levitettävyyteen, keveyteen, koossa pysymiseen, valumiseen, imukykyyn ja kostuneen kuivikkeen bakteeririskiin. Yleisesti materiaali koettiin valoisaksi, pehmeäksi, miellyttäväksi, tasalaatuiseksi ja helpoksi käsitellä. Se ei maistunut eläimille, mikä oli välttämätön tulos kuivikekäyttöä ajatellen, erityisesti herkkävatsaisten eläinten kohdalla. Täysin luomutuotteena materiaali koettiin myös turvalliseksi käyttää ja se otettiin hyvin vastaan. Tuoreena tuote on pölyämätön, eikä herättänyt eläimissä erityistä kiinnostusta. Alhainen pH esti hyvin bakteerien kasvun ja sitoi täten myös tehokkaasti ammoniakkin.

Tuotteen lopulliseen käyttöön vaikuttavat lisäksi sen taloudellisuus, käytännöllisyys, varastointi, paloriski ja sen jatkokäyttömahdollisuudet.

Sienialustan paino ja käyttöominaisuudet ovat hyvin verrattavissa kaupalliseen kuivikkeeseen, vaikka sen imukyky on vain noin puolet kaupallisesta kuivikkeesta. Koska kuivikkeen tämänhetkinen hinta on edullinen suhteessa sen imukykyyn, laamatilalla ei nähdä suoraa syytä vaihtaa tällä hetkellä muuhun kuivikkeeseen. Jos käytetty sienialusta on mahdollista kuivattaa ja murentaa pienemmäksi silpuksi jo myyntipakkauksessaan, se voisi olla imukyvyltään ja hinnaltaan kilpaileva tuote puupelletin kanssa. Suoraan tällaisena tuotteena sillä ei kuitenkaan nähty kilpailuetua valmistuotteen kanssa. Taulukkoon 4 on koottu käytetyn siiliorakas alustan edut ja haitat eläinten kuivikekäytössä suhteutettuna kaupallisiin tuotteisiin. Vaikka tuote ei vastaa imukyvyltään täysin kaupallista tuotetta, olisivat testikäyttäjät kuitenkin valmiita maksamaan sienialustakuivikkeesta kuivana irtotavarana muovin poiston jälkeen noin 0,25 €/kg, joka tekisi tämän hetken sivuvirroilla noin 100 000 € liikevoittoa yritykselle.

Turpeen saatavuus on kuitenkin vähenemässä lähivuosina, joten sivuvirtojen hyödyntäminen kuivikemateriaalina on kannattavaa. Ilmastönäkökulmasta sivuvirtojen hyödyntäminen on huomattavasti kannattavampaa kuin uuden biomassan tuottaminen, sillä jalostamisen hiilijalanjälki on todennäköisesti pienempi kuin uuden biomassan tuotannosta johtuva.

Taulukko 4. Käytetyn sienisubstraatin edut ja haitat eläinten kuivikekäytössä.

Edut	Haitat
Alhainen pH estää tehokkaasti bakteerien kasvun ja imee ammoniakkin	Kuivatus kestää suhteellisen kauan
Kevyt, hajuton, puhdas, hygieeninen, valoisa, tasalaatuinen ja miellyttävä käsitellä. Pysyy hyvin käsiteltäessä koossa	Kosteana homehtumisriski
Kuivatettuna vastaava imukyky kuin kaupallisilla tuotteilla	Sellaisenaan käytettynä imukyky noin puolet yleisten kuivikkeiden imukyvystä
Sisältää sienirihmastoja ja sienen paloja, jotka voivat toimia samalla ravinnon lähteenä	Muovi hankala ja työläs poistaa maatilalla
Kotimainen kestävä, kierrätettävä, luomutuote	Kuivatettuna paloriski
Imukykyä voi tehokkaasti kasvattaa murskaamalla / kuivaamalla tuotetta	Kuivana tuote pölyävä ja saattaa sisätiloissa olla haitallista pieneläimille ja ihmisille. Mahdollisena riskinä sienen tuottama itiöpöly
Ei maittava hevosille, lehmille, laamoille, possuille	Terraariossa käytettynä saattaa kostuessa tiivistyä liikaa ja kovettua
Lopputuote on kompostoituvaa. Ammoniakin sitojana sopii erinomaisesti lannoitteeksi pelloille.	
Helppo varastoida, kuivatettuna kevyt käsitellä. Muovikääreessä pysyy kompaktissa paketissa	

7.6 Puutarhakate ja maanparannus

Käytettyä, murskattua sienialustaa testattiin myös pihalla ja puutarhoissa katteena estämään rikkaruohojen kasvua sekä säilyttämään maaperän kosteutta. Tehtyjen kokeiden perusteella voi todeta, että käytetty sienialusta toimii erinomaisesti katteena puutarhoissa, pihalla tai avomaalla, sillä siinä ei juuri kasvanut mikään. Tämä johtunee sen alhaisesta pH:sta. Kate kannattaa perustaa kuivahkolle, aurinkoiselle paikalle, jos halutaan varmistaa tuotteen puhtaus sienistä tai muista mikro-organismeista. Sienialustasta tehty kate siistii ja rajaa pihaa, vähentäen samalla maan ja polkujen mutaisuutta. Kate koettiin valoisaksi, hajuttomaksi ja miellyttäväksi käyttää. Puutarhan polut pysyivät hyvin kuivina ja kasvien alustat siisteinä (Kuva 28). Käytössä sienialustakate maatu pikkuhiljaa vapauttaen samalla ravinteita kasveille, marjapensaille ja hedelmille. Käytetty sienialusta sopii katteena erityisen hyvin happaman maan kasveille kuten raparperille.

Kuva 28. Käytetty sienialusta testissä katteena puutarhassa sekä metsäpuutarhassa.



Sienialusta toimii katteen ohessa myös tehokkaana maa-aineksen parantajana. Sienillä on yleisestikin tärkeä rooli terveen maaperän toiminnassa ja puuaines sitoo maahan kosteutta, joka on samalla kasvua tasapainottava tekijä. Lisäarvona huokoisen sienialustan sisältämä puuaines kuohkeuttaa maata. Sienialustan sisältämät puukuidut sitovat vesiliukoisia ravinteita itseensä, jolloin ravinnepestöt veteen pienenevät. Puun sisältämä vaikeasti hajoava ligniini puolestaan muodostaa maan multavuuden. Ravinteet liukenevat maaperään vasta sitten kun puuaines maatuu. Toinen merkittävä etu puupitoisen sienialustan käytössä maanparannuksessa on pieneliöiden lisääntyminen maaperässä. Osittain jo hajotetut puukuidut ja sienten sisältämät ravinteet luovat hyvän elinympäristön pieneliöstölle.

7.7 Kasvatusalusta

Turve on tällä hetkellä eniten käytetty kasvualusta maailmalla. Lähes 90 % ammattiviljelijöistä käyttää kasvualustoina turvepohjaisia alusta-aineita, sillä turpeella on monia hyviä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Se on hapan ja puhdas materiaali, eikä siinä ole viljelykasvien tuholaisia, tauteja tai rikkaruohoja. Turpeen sisältämällä biologisesti aktiivisilla yhdisteillä on todettu olevan myönteinen vaikutus kasvien kasvuun. Turve myös tutkitusti parantaa maan fysikaalisia ominaisuuksia, absorboi ravinteet ja veden kasvin käyttöön. (Turveinfo, 2017). Turve on kuitenkin fossiilinen raaka-aine, joka sitoo paljon hiiltä. Sen kaivaminen turvesoista ei ole ympäristön kannalta kestävä vaihtoehto, joten turpeen tilalle tarvitaan vaihtoehtoisia tuotteita. Jo kerran satoa tuottanutta siilorakasalustaa testattiin maanparannuksessa sekä puutarhalla, että kasvihuoneissa. Hortiherttua on kasvihuoneviljelyssä Lohjalla. Kasvihuoneissa tuotetaan ympärivuotisesti kurkkuja, tomaatteja, ruukkuvihanneksia ja yrttejä. Sienisubstraatteja tarjottiin kasvihuoneviljelyiden maanparannukseen turpeen sekaan, mutta kasvihuoneviljelyt ovat sen verran herkkiä kontaminaatioille, että yritys ei uskaltanut lähteä mukaan sienialusta testaukseen.

Saarelman puutarha Saukkolassa on perheyrittys vuodesta 1953. Puutarhalla testattiin käytettyä sienialustaa turpeen ohessa kasvualustaksi erilaisille yrteille (Kuva 29). Kasvatusalustakokeessa kasvatettiin persiljaa (*Petroselinum crispum*), salaattia (*Lactuca sativa*), raiheinää sekä tomaatteja. Koe suoritettiin kolmella rinnakkaisella kasvatuksella. Vertailuna käytettiin Kekkilän Professional kasvualustaa, joka sisältää rahkaturvetta sekä hiekkaa. Valmiin kasvualustan pH on 5.9, substraatin vastaavasti 4.5.

Kuva 29. Käytettyä siiliorakas alustaa testattiin kasvualustana Saarelman puutarhalla. Kokeessa verrattiin persiljan, salaatin, raiheinän sekä tomaatin kasvua eri sienialusta pitoisuuksilla. Kontrollialustana käytettiin kaupallista rahkaturve kasvatusalustaa.



100 % kaupallinen valmis kasvualusta: rahkaturve+hiekkaseos
75 % valmis kasvualusta + 25 % käytetty sienialusta
50 % valmis kasvualusta + 50 % käytetty sienialusta
25 % valmis kasvualusta + 75 % käytetty sienialusta
100 % käytetty siiliorakas sienialusta

2 vk:n kasvatuksen jälkeen



5 vk:n kasvatuksen jälkeen



Persilja 7 vk:n kasvatuksen jälkeen



Pelkällä siiliorakas kasvatusalustalla ei nähdä mitään kasvua, joka saattaa johtua sen alhaisesta pH:sta. Valmiilla turvealustalla kasvu oli selkeästi paras. Raiheinä kasvoi testissä hyvin myös osittain korvatulla sienialustalla. Persilja kasvoi sienialustalla heikoiten (Kuva 29). Sienialustasta ei ole merkittävää hyötyä yrteille kaupallisen kasvualustan seassa. Raiheinän kasvatuksessa sen sijaan osan turpeesta voisi hyvin korvata sienialustalla. Raiheinää suositellaan käytettäväksi esimerkiksi laitumilla.

Kasvihuonekokeissa todettiin, että sienialustaa voidaan hyödyntää maanparannusaineena kasvatusturpeen ohessa, mutta sellaisenaan sienialusta on kuitenkin liian hapanta ja ravinneköyhää pelkästään kasvihuonekäyttöön. Lisäksi koivupurua sisältävä sienialusta voi syödä maatuessaan kasvualustan typpivarastoja, jos kasvualusta on kovin rajallinen.

7.8 Jatkojalostus käytetylle sienialustalle

Useista sukupuuttoaalloista selvinneet sienirihmastot ovat uskomattoman vahvoja ja sitkeitä rakenteeltaan. Sienissä piilee huima monipuolisuus, joita voidaan käyttää monella eri toimialalla. Osittain hajotettu puukuitu yhdistettynä sienirihmastoon voi luoda useita erilaisia käyttömahdollisuuksia tuotteelle sienten kasvatuksen jälkeen. Jatkojalostamalla, voidaan hyödyntämiskohteiden määrää kasvattaa entisestään.

7.8.1 Biohiili

Biohiilen kysyntä on jatkuvasti kasvussa. Biohiili on monikäyttöinen materiaali, jolla on monia käyttöarvon sovelluksia. Biohiiltä tuotetaan pyrolysoimalla biomassaa. Pyrolyysin avulla voidaan pysyvästi varastoida biomassasta hiilipitoista kiinteää ainetta maaperään. Tuotteena syntyy hiilipitoisia kiinteitä aineita, biohiiltä, pyrolyysinesteitä ja -kaasuja sekä energiaa. Hitaasti hajoava, huokoinen biohiili pidättää maassa kosteuden ja ravinteita, parantaen samalla maaperän hiilensidontaa (Bioenergia, n.d.). Biohiili ei lahoa, maadu tai hapetu. Biohiilellä on myös useita hyvin kiinnostavia hyötykäyttökohteita muun muassa viherrakentamisessa (Riikonen, 2019) sekä kaupunkisuunnittelussa, jossa voidaan hyödyntää biohiilen huokoisuuteen perustuvaa ravinteiden ja veden sitomiskykyä.

Biohiilellä on kyky sitoa haitallisia aineita, joka perustuu sen suureen absorptiokykyyn (Smernik, 2012). Parhaiten biohiili soveltuu erilaisten orgaanisten haitta-aineiden, kuten pestisidien sitomiseen maaperästä (Ahmad, ym., 2014). Biohiiltä voidaan käyttää myös maatalouden kuivikeseoksissa. Kuivikekäytön jälkeen massa voidaan hyödyntää orgaanisena lannoitteena. Pitkäaikaisesti maahan sitomansa alkuaine hiilen kautta biohiilet voivat osaltaan hillitä ilmastonmuutosta. Biohiilet voivat säilyä satoja, jopa tuhansia vuosia. (Elo ym., 2023, s. 10)

Biohiiltä on erityisesti käytetty lannoitevalmisteissa ja maanparannusaineena, sillä se tasapainottaa kasvualusten kosteussuhteita. Sen huokoinen rakenne on erinomainen kiinnittymisalusta maaperän mikrobeille, jotka ovat oleellisia kasvien maaperässä. Kasvualustan sisältämän biohiilen on todettu vaikuttavan myös positiivisesti kasvien tautien vastustuskykyyn (Jaiswal, ym., 2015). Suodatinkäytössä biohiili voi puolestaan puhdistaa maatalouden tai hule- ja valumavesien ravinnepitoisia vesiä, poistaen samalla vedestä kuitumaisia muovijäämiä (Siipola ym., 2019). Biohiili tehostaa lisäksi kompostin palamista ja tekee huussijätteestä hajutonta.

Puupohjaista sienisubstraattia voitaisiin käsitellä pyrolyysin avulla biohiileksi. Käytetty sienialusta sisältää vielä paljon hiilidioksidia, mikä on mahdollista valjastaa biohiilen muodossa takaisin maaperään. Biohiilen valmistuksessa raaka-aineen rakenne säilyy ennallaan, eikä sitä polteta tuhkakksi. Raaka-aineesta haihtuvat nesteet ja kaasut voidaan edelleen hyödyntää jatkoprosessissa energiaksi. Kaikkiaan biohiilen käytöllä on nopeita, pysyviä positiivisia vaikutuksia ilmastoon, maaperän viljavuuteen, luonnon monimuotoisuuteen, vesiensuojeluun sekä ravinteiden kierrätykseen erityisesti kaupunki alueilla.

7.8.2 Bioremediaatio

Sekä sieni että sahanpuru toimivat vedenpuhdistusmateriaaleina. Alustavien Lappeenrannan Yliopistolla tehtyjen tutkimusten mukaan sahanpurulla voidaan poistaa vedestä öljyä ja lääkkeitä. Sahanpurusuodatinta on myös käytetty kunnallisen jäteveden jäännösfosforin poistossa. (Kallioinen, 2020) Sienet puolestaan kykenevät hajottamaan sekä absorboimaan haitallisia kemikaaleja saastuneilta maa-alueilta tai suodattamaan hulevesiä ja erilaisia haitta-aineita vesistöistä. Sienialustassa nämä molemmat materiaalit ovat valmiiksi

yhdistettynä, joten tuote voisi toimia erinomaisena pilaantuneiden vesien tai maaperän puhdistajana.

7.8.3 Biokomposiitti

Sienipohjaisista aineista on mahdollista tehdä loputon määrä erilaisia biohajoavia materiaaleja. Sienikomposiitit ovat yksi esimerkki tässä työssä hyödynnettävistä tuotteista. Ne koostuvat sienirihmastosta ja alustasta, jossa sienirihmasto toimii komposiitissa sidosaineena. Sienestä ja alustasta riippuen, sienikomposiiteista on mahdollista saada hyvin kevyitä, palamattomia, vettä hylkiviä materiaaleja, kuten pakkaukset, akustiikkalevyt, uurnat, arkut, istutusruukut ja kevyet, styroksin kaltaiset eristeet. Etuna biomuoveihin on, etteivät ne kuluta alkuperäisiä raaka-aineita tai luonnonvaroja ruoka tuotannosta, kuten useat muut tärkkelyspohjaiset biomuovit. Sienten komposiitteja voidaan hyödyntää monella eri toimialalla ja niistä voisi löytyä ratkaisuja myös moniin erilaisiin ympäristöhaasteisiin.

7.8.4 Nollakuidun käsittely

Käytetty, jo kerran satoa tuottanut sienialusta, joka sisältää elävää sienirihmastoja sekä osittain hajotettua puuainesta, voitaisiin hyödyntää sahateollisuuden nollakuidun käsittelyssä. Sieni pystyy käyttämään puun rakennusosia kuten selluloosaa ja ligniiniä ravinnokseen. Nollakuitu on selluteollisuuden sivuvirta, joka jää tällä hetkellä hyödyntämättä. Selluteollisuuden jätevedet sisältävät nollakuidun lisäksi ligniiniä, erilaisia orgaanisia sidosaineita, kalsiumkarbonaattia ja raskasmetalleja (Kuokkanen ym., 2008). Ligniinin hajoaminen on yhä suuri ongelma sahateollisuudessa. Sienet pystyvät hajottamaan ligniiniä, joten sienialustan yhdistäminen ligniinipitoisen nollakuidun kanssa voisi lisätä nollakuidun hyödyntämispotentiaalia. Nollakuiduilla voidaan lisätä viljelymaahan orgaanista ainesta ja tuoda täten lisäarvoa maanviljelykseen. Tätä tutkimusta voisi jatkossa kehittää yhteistyössä sahateollisuuden ja eri tutkimuslaitosten kanssa.

8 Sivuvirtojen hyödyntämisehdotukset uutetulle sienibiomassalle

Uutettua sienibiomassaa syntyy ravintolisän valmistuksen sivutuotteena noin 160–400 litraa viikossa. Uutetun sienibiomassan koostumus voi jonkin verran vaihdella riippuen käytetystä sienestä. Sienten kitiinikuori hajoaa ultraääniuutossa, jolloin sivutuotteena ylijäänyt sienimassa saattaisi soveltua monenlaisiin käyttökohteisiin. Säilyvyyden takia sienimassa sisältää 20 % etanolia. Etanoli voidaan haihduttaa tuotteesta ennen lopullista käyttöä. Jatkojalostamalla sienibiomassaa edelleen, tuotteesta voidaan saada erilleen useita arvokkaita jakeita. Tällaisenaan sienibiomassa tuotetta voi hyödyntää maanparannusaineena tai sekoittaen sitä lannoitteen ja turpeen sekaan. Sienibiomassa voidaan myös kompostoida tai hyödyntää esimerkiksi biokomposiitin tai bionahan valmistuksessa.

8.1 Biovärjäys

Sienivärjäyksellä on pitkä historia. Sienten monimuotoisuus ja yksinkertaiset kasvatusmenetelmät innostavat etsimään uusia vaihtoehtoja väriainetuotantoon, teollisesti tuotettujen synteettisten väriaineiden tilalle. Myrkyttömät ja hajoavat biovärit voivat mahdollistaa kestäviä ratkaisuja tekstiileissä, pakkauksissa ja erilaisissa pinnoitteissa. Sieniä on hyödynnetty muun muassa kuitujen esikäsittelyssä ja viimeistelyssä (Chatha ym., 2011).

Lankojen lisäksi sienivärjäystä on testattu myös muihin materiaaleihin kuten luuhun, sarveen, nahkaan ja puuhun. (Hammar & Penkkimäki, 2017). Sienistä saatavien väriaineiden tutkimus ja niiden erilaiset tekstiilisovellukset ovat taas lisääntynyt viime vuosina. Vuonna 2019 alkaneessa BioColour tutkimuksessa (Räisänen, 2020) on ollut tarkoituksena kehittää uusia menetelmiä luonnon väriaineiden tuotantoon ja karakterisoida uusia biohajoavia ja myrkyttömiä luonnon väriaineita, joita voitaisiin soveltaa tekstiileissä, pakkauksissa ja pinnoitteissa. Sivuvirtana muodostuvan, kirkkaan oranssin punaloisikan käytettyä sienialustaa sekä uutettua sienibiomassaa voitaisiin hyödyntää biovärjäyksessä edistäen kierto- ja biotalouden toteutumista.

8.2 Sieninahka

Vaateala on yksi epäekologisimmista ja epäeettisimmistä aloista, jonka takia uusia kestäviä ratkaisuja on löydettävä lisää. Vaateteollisuus onkin ottanut suuria harppauksia eteenpäin, ja nykyään eläinperäisen nahan kaltaisia materiaaleja voidaan valmistaa esimerkiksi uusiokäytetystä muovista ja luonnonmukaisesta korkista tai sienirihmastosta. Eläinnahkojen käsittelyssä kuluu paljon kemikaaleja ja vettä, lisäksi eläinten kasvatusprosessi tuottaa huomattavan määrän kasvihuonepäästöjä. Sieninahka nähdäänkin hyvänä vaihtoehtona sekä eläinperäiselle että synteettiselle nahalle. Sieninahka on vegaaninen, kevyt, myrkytön, hengittävä, vedenpitävä ja sen kasvatus vie vähän tilaa. Bioteknologia yritys Life Cykel on kehittänyt menetelmiä sieninahan tuottamiseen sokeriruon kasvatuksen sivuvirroista (Crow, 2019). Edellä mainituista tuotteista on jo valmistettu lompakoita, hattuja, kenkiä ja laukkuja (McCartney, 2021). Vaateteollisuus ei ole ainoa ala, missä sieninahkaa voitaisiin hyödyntää. Muita mahdollisia käyttökohteita voisi olla autojen ja lentokoneiden penkit tai huonekalujen verhoilu. Sieninahkaa materiaalina on tutkittu myös VTT:llä, jossa sen soveltuvuutta on mietitty erilaisiin asusteisiin, jalkineisiin ja vaatteisiin soveltuvaksi. Tutkimuksessa on parannettu muun muassa sieninahan vetolujuutta ja kulutuskestävyyttä. (VTT, 2021)

8.3 Sienestä eristetyt komponentit

8.3.1 Kitiini ja sen hajoamistuotteet

Kitosaanin maailmanmarkkinat kasvavat nopeasti, jolloin myös kitiinipitoiselle biomateriaalille voi olla tulevaisuudessa kysyntää. Useat kotimaiset kosmetiikan valmistajat ovat kiinnostuneita hyödyntämään kotimaisia raaka-aineita kuten sieniä ja niiden erilaisia prosessien sivuvirtoja. Kitosaania valmistetaan tällä hetkellä pääasiassa vain Aasiassa ja Yhdysvalloissa, ja se on lähes aina eläinperäistä. Sienten soluseinä sisältää kitiiniä, joka on lupaava vaihtoehto korvaamaan fossiilisia raaka-aineita. Kitiini ja sen johdannaiset vapautuvat ravintolisän valmistusprosessin ultraääniuutossa, jossa korkeataajuiset ääniaallot hajottavat sienten soluseinät ja vapauttavat samalla bioaktiiviset yhdisteet. Kitiinin tärkeintä johdannaista kitosaania, saadaan deasetyloimalla kitiiniä, jota hyödynnetään monissa teollisuuden eri sovelluksissa, kuten elintarvike- ja kosmetiikkateollisuudessa, kasvinsuojelussa, lannoitteissa, jätevesien käsittelyssä, ravintolisissä ja lääketieteessä. (Törmälä, 2003)

Maatalouden ympäristövaikutusten vähentämiseksi on oleellista vähentää lannoitteiden ja pestisidien käyttöä. Useat tutkimukset osoittavat, että kitiinipohjaiset aineet vähentävät torjunta-aineiden käyttöä. On raportoitu, että kitosaani pohjainen lannoite antaa paremman kasvun sekä sadon synteettisiin lannoitteisiin verrattuna (Kosamo, 2021, s. 4). On myös tutkittu, että kitiinipohjaiset käsittelyt vahvistavat kasvien kasvua, lisäävät sen ravinto-ominaisuuksia ja parantavat vastustuskykyä erilaisia taudinaiheuttajia vastaan, jolloin maataloudessa pestisidien käyttöä voitaisiin vähentää. (Kosamo, 2021) Kitiinillä on myös todettu olevan positiivisia vaikutuksia hyödyllisten mikrobien kasvuun ja aktiivisuuteen. Eräässä tutkimuksessa huomattiin, että kitosaanikäsiteltyjen tomaattien kasvu ja vastustuskyky tomaattimosaiikkivirukselle parani. (Jail ym., 2014)

Lannoitteiden lisäksi kirjallisuudessa on todettu, että kitosaanilla ja kitiinillä on kipua lievittäviä vaikutuksia. Lääketieteellisissä sovelluksissa kitiiniä onkin hyödynnetty muun muassa haavasiteissä, kirurgisen langan valmistuksessa, palovammoissa, silmäsairauksissa ja laihdutusaineena. (Siltavirta, 2017) Lisäksi kitosaa käytetään ravintolisänä, biohajoavan muovin valmistuksessa, elintarvikelisiä aineena sekä paperinvalmistuksessa. Kitosaa on myös tutkimusten mukaan käytetty absorbenttina raskasmetallien absorptioon jätevesistä. (Weibplog ym., 2020). Alustasta eristetty sienirihmasto tai prosessin sivutuotteena ylijäänyt sienibiomassa saattaakin olla arvokas lähde kitosaanin tuotantoon, jota voidaan edelleen jatkojalostaa kosmetiikkateollisuudessa tai orgaanisena lannoitteena.

8.3.2 Sieniproteiini

Valtaosa ruuan ympäristövaikutuksista syntyy kasvien ja eläinten kasvatuksesta, mutta ympäristölle erityisen kuormittavaa on eläinperäisen ruuan tuotanto. Tämän takia on tärkeää lisätä ruokavalioon kasviksia, juureksia, marjoja, hedelmiä ja sieniä. Sieniproteiini on erinomainen proteiininlähde lihan korvaamiseen. Siinä on mieto maku ja hyvä rakenne erityisesti vaihtoehtotuotteeksi broilerille. Sienirihmaston mykoproteiini on ravinteikas proteiinin ja kuidun lähde. Siitä voidaan valmistaa erilaisia ruokatuotteita, kuten makkaroita tai pihvejä. (Mäki-Petäjä, 2023) Rihmaston sieniproteiinilla on monia hyviä ominaisuuksia ja niiden aminohappokoostumus ja ravintoarvo ovat hyviä. Ehkä tunnetuin sieniproteiinivalmiste markkinoilla on Quorn, joka kehitettiin 1965 Britanniassa. Sieniproteiinia alettiin kehittää lihan korvikkeeksi ja proteiinin lähteeksi, jolla on lihan makua ja rakennetta jäljittelevä ominaisuus. Sienijalostus prosessissa ylijäänyt sienibiomassa on hyvin ravintorikas tuote, joka sisältää runsaasti arvokasta sieniproteiinia. Toisaalta myös

sienirihmaston eristäminen käytetystä sienialusta ja sen hyödyntäminen elintarvikkeena tai rehuna voisi olla yksi hypoteettinen näkökulma sienialustan hyödyntämiseen.

Suomalainen bioteknologia-alan startup Enifer Bio hyödyntää prosessissaan teollisuuden sivuvirtoja, kuten maidon ylijäämä laktoosia sieni- eli mykoproteiini jauheeksi. Sieniproteiinia voidaan hyödyntää rehun tai ruuan ainesosana monissa eri tuotteissa. (Enifer Bio, n.d.). Kääpä Biotech:n jalostusprosessin sivuvirtana muodostuvaa mykoproteiini biomassaa voitaisiin hyödyntää mitä erilaisimmissa fermentointiprosessien raaka-aineena, kuten uusien elintarviketeollisuuden tuotteina. Sivuvirtana ylijäänyt biomassa sisältää vielä runsaasti arvokasta sieniproteiinia ja on puhdas luomutuote.

8.4 Uudet materiaalit jatkojalostuksessa

Sienet ovat vuosisatojen saatossa kehittäneet itselleen erilaisia keinoja parantaakseen kestävyytään. Eri sienten rakenteelliset koostumukset ja biokemialliset toimintaperiaatteet tuovat erilaisia uusia mahdollisuuksia materiaalikehitykseen. Materiaaliltaan sienet ovat kevyitä, mutta vahvoja. Sienibiomassasta on mahdollista valmistaa ultrakevyitä teknisiä rakenteita tai nanokomposiitteja, joilla on paremmat mekaaniset ominaisuudet. Mahdollisia sovellusalueita voisivat olla iskunkestävät implantit, urheiluvälineet, vartalosuojat, lentokoneiden kuorirakenteet, elektroniikka tai erilaiset pinnoitteet. Muita mielenkiintoisia jatkotutkimuskohteita käytetylle sienialustalle voisi olla akustiikkalevyt, pakkausmateriaalit, eristelevyt styroksin korvaajana ja erilaiset biohajoavat istutuspurkit tai arkut. Myös täysin uudenlaisten materiaalien valmistus bioteknisin keinoin, esimerkiksi käyttämällä uusia valmistusreittejä, voi avata materiaalille ennenäkemättömiä sovelluskohteita. Tulevaisuudessa Kääpä Biotech:n funktionaalisista sienistä valmistettu ravintolisä voitaisiin pakata sienikomposiitista valmistettuun biohajoavaan pakkaukseen, joka on valmistettu jalostusprosessin sivuvirroista.

Kääpä Biotech on mukana juuri alkaneessa Business Finland:n rahoittamassa Fantastic Fungi tutkimusprojektissa. Projektissa on tarkoitus analysoida tarkemmin edellä mainittuja sivuvirtoja ja niiden sisältämiä mahdollisia arvokomponentteja sekä niiden hyödyntämismahdollisuuksia. Erottamalla materiaalit toinen toisistaan, voidaan löytää sivuvirroille useampia, erilaisia hyötykäyttömahdollisuuksia.

9 Sienituotannon haasteet sivuvirtojen hyötykäytöstä

9.1 Muovin poistaminen/korvaaminen käytetystä sienialustasta

Sienisubstraattit pakataan tällä hetkellä Mikkolan Sienituotteella suojamuoviin, jotta sienirihmasto pysyisi mahdollisimman steriilinä sekä alustan kosteus optimaalisena koko kasvatuksen ajan. Sivuvirtojen hyötykäytön kannalta käytetyn sienialustan muovi koetaan kuitenkin haasteeksi, sillä sitä ei pystytä hyödyntämään muuten kuin muovinkierrätyksessä tai poltossa. Vaikka muovinkäyttöä paljon kritisoidaan, sillä on kuitenkin myös valtavasti hyviä puolia. Se pitää sienisubstraatin kompaktissa koossa ja puhtaana säilyttäen sienien tarvitseman kosteuden ja ravinteet koko kasvun ajan. Materiaaleista muovi kestää parhaiten autoklavoinnin sekä helpottaa jokapäiväistä sienialustan käsittelyä ja kuljetusta. Muovi myös suojaa sienirihmastoja kasvun aikana ympäristön muilta organismeilta ja erilaisilta kontaminaatioilta. Muovinpoiston automatisointi heti sienien sadonkorjuun jälkeen helpottaisi sivuvirtojen jatkokäyttöä. Muovinpoisto olisi paras tehdä heti sadonkorjuun yhteydessä. Jonkinlainen ”mankeli” tai ”riipijä” voisi tehdä viillot molemmin puolin sienipötkelöä, jolloin muovin voisi helposti kuoria irti itse sienialustasta. Toinen vaihtoehto voisi olla muovin korvaaminen biohajoavalla muovilla tai sieni-/leväkalvolla. Muovin poisto todettiin kuitenkin parhaimmaksi vaihtoehdoksi, sillä biomuovi ei ole laadullisesti yhtä kestävä. Lisäksi biomuovi ei ehdi hajota ennen sienialustan uusiokäyttöä. Muovin korvaaminen biohajoavalla muovilla ei osoittautunut tässä työssä varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Tulevaisuuden visiona onkin löytää tarpeeksi vahva, kuitenkin nopeasti biohajoava materiaali, joka kestää tuotteen steriloinnin, käsittelyn sekä kuljetuksen. Jos muovi saadaan poistettua heti sienisadon keräyksen jälkeen, on sivuvirtana muodostuva käytetty sienialusta vieläkin arvokkaampi tuote. Muovin korvaajaa ja siihen liittyvää tutkimusta olisi syytä jatkaa, sillä se toisi sivuvirralle huomattavaa lisäarvoa.

9.2 Tuotteen käyttövarmuus

Sienimateriaalin mahdollisesti erittämä itiöpöly tai sen sisältämät bioaktiiviset yhdisteet voivat aiheuttaa allergisia reaktioita joillekin ihmisille ja eläimille. On myös varmistuttava siitä, että elävä sienirihmasto ei aktivoidu uudelleen, jos käytettyä sienialustaa hyödynnetään eläinten kuivikkeena tai kasvihuoneviljelmillä katteena. Sienirihmaston leviäminen käytetystä

sienialusta rakenteisiin on todella epätodennäköistä, mutta ennen lopullista tuotteen kaupallistamista on syytä varmistaa rakenteiden tila ja ympäristöolosuhteet.

Keskeistä sivuvirtojen hyödyntämiselle onkin materiaalin teknisten ominaisuuksien tunnistaminen, turvallisuus- ja ympäristövaikutuksien selvittäminen ja näiden tiedostaminen. Jotta sivuvirtoja voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, hyödynnettävä sivutuote on tunnettava mahdollisimman tarkkaan. Tämä opinnäytetyö saa jatkoa Fantastic Fungi tutkimusprojektissa, jossa on tarkoitus analysoida sivufraktioita entistä laajemmin.

9.3 Asenteelliset haasteet

Ennen kaupallistamista on tärkeää luoda toimiva yhteistyöverkosto, olla rohkea, innovatiivinen, kokeilunhaluinen, uskaltaa rikkoa toimiala rajoja, muodostaa avointa toimintakulttuuria ja luoda yhteistyöverkostoja eri toimijoiden ja toimialojen kanssa.

Uudet materiaalit, tuotteet ja niiden käyttö, erityisesti sivuvirtoina muodostuessa, saattavat aiheuttaa vääränlaisia mielikuvia, epätietoisuutta ja jopa pelkoja käyttäjissä. Sivuvirtojen luokittelu jätteeksi rajoittaa ja hidastaa käyttöä, vaikka se olisi ympäristö- ja teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltaista kuin alkuperäinen materiaali. Se luo myös helposti negatiivisia mielikuvia haitallisesta materiaalista, joka johtaa käytön rajoitteisiin ja hidasteisiin.

Opinnäytetyötä tehdessä havaittiin selkeää epävarmuutta viranomaisohjeistuksien kohdalta. Myös varovaisuus uuden tuotteen testaamisessa oli nähtävissä useaan otteeseen. Erityisesti luomusäädösten tulkinta, tuotteen käyttöturvallisuus ja niistä aiheutuvat mahdolliset seuraamukset arveluttivat kokeiluissa useampaa pienyrittäjää. Kierrätyslannoitteita koskeva lainsäädäntö aiheutti puolestaan epävarmuutta maatalousyrittäjissä. Lainsäädännön rajoitteet ja niiden epämääräinen tulkinta voivatkin vaikuttaa merkittävästikin uusioraaka-aine markkinoihin. Lainsäädäntö ja erilaiset viranomais määräykset ohjaavatkin uusiomateriaalien käyttöä ja niihin on hyvä tutustua jo hyvissä ajoin ennen tuotteen lopullista kaupallistamista. EU:n jätelainsäädännön (EU:n jätehuoltolaki, 2022) keskeisenä tavoitteena on yleisesti vähentää jätteen määrää ja lisätä sen uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Uudistetun jätedirektiivin mukaan yhdyskuntajätteestä tulee kierrättää 55 % vuonna 2025, 60 % vuonna 2030 ja 65 % vuonna 2035. Lisäksi biojätteen erilliskeräysvaatimus laajentuu vuoden 2024

aikana. Haasteista huolimatta tällä sektorilla ei kuitenkaan ole varaa jättää kiertotaloutta kehittämättä. Kierrättäminen ja sivuvirtojen hyötykäyttö koettiin yleisellä tasolla hyvin positiivisena ja innostavana asiana.

10 Johtopäätökset

Kestävän prosessikehityksen merkitys korostuu yritystoiminnan kasvaessa. Sienisadon parantaminen nousi yhdeksi työn tärkeimmäksi prosessikehityksen näkökulmaksi. Jäännösfraktioiden syntymistä voitaisiin ehkäistä tehokkaasti siirtymällä siiliorakkaan nesteviljelyyn bioreaktorissa, missä kasvatusolosuhteet ovat yleisesti paremmin hallittavissa, tuotto on tasaisempaa ja kontaminaatioriski vähäinen. Sienimyseelin nesteviljelyllä on mahdollista korvata jalostusprosessissa useampi tuotantovaihe, jolla saataisiin lyhennettyä kokonaisprosessiaikaa lähes kolmasosalla.

Sieniviljelyn ulkoistamisella, voidaan myös parantaa yrityksen resurssitehokkuutta ja edesauttaa syntyvien sivuvirtojen keskittämistä. Sivuvirtojen hyödyntäminen jo syntypaikalla on ympäristövaikutuksiltaan tehokas ratkaisu materiaalin hyödyntämiselle. Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan siiliorakkaan sekä punaloisikan kasvatus tullaan siirtämään Mikkolan Sienituote Oy:lle, jolloin syntyvien sivuvirtojen hallintaa ja niiden hyötykäyttöä voidaan samalla tehostaa. Sienisadon parantamisen lisäksi, keskeinen prosessikehitysehdotus sivufraktioiden vähentämiseksi on suodatuksen tehostaminen tinktuuran valmistuksessa. Suodatuksen saanto on tällä hetkellä vain noin 25 %. Tärinämyllyn vaihto dekantterisentrifugiin vähentäisi oleellisesti sivuvirran määrää, tehostaen samalla saantoa.

Käytetylle sienialustalle innovoitiin opinnäytetyössä useita hyödyntämisratkaisuja sieniviljelyn jälkeen. Kerran käytetty kasvualusta on yritykselle vielä hyödyntämätön resurssi, jota muodostuu noin 400 000 kg vuodessa. Materiaalia on mahdollista hyödyntää joko sellaisenaan tai jatkojalostaa arvokomponenteiksi. Käytetty sienisalista osoittautui sellaisenaan hyödynnettäväksi kompostikuivikkeena, puutarhakatteena, eläinten kuivikkeena, maanparannusaineena tai jatkojalostamalla sitä voidaan hyötykäyttää esimerkiksi kaupunkien hulevesien puhdistuksessa tai biohiilen valmistuksessa.

Kompostikuivikkeena tuote toimi erinomaisesti. Osittain hajonnut puupuru piti kompostin riittävän kuohkeana ja sienirihmasto toimi tehokkaana karkean aineksen hajottajana. Tuote

on kevyt, tasalaatuinen ja helppo käsitellä. Imukykynsä puolesta sienialusta vastasi kaupallista komposti- ja huussikuiviketta, mutta sienirihmaston ansiosta se antaa uutta lisäarvoa tuotteelle. Käytettyä sienialustaa testattiin muovin poiston jälkeen myös eläinten kuivike- ja pohjamateriaalina. Kuivikekokeissa kävi ilmi, että käytetty, tuore siilorakasalusta toimi potentiaalisena kuivikkeena useille maatilan eläimille, kuten hevosille, possuille ja laamoille. Tuoreen, käytetyn sienialustan imukyky oli noin puolet kuivikepelletin imukyvystä. Kuivatettuna se kuitenkin vastasi lähes täysin kaupallisen kuivikkeen nesteepidätyskykyä. Sienialustan imukykyä on mahdollista tehostaa esimerkiksi koneellisesti silppuamalla, jolloin tuotteen pinta-alaa saadaan kasvatettua entisestään. Lopputuote on hyvin kompostoituva ja sen sisältämä ammoniakki parantaa kompostin pieneliöiden lisääntymistä, nopeuttaen kompostin käymistä.

Kuivatettuna käytettyä sienialustaa testattiin terraarioissa jyrsijöille, käärmeille, siiroille ja tuhatjalkaisille. Kuivatettu tuote aiheutti kuitenkin käytössä jonkin verran pölyä, joten sisätiloissa materiaali saattaa pidemmällä aikavälillä aiheuttaa allergisia oireita sekä ihmisille että eläimille. Turpeen seassa se toimi kuitenkin hyvänä pohjamateriaalina ja osoittautui oivalliseksi aktiivikuivikkeeksi jyrsijöille. Siirojen ja tuhatjalkaisten pohjamateriaalina se todettiin erinomaiseksi vaihtoehdoksi turpeen lisänä, sillä tuote sisältää niille samalla ravinnonlähteen. Kaikkiaan käytetty sienialusta koettiin vartenotettavana vaihtoehtona kaupallisille kuivikkeille, joko sellaisenaan käytettäväksi tai seoksena. Tuote on kotimainen luomutuote, joka on hajuton, puhdas, hygieeninen ja valoisa käytössä. Sitä oli helppo käyttää ja se pysyi hyvin kasassa käsiteltäessä. Hieman happamana materiaalina se lisäksi estää bakteerien kasvua ja sitoo ammoniakkia. Kuivikekokeessa käytetystä siilorakasalustasta oltiin valmiita maksamaan kuivana irtotavarana muovin poiston jälkeen noin 0,25 €/kg, joka tekisi tämän hetken sivuvirroilla yritykselle lähes 100 000 € liikevoittoa vuodessa. Kaupallinen ratkaisu kuitenkin edellyttää muovikäteen poistamista sienialustasta, ennen tuotteen lopullista uusiokäyttöä.

Sienialustaa testattiin myös kasvihuoneessa eri pitoisuuksissa, yrttien kasvualustana. Sellaisenaan käytettäväksi tuote osoittautui liian happamaksi ja ravinneköyhäksi kasvualustaksi. Materiaali toimi kuitenkin erinomaisena katteena pensaiden ja puiden juurilla, poluilla ja pihojen reunustoilla. Parhaiten se toimi puutarhassa happaman maan kasveille, estäen samalla rikkakasvien kasvun. Puhtaana luomutuotteena se ei myöskään sisällä viljelykasvien tuholaisia, tauteja tai rikkakasvin siemeniä. Tuotetta voidaankin pitää poikkeuksellisen maanparannusaineena juuri sen happamuuden, puhtauden, huokoisuuden sekä sen sisältämän elävän sienirihmaston takia. Käytettyä sienialustaa voidaan käyttää

katteena sekä maanparannuksessa sellaisenaan tai sitä voidaan kalkita tai kompostoida ennen varsinaista käyttöä. Maanparannuksen lisäksi käytettyä sienialustaa voidaan hyötykäyttää viherrakentamisessa tai maisemanhoidossa, jolla ylläpidetään hyvää maisemakuvaa ja hoidetaan elinympäristöä.

Opinnäytetyötä tehdessä ilmeni, että epäselvät viranomaismääräykset, liian tiukat säädökset ja lainsäädännön tulkinta sivuvirtojen hyötykäytöstä saattavat aiheuttaa ennakkoluuloja ja jopa pelkoja sivuvirtojen hyödyntämisessä. Epäilyistä huolimatta työssä osoitettiin sienipitoisen materiaalin olevan ympäristöominaisuuksiltaan erittäin arvokas, kestävä sivuvirta ja lupaava tuote monenlaiseen hyödyntämiseen. Sienialustan sisältämän, jo osittain hajonneen, puun tekniset ominaisuudet muuttuvat sienirihmaston ansiosta, joka voi tulevaisuudessa avata täysin uusia, mielenkiintoisia hyötykäyttömahdollisuuksia.

Työssä innovoitiin sivuvirroille myös erilaisia jatkojalostuskäyttökohteita, kuten sieninahka ja biokomposiitti. Lisäksi käytettyä sienialustaa voitaisiin soveltaa bioremediaatiossa, biovärjäyksessä tai nollakuidun käsittelyssä. Mykoremediaatiossa sienialustan puuainesta sekä sen sisältämää elävää sienirihmasto voitaisiin hyödyntää pilaantuneen maaperän tai jäte- ja hulevesien puhdistuksessa. Edelleen jatkojalostamalla sienialustaa, on mahdollista tuottaa biohiiltä tai eristää sienirihmasto mitä moninaisimpiin tekstiili- kosmetiikka tai pakkausteollisuuden sovelluksiin. Erittäin mielenkiintoinen jatkotutkimuskohde on myös sienen soluseinämän sisältämä kitiini. Jatkojalostuksen sovelluskohteita kitiinille ja sen johdannaisille on monia. Näistä mainittakoon lannoite-, elintarvike- ja kosmetiikkateollisuus, kasvinsuojelu, jätevesien käsittely ja lääketiede.

Erilaisin bioteknisin keinoin sivuvirroista on myös mahdollisuus eristää täysin uusia, mielenkiintoisia arvokomponentteja. Esimerkkeinä korkean jalostusarvon sovelluskohteista voisi olla erilaiset akustiikkalevyt, eristelevyt, styroksin korvaajat, pakkausmateriaalit, istutuspurkit ja nanokomposiitit. Opinnäytetyön aihe jatkuu Business Finlandin rahoittamassa Fantastic Fungi tutkimusprojektissa, jossa Kääpä Biotech on yhtenä yrityspartnerina mukana.

Jälkisanat

Lämmin kiitos vielä kaikille yhteistyöpartnereille. Opinnäytetyössäni olen päässyt sukeltamaan uskomattomaan sienimaailmaan, tavannut upeita ihmisiä ja mielenkiintoisia toimialoja. Teidän ansiostanne työstä tuli entistä monipuolisempi ja opintomatkastani ikimuistoinen!

Kääpä Biotech Oy: Eric, Susanna, Heikki, Eva ja Mikaela

Mikkolan Sienituote MST Oy, Juha

HAMK: Tuija, Ilpo, Virpi ja Sanna

Metsälammen laamat, Pia

Saareلمان puutarha, Tommi ja Micke

Merja Aarnio

Joonas Gustafsson

Lemmikkitaivas, Joana

Kiven Säästöpossu, Reetta

Hestbakki, Satu

Maatalousyhtymä Rosendahl, Tiina

Fatalii Gourmet Oy, Jukka

Marja Savolainen



Lähteet

Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., OkVithanage, M., Lee, S. S., Ok, Y. S. (2014). *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water*. Chemosphere, 99, ss.19-33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>

Agarwal, S. & Fulgoni, V. (2021). *Nutritional impact of adding a serving of mushrooms to USDA Food Patterns – a dietary modeling analysis*. Food and Nutrition research. 65: 10.29219.

Agro & Chemistry platform (n.d.). *About Biobased business in a circular world*. 30.3.2022 haettu osoitteesta <https://www.agro-chemistry.com/news/chitosan-from-waste-streams-opportunity-for-mushroom-growers/>

Alasuutari, S. (2014). *Kuivitus osaksi kannattavaa lypsykarjataloutta*. Tutkimushankkeen loppuraportti.

Biolan. (n.d.). *kompostointi-opas*. 5.8.2024 haettu osoitteesta. <https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi-opas>

Bolt Threads. (n.d.). 12.4.2024 haettu osoitteesta <https://boltthreads.com>

Bustillos, J., Loganathan, A., Agrawal, R., Gonzalez, B. A., Gonzalez Perez, M., Ramaswamy, S., Boesl, B. & Agarwal, A. (2020). *Uncovering the Mechanical, Thermal, and Chemical Characteristics of Biodegradable Mushroom Leather with Intrinsic Antifungal and Antibacterial Properties*. ACS Applied Bio Materials. Vol. 3, No. 5. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsabm.0c00164>.

Catha, S. A., Ali, S., Asgher, M., Bhatti, H. N. (2011). *Investigation of the potential of microbial stripping of dye cotton fabric using white rot fungi*. Textile Research Journal, 81(17), 1762-1771. <https://doi.org/10.1177/0040517511411973>

Chihara, G. (1993). *Medical aspects of lentinan isolated from *Lentinus edodes* (berk) sing*. In: Chang, S. T., Buswell, J. A. & Chin, S. W. eds. *Mushroom biology and mushroom products*. Hong Kong; The Chinese University Press, 261.

Choi, W. S., Kim, Y. S., Park, B. S., Kim, J. E., Lee, S. E. (2013). *Hypolipidaemic Effect of *Herichium erinaceum* Grown in *Artemisia capillaris* on Obese Rats*. Mycobiology. 41(2). 94-99. <https://doi.org/10.1007/s12268-013-9499-9>
[Hypolipidaemic Effect of *Herichium erinaceum* Grown in *Artemisia capillaris* on Obese Rats: Mycobiology: Vol 41, No 2 \(tandfonline.com\)](https://doi.org/10.1007/s12268-013-9499-9)

Cochran K. W., Nishikawa, T., Beneke, E. S. (1966). *Botanical sources of influenza inhibitors*. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 6, 515-520.

Crow, T. (2019). *Mushroom leather could be the key to sustainable fashion*. Physorg.

[Mushroom leather could be the key to sustainable fashion \(phys.org\)](#)

Dadachova, E., Casadevall, A. (2008). *Ionizing radiation: how fungi cope, adapt and exploit with the help of melanin*. Current Opinion in Microbiology, 11(6), 525-531.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369527408001306?via%3Dihub>

Elintarviketurvallisuussertifikaatti, FSSC22000. <https://www.dnv.fi/services/fssc-22000elintarviketurvallisuusjarjestelman-sertifiointi-5161>

Elo, A., Hagner, M., Kainulainen, A., Kuoppamäki, K., Laulumaa, P., Männistö, A., Nuotio, A-K., Riikonen, A., Salo, E., Tammeorg, P., Tiilikkala, K. (2023). *Biohiiliopas viher- ja ympäristösuunnitteluun, -rakentamiseen ja kunnossapitoon*. Viherympäristöliiton julkaisu 73.

Elsacker, E., Peeters, E. & De Laet, L. (2019). *Mycelium-based materials at the dawn of the Anthropocene*. Kirjassa: Structures and Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders (ss. 103-1090). <https://www.researchgate.net/publication/334422720>

EniferBio. Pääomasijoittajat. 19.4.2023 haettu osoitteesta

<https://paaomasijoittajat.fi/ajankohtaista/uutiset/17184/eniferbio-kerasi-11-miljoonaa-euroa-tuodakseen-ymparistoystavallisen-sieniproteiinin-globaaleille-ruoka-ja-rehumarkkinoille/>

Ernvall, O. (2014). *Filter helps recover 80% of gold in mobile phone scrap*.

[Filter developed by VTT helps recover 80% of gold in mobile phone scrap - green guy, green living, electric vehicle consultants, Companies, Car Expert, Electric Car News, New York, California, Florida, Missouri, Texas, Nevada \(greenlivingguy.com\)](#)

EU:n jätehuoltolaki. 2022. [EU:n jätehuoltolaki | EUR-Lex](#)

European parliament. (2020). *The impact of textile production and waste on the environment*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics>

Fukushima, M., Ohashi, T., Fujiwara, Y., Sonoyama, K., Nakano, M. (2021), Cholesterol-lowering effects of maitake (*Grifola frondosa*) fiber, shiitake (*Lentinus edodes*) fiber, and enokitake (*Flammulina velutipes*) fiber in rats. Biol Med (Maywood). Sep;226(8):758-65.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11520942/>

Halmetoja, J. (2014). *Pakurikäpää – opas lääkinnällisten sienten maailmaan*. Mividata Oy, 1 painos.

Hammar, L. & Penkkimäki, P. (2017). *Uusia sienivärjäyskokeiluja*. Sienilehti 1/2017. Suomen sieniseura.

Helsieni, kotisivut. (n.d.). 5.8.2024 haettu osoitteesta [Rihmasto sienipetiin NOUTO HELSINKI / substrate PICKUP HELSINKI — Helsieni Online Store \(holvi.com\)](#)

Inkinen, J. (24.8.2020). Sivuvirroista liiketoimintaa? – Kaupungit vauhdittavat biokiertoaloutta yhdessä yritysten kanssa. *Biotalous*. [Sivuvirroista liiketoimintaa? – Kaupungit vauhdittavat biokiertoaloutta yhdessä yritysten kanssa - Biotalous - Bioeconomy](#)

Issakainen, J. (2016). *Herkkuruokaa puusta*. Turun ammattikorkeakouluraportti.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/817868/isbn9789522165794.pdf?sequence=2>

Jail, N. G, de, Luiz, C., Rocha Neto, A. C., da, Di Piero, R. M. (2014). *High-density chitosan reduces the severity of bacterial spot and activates the defense mechanisms of tomato plants*. Tropical Plant Pathology, 39(6). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, Brazil. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000600003>

Jaiswal, A., Frenkel, O., Elad, Y., Lew, B., Graber, E. (2015). *Non-monotonic influence of biochar dose on bean seedling growth and susceptibility to rhizoctonia solani: the “shifted R-Effect”*. Plant and Soil, 395(1/2). ss. 125–140. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2331-2>

Jokinen, S. (2023). *Sienien käyttö kosmetiikan raaka-aineena*. Laurea. Opinnäytetyö.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/814094/Jokinen_Sara.pdf?sequence=2

Jätelaki. (2011). L 646/2011.luku 2,§8. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646#L2P8>.

Kaiteki, (n.d.). Mikkolan Sienituote. 5.8.2024 haettu osoitteesta [Kaiteki premium sieni](#)

Kallioinen, M. (27.10.2021). Biotalous. *Sahanpuru, arvokas sivuvirta*. Hankesivusta Purusta Arvoa Suomelle (PURASU). [Sahanpuru – arvokas sivuvirta - Biotalous - Bioeconomy](#)

Khan S., Nadir, S., Shah, Z., Shah, A., Karunarathna, S., Xu, J., Khan A., Munir, S., Hasan, F. (2017). *Biodegradation of polyester polyurethane by Aspergillus tubingensis*. Environmental Pollution (Barking Essex: 1987), 225, 469-480.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117300295>

Keskitalo, P. & Kettunen, R. (2007). *Jätevesilietteiden ravinteiden kierrätyksen strategiasta*. Vesitalous, 48.

Kiertotalous Suomi. Tilannekatsaus. 3.12.2023 haettu osoitteesta

<https://kiertotaloussuomi.fi/tieto/kiertotalouden-tilannekatsaus/>

Kim, H., Kacew, S., Lee, B. (1999). *In vitro chemopreventive effects of plant polysaccharides (Aloe barbadensis miller, Lentinus edodes, Ganoderma lucidum and Coriolus versicolor)*.

Carcinogenesis. Aug;20(8):1637-40.

Kiviranta, T. (2022). *Rahkasammal ja ruokohelpi voisivat korvata turvetta kuivikkeena eläintiloilla*. Maaseudun tulevaisuus.

<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/633a7bcf5cd4-58ae-8159-f4ee3fba7734>

Korhonen, M. (2009). *Sienet Suomen luonnossa*. Otavan kirjapaino Oy, Keuruu.

Korpela, M. (2023). *Siitakesienien kasvatusalustojen tuotantoprosessi*. HAMK opinnäytetyö. Sähkö- ja automaatiotekniikka.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/801625/Korpela_Matias.pdf?sequence=2

Kosamo, J. (2021). *Kitiinin ja sen hajoamistuotteiden hyödyntäminen kasvinviljelyssä*. Pro Gradu, Oulun Yliopisto.

[https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/17495/nbnfioulu.pdf?sequence=1&isAllowed=](https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/17495/nbnfioulu.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[y](#)

Kuokkanen, T., Nurmesniemi, H., Pöykiö, R., Kujala, K., Kaakinen, J., Kuokkanen, M. (2008). *Chemical and leaching properties of paper mill sludge*. Kirjassa Chemical Speciation & Bioavailability. Volume 26 No.4. Taylor & Francis.

Laitinen, T. (2022). *Itiöemästä kosmetiikan raaka-aineeksi - suomalaisten metsäsienten mahdollisuudet*. Opinnäytetyö, Laurea ammattikorkeakoulu.

Lehtoranta, S., Johansson, A., Myllyvirta, T., Grönroos, J., Manni, K. (2021). *Turvetta korvaavien kuivikemateriaalien ilmastovaikutukset*. SYKE raportti 51.

<https://helda.helsinki.fi/items/3ec407d1-b888-4c48-a88a-361f7afcad4c>

Leong, K., Yang, F-C., Chang, J-S. (2021). *Extraction of polysaccharides from edible mushrooms: Emerging technologies and recent advances*. Carbohydrate Polymers, Vol. 251.

Li, X-T., Li, H-C., Li, C-B., Dou, Q., G, M-B. (2010). *Protective effects on mitochondria and anti-apoptotic activity of polysaccharides from cultivated fruiting bodies of Cordyceps militaris*. Am.J.Chin.Med. National Center for biotechnology information. China. 38(6):1093-106.

Liu, Y., Guo, Z-J., Zhou, X-W. (2022). *Chinese cordyceps, Bioactive components, antitumour effects and underlying mechanism*. Review. Molecules. 27(19):65776.

Luomusertifikaatti. Luonnonmukaisesta tuotannosta ja luonnonmukaisten tuotteiden merkinnöistä annetun asetuksen (EU) 2018/848 35 artiklan 1.

<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tuote--ja-toimialakohtaiset-vaatimukset/luomuelintarvikkeet/valvonta/luomusertifikaatti/>

Luonnonsuojeluliitto, (n.d.). <https://www.sll.fi/mita-me-teemme/suot/hain-toimimme/turve/>

McCartney, Stella (2021). homepage [The world's first Mylo™ garments created from vegan mushroom leather \(stellamccartney.com\)](https://stellamccartney.com)

Mäkelä, H. (2006). *Elintarvikeyrityksien hankeseminaari*. Food Scient-hanke. Opinnäytetyö, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.

Mäki-Petäjä, P. (2023). *Sienirihmastoista voidaan valmistaa nyt makkarointa ja pihvejä: "Kyllä maistuu myös lihansyöjille"*. MTV uutiset, Makuja.

[Helsingin yliopistossa kehitellään ruokaa sienirihmastoista | Makuja | MTV Uutiset](#)

Mycoworkswebsite, (2021). <https://www.mycoworks.com/>

Pihlanto, A. & Mattila, P. (2019). LUKE. Elintarvike ja terveys-lehti. 5, 33 vsk.

Piippo, S. & Salo P. (2020). *Terveyttä sienistä*. Minerva.

Pylkkänen, R., Werner, D., Bishoyi, A., Weil, D., Scoppola, E., Wagermaier, W., Saferer, A., Bahri, S., Baldus, B., Paananen, A., Penttilä, M., Azilvay, G., Mohammad, P. (2023). *The complex structure of Fomes fomentarius represents an architectural design for high-performance ultralightweight materials*. Science advance, Vol. 9. No. 8.

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ade5417>

Rantala, M. (2023). *Hygienisoidun hevosenlannan käyttö kuivikkeena lypsylehmille*. Ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu.

Riikonen, A. (2019). *Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa*. Kaupunkiympäristön julkaisu 2019:19. [Microsoft Word - biohiili koonti fx201217 – kopio – kopio – kopio.doc \(hel.fi\)](#)

Ruokavirasto. (2016). Ravintolisäopas. Elintarvikevalvojille ja elintarvikealan toimijoille. Evira. https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/elintarvikeala/elintarvikealan-oppaat/ravintolisaopas_17012_5.pdf

Rothschild, L. (2018). *Myco-architecture off planet: growing surface structures at destination*. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2018_Phase_I_Phase_II/Mycoarchitecture_off_planet

Ruokavirasto, (n.d.). Uuselintarvikkeet ja uudet prosessit. <https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/ainesosat-jasisalto/uuselintarvikkeet-ja-uudet-prosessit/>

Ruokavirasto, (n.d.). Luomusertifikaatti, toimialakohtaiset vaatimukset. [Luomusertifikaatti - Ruokavirasto https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tuote--ja-toimialakohtaiset-vaatimukset/ravintoliset/lainsaadanto/](https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/tuote--ja-toimialakohtaiset-vaatimukset/ravintoliset/lainsaadanto/)

Russell, J. R., Huang, J., Anand, P., Kucera, K., Sandoval, A. G., Dantzler, K. W., Hickman, D., Jee, J., Kimovec, F. M., Koppstein, D., Marks, D. H., Mittermiller, P. A., Núñez, S. J., Santiago, M., Townes, M. A., Vishnevetsky, M., Williams, N. E., Núñez Vargas, ... Bascom-Slack, Strobel, S. A. (2011). *Biodegradation of Polyester Polyurethane by Endophytic Fungi*. ASM Journals. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 77, (17). <https://doi.org/10.1128/AEM.00521-11>

Ruuskanen, T. (2014). *Kierrätysmateriaaleja hyödyntävien kasvualustojen tuotantoprosessin ympäristö- ja yhteiskunnallinen kustannus-hyötyanalyysi*. MTP Julkaisu. https://www.smts.fi/MTP_julkaisu_2014/MTP_julkaisu_2014/Posterit/042Ruuskanen_Kierratysmateriaaleja_hyodyntavien_kasvualustojen_tuotantoprosessin_ymparistoja_yhteiskunnallinen.pdf

Räisänen, R. (2020). *Biocolour-biovärit, väripaletti biopohjaisille väriaineille ja pigmenteille*. BioColour-hanke. https://biocolour.fi/wpcontent/uploads/2020/12/BioColour_Tilannekuvaraportti_11-2020.pdf

Sahariah, P., Masson, M. (2017). *Antimicrobial Chitosan and Chitosan Derivatives*. Faculty of Pharmaceutical Sciences, School of Health Sciences, University of Iceland, Hofsvallagata 53, IS-107 Reykjavik, Iceland. https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.biomac.7b01058?ref=article_openPDF

- Sankero, T., Siivari, J. (2007). *Luonnon raaka-aineiden terveysvaikutuksia*. Kirjallisuustutkimus. CRS-Biotech Oy. http://apumatti.redu.fi/admin/filecontrol/MS_576.pdf
- Sheng, X. (2017). *Immunomodulatory effects of Hericium erinaceus derived polysaccharides are mediated by intestinal immunology*. Food. Fuct. Mar 22;8(3). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28266682/>
- Shunk, G. K., Gomez, X. R. & Aversch, N. J. (2020). *A self-replicating radiation-shield for human deep-space exploration: Radiotrophic fungi can attenuate ionizing radiation aboard the international space station*. Cold Spring Harbor Laboratory, bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.07.16.20553>
- Siipola, V., Källi, A., Wendling, L., Karlsson, M., Björnström, M., Koukkari, P. (2019). *Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen - metsäteollisuuden sivuvirtojen jatkojalostus ja hyödyntäminen ei-energiakäyttöön*. Co-Carbon-VTT loppuraportti. https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf/d91543c8-1c96-c0b4-0b0c-9b8579800c1f/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf?t=1551698798000
- Siltavirta, H. (2017). *Kitosaani ja sen käyttö lääketieteellisissä sovelluksissa*. Pro gradu tutkielma. Oulun yliopisto.
- Smernik, R.J. (2012). *Biochar and sorption of organic compounds*. Kirjassa Lehmann, J., Joseph, S. 2012. Biochar for environmental management – science and technology. Earthscan, London, UK.
- Stamets, P. (1993). *Growing gourmet and medicinal mushrooms*. Ten Speed Press. Hong Kong.
- Stamets, P. (2005). *Mycelium running: how mushrooms can help save the world*. Berkeley: Ten Speed Press.
- Suzuki, S. & Oshima, S. (1974). *Influenze of Shi-ta-ke on human serum cholesterol*. Proceedings of the 9th International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi, Tokyo. Mushroom Science IX (part 1)
- Sung, K. (2012). *Hericium erinaceus mushroom extracts protect infected mice against Salmonella Typhimurium-Induced liver damage and mortality by stimulation of innate immune cells*. J. Agric Food Chem. Jun 6;60(22):5590-6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22624604/>

Suomi tilannekatsaus. (2023). *Kestävän kehityksen tavoitteet*. Suomen YK-liitto.
<https://www.ykliitto.fi/kestava-kehitys>

Takehara, M., Kuida, K., Mori K. (1979). *Antiviral activity of virus-like particles from Lentinus edodes (Shiitake)*. Archives of Virology 59 (3): 269–74.

TEPA-termipankki, (1.8.2023). *Erikoisalojen sanastojen ja sanakirjojen kokoelma*. Sanastokeskus. IATE. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/substraatti>

Timonen, S. & Valkonen, J. (2018). *Sienten biologia*. Helsinki: Gaudeamus.

Turveinfo. (2017). *Tutkittua tietoa turpeesta*. <https://turveinfo.fi/kayttotavat/monta-tapaa-kayttaa-turvetta/>

Törmälä, P. (2003). *Äyriäisistä saatava kitosaani tuo apua moniin ongelmiin*, YLE Akuutti.
[Äyriäisistä saatava kitosaani tuo apua moniin ongelmiin | Akuutti | yle.fi](https://yle.fi/uutiset/aiheesta/vaihtoehto-nahalle-ja-synteettiselle-nahalle)

Valverde, M., Hernández-Pérez, Talía, P-L., O. (2015). *Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life*. International Journal of Microbiology.

VTT, Lehdistötiedote (15.2.2020). *Biomateriaali taipuu moneksi-myös design kuulokkeiksi*.

VTT, Lehdistötiedote (7.7.2021). *Vaihtoehto nahalle ja synteettiselle nahalle*: VTT kehitti jatkuvan tuotantotavan sienirihmastosta valmistetulle nahalle.

<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/vaihtoehto-nahalle-ja-synteettiselle-nahallevttkehitti-jatkuvan-tuotantotavan>

Välinen, N. 2024. *Kierrätyslannoitteiden valmistus ja markkinat. Toimiala analyysi. Suomen biokierto ja biokaasu ry. Toimiala-analyysi. Kierrätyslannoitteiden-valmistus-ja-markkinat SBB 5.3.2024.pdf*

Weibpflog, J., Gründel, A., Vehlouw, D., Steinbach, C., Müller, M., Boldt, R., Schwarz, S., Schwarz, D. (2020). *Solubility and selectivity effects of the anion on the adsorption of different heavy metal ions onto Chitosan*. Dresden, 47. 25 (11), 2482.

<https://www.mdpi.com/1420-3049/25/11/2482> <https://doi.org/10.3390/molecules25112482>

Zhang, J. (2016). *The Neuroprotective Properties of Hericium erinaceus in Glutamate-Damaged Differentiated PC12 Cells and an Alzheimer's Disease Mouse Model*. Int J. Mol. Sci. Nov; 17 (11). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5133811/>

Zhou, G., Liu, H., Yuan, Y., Wang, Q., Wang, L., Wu, J. (2024). *Lentinan progress in inflammatory diseases and tumor diseases*. European Journal of Medical Research volume 29, Article number: 8.