

BioBoost - Pohjois- Savon biotalouteen boostia -hanke

Savonia-ammattikorkeakoulun ja Itä-Suomen yliopiston toteuttama BioBoost-hanke on EU:n osarahoittama, jota on rahoitettu Oikeudenmukaisen siirtymän rahastosta (JTF). Rahoituksen on myöntänyt Pohjois-Savon liitto.

Panimoiden sivuvirrat kirjallisuusselvitys

Tekijä:

Eevi Minkkinen

Sisällys

Hiivan ja mäskin hyödyntäminen.....	3
Hiiva viskien valmistuksessa	3
Käytetty panimohiiva proteiininlähteenä ihmisten ruokavaliossa	3
Mäski panimohiivan kasvualustana	4
Kalojen rehuna.....	4
Lannoitteena	5
Energiantuotanto	5
Mäskin kuivaaminen kuivausrummulla	7
Kaupallisia ratkaisuja mäskin kuivaamiseen ja hyödyntämiseen energiantuotannossa	7
Lähteet.....	9

Hiivan ja mäskin hyödyntäminen

Hiiva viskien valmistuksessa

Historiallisesti panimohiivaa on käytetty viskien valmistuksessa sen kohtuuhintaisuuden ja kätevyuden vuoksi. Vuonna 1920 Distillers Company Limited esitteli ensimmäisen kaupallisesti saatavilla olevan puhtaan standardihiivan skottilaiselle viskille. Tästä huolimatta tislaamot hankkivat hiivaansa paikallisista panimoista tai tuottivat sitä itse 1950-luvulle asti. Kun DCL Yeast Ltd (nykyisin Kerry Biosciences) esitteli M-kannan/M-typin hiivan (*S. cerevisiae* ja *S. cerevisiae* var. *diastaticuksen* lajien hybridin) vuonna 1952, tilanne muuttui ja siitä tuli standardi tislaushiiva. Tuolloin standardi tislaushiivaa käytettiin yhdessä 30–50 % w/w kierrätetyn panimohiivan kanssa. Panimohiiva pestiin hapolla, pakattiin uudelleen ja toimitettiin tislaamoille, sen katsottiin olevan hyödyllinen lisä tavalliselle tislaushiivalle, koska sen käyttö yhdessä tavallisen tislaushiivan kanssa johti lisääntyneeseen alkoholisaantoon, yleiseen käymistehokkuuteen ja lisääntyneeseen maun monimuotoisuuteen. Tilanne muuttui uudelleen 1990-luvun lopulla/vuoden 2000 puolivälissä, jolloin monet Skotlannin suurimmista panimoista suljettiin ja panimohiivan saatavuus heikkeni. Tämän seurauksena useimmat tislaamot siirtyivät käyttämään pääasiassa kaupallisesti saatavilla olevaa Scotch Whisky -hiivaa. (Daute, Jack & Walker, 2024, Walker & Hill 2016) Toinen tekijä, miksi tislaajat lopettivat panimohiivan käytön asteittain 1990-luvun lopulla 2000-luvun puolivälissä, oli havainto siitä, että panimohiivan laatu verrattuna tavalliseen tislaushiivaan, oli heikompi siten, että se ei enää kelvannut käymislisäaineeksi, etanolin valmistukseen eikä sen käyttö täyttänyt makuvaatimuksia. Tämän seurauksena sekä vilja- että useimmat mallasviskin tislaamot käyttävät pääasiallisesti yhtä tislaushiivakantaa ja käytetyn panimohiivan lisääminen on jäänyt epäsuositukseksi. (Walker, Bringhurst, Brosnan, julkaisuaika tuntematon, Waymark & Hill, 2021) Skotlantilaisen mallasviskin fermentoinnissa tärkeimmät kaupalliset hiivavaatimukset koskevat puriste- ja/tai kermatistlaushiivoja. Vaatimuksilla varmistetaan käymissuorituskyvyn tasaisuus, substraatin tehokas hyödyntäminen, korkeat alkoholisaannot sekä väkevien alkoholijuomien maun tasaisuus. (Walker & Hill, 2016) Nykyaikaisen viskien tuotannon kannalta panimohiivan käytön edut ovat parhaimmillaankin tieteellisesti kyseenalaisia, vaikka panimohiivaa käytetään edelleen hyvin harvoissa tapauksissa niin sanotuista perinteisistä syistä. (Walker, Bringhurst, Brosnan, julkaisuaika tuntematon)

Norjassa Aurora Spirits Distillery hyödyntää paikallisen panimon hiivaa viskien tuotannossaan, tässä lyhyt video aiheesta: <https://www.youtube.com/watch?v=otELSDA-Pjg>

Heidän tuotteitansa, tuotetiedoissa tiedot käytetyistä hiivoista: <https://www.bivrost.com/whisky/>

Käytetty panimohiiva proteiininlähteenä ihmisten ruokavaliossa

Yeastup on sveitsiläinen foodtech-start-up yritys, joka kierrättää panimoiden sivutuotteet monipuolisiksi, vegaaniproteiineiksi ja -kuiduiksi. Yrityksen patenttihakemuksella vireillään olevalla tekniikalla he hyödyntävät panimohiivaa erottamalla siitä proteiinit ja kuidut ja tuottavat tästä korkealaatuisia ainesosia elintarviketeollisuudelle. Prosessi hyödyntää hiivaa täysin suljetussa, resurssitehokkaassa järjestelmässä. Teknologia yhdistää proteiinien ja kuidun erottamiseksi yhdessä prosessissa mekaanisen ja hellävaraisen solun hajottamisen faasien erotusmenetelmiin ja edistyneeseen kalvoteknologiaan. Tämä teknologia poistaa ei-toivotut käymisen sivutuotteet, kuten karvaat yhdisteet, samalla kun se tuottaa liukoisia proteiineja ja korkealaatuisia kuituja. Yeastup:n nettisivut: <https://www.yeastup.com/>

Mäski panimohiivan kasvualustana

Singaporen Nanyangin teknologisen yliopiston (NTU) tutkijat Cooray, Lee & Chen (2017) löysivät uuden prosessin, joka muuntaa mäskin arvokkaaksi nestemäiseksi ravintoaineeksi, jonka avulla voidaan kasvattaa panimohiivoja. Kun jyviä, kuten ohraa tai humalaa fermentoidaan hiivalla, sokerit, proteiinit ja ravinteet irtoavat, jolloin jäljelle ligniiniä. Ligniini on sitkeää ja yleensä käyttökelvotonta elintarviketuotannossa. Tietyn tyyppiset mikro-organismit pystyvät kuitenkin hajottamaan ligniinin pienemmiksi ravintoaineiksi. Nämä komponentit voidaan sitten hienontaa ja muuttaa nesteeksi, joka on helposti hyödynnettävissä panimohiivojen avulla. Tutkijat ovat käyttäneet mäskiä raaka-aineena uuden kasvualustan valmistukseen biokonversioprosessin kautta, jossa hyödynnetään elintarvikelaatuisia sieniä mäskin hydrolysoimiseksi. Tätä uutta käymisväliainetta testattiin *Rhodospordium toruloides* hiivalla. Hiivan kasvua analysoitiin käyttämällä kasvukäyrää ja solunsisäisten rasvahappojen ja karotenoidien tuotantoa. NTU:n tutkijoiden mukaan fermentoitu mäski kasvualustassa oli selkeästi parempi *Rhodospordium toruloides* hiivan kasvualustana verrattuna ei fermentoituun mäskiin. Fermentoitu mäski kasvualustana osoitti myös samanlaisia kasvutuloksia verrattuna hiivoille tarkoitettuihin kasvualustoihin. NTU:n tutkijat havaitsivat kuitenkin, että fermentoitu mäski kasvualustana täytti hiivan kasvun tarpeen vain typen osalta ja että siihen oli lisättävä ulkoinen hiilenlähde (2 % w/w glukoosia). Tästä he päättelivät, että fermentointi on olennainen vaihe vapauttaa ravintoaineet (typpi) mäskistä. Löydöksellä voisi siis olla potentiaalia korvata komponentteja nykyisessä hiivaviljelyalustassa kestäväällä ja kustannustehokkaalla tavalla. (Blau, julkaisuaika tutematon, Cooray, Lee & Chen, 2027)

Kalojen rehuna

Käytetty panimohiiva voidaan deaktivoida ja käyttää yksisoluisena proteiinilähteenä, koska sillä on hyvä ravintoarvo korkealla proteiinipitoisuudella (49 %) ja se on halvempaa kuin kalanrehu. Sillä on myös antioksidanttisia ja immunostimuloivia ominaisuuksia. Nykyisen tiedon mukaan, optimaalinen panimohiivan määrä rehussa on 10–31,5 % petokaloille ja 19–31,6 % muille kaloille. (Gokulakrishnan, Kumar, Ferosekhan et al. 2023)

Estévez, Padrell, Iñarra, Orive & San Martín (2022) tutkivat taas panimohiivan ja mäskin soveltuvuutta kalanruoaksi. He saivat kyseiset sivuvirrat espanjalaiselta Mahou San Miguel panimolta. Panimohiiva sekä mäski stabiloitiin ja hydrolysoitiin ennen niiden lisäämistä rehuihin. Näin saatiin neljä ainesosaa: (1) kuivattu hiiva (*Saccharomyces cerevisiae*), (2) hydrolysoitu hiiva, (3) kuivattu mäski ja (4) hydrolysoitu mäski, kosteuspitoisuuksiltaan noin 10 %. Nämä uudet ainesosat lisättiin rehuihin, jotka korvasivat gluteenia ja kasviperäisiä ainesosia, jonka jälkeen rehut pelletoitettiin halkaisijaltaan 5–6 mm pelleteiksi. Panimosta saadun hiivan ja mäskin lisäämisen vaikutusta analysoitiin tutkimalla kirjolohen (*Oncorhynchus mykiss*) rehua. Tulosten mukaan ainesosien hydrolyysillä ei ollut vaikutusta rehujen proteiinien sulavuuteen. Ainesosien proteiinien sulavuus oli kuitenkin heikompi mäskillä, jonka vuoksi mäskin sisällyttämistä suositellaan enintään 15 %. Johtopäätöksenä voitiin todeta, että 20 %:n lisäys hiivaa tai 15 %:n lisäys mäskiä kirjolohen rehuun johti korkeampaan kalan loppupainoon ilman eroja kasvunopeuksissa verrattuna kaupallisella rehuotteella saatuun loppupainoon. Tämä osoitti myös hyvää proteiinin sulavuutta ja ruoan konversiota, hiivan sekä mäskin kohdalla. Tutkijat tekivät johtopäätöksen, että nämä teollisuuden sivutuotteet voivat olla hyvä lähde kasviperäisten ainesosien käytön vähentämiseen ja panimoteollisuuden sekä vesiviljelyn kestävyiden lisäämiseen. (Estévez, Padrell, Iñarra, Orive & San Martín, 2022)

Lannoitteena

Vargas, Mestre, Vergara, Maturano, Petrigani, Pesce, & Vazquez (2024) tutkivat panimo *S. cerevisiae* -hiivojen potentiaalia kasvien kasvua edistävänä hiivana/lannoitteena. Tämä hiivabiomassa saatiin Ale-tyyppisen oluen valmistuksesta. Ennen koetta hiivabiomassa huuhdeltiin kolme kertaa käyttämällä steriiliä deionisoitua vettä pH:ssa 7 ylimääräisten happojen poistamiseksi humalasta ja alkoholin poistamiseksi hiivasolujen seinämiltä. Pesty näytteet pidettiin sitten 4 °C:ssa elinkelteisissä olosuhteissa. Hiivan vaikutusta salaatin ja tomaatin siemeniin ja taimiin arvioitiin neljällä pitoisuudella (105, 106, 107 ja 108 solua/ml) steriilissä substraatissa. Tuloksia verrattiin kaupalliseen orgaaniseen lannoitteeseen. 28 päivän kuluttua analysoitiin kasvien korkeus, lehtien lukumäärä, sekä maanpäällisten, että juuriosien tuore- ja kuivapainot sekä klorofyllipitoisuus. Tutkimus osoitti, että hiiva annosten lisääminen 108 solua/ml asti vaikuttaa positiivisesti siementen itämiseen ja taimien kehitykseen. Erityisesti annos 107 solua/ml osoittautui tehokkaaksi orgaanisena lisäyksenä ja kaupallisten tuotteiden korvikkeena. Tämä lähestymistapa esittelee hiivojen potentiaalia kestävässä maataloudessa hyödyntämällä elintarviketeollisuuden sivutuotteita sadon tehokkuuden parantamiseksi ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi. (Vargas, Mestre, Vergara, Maturano, Petrigani, Pesce, & Vazquez, 2024)

Energiantuotanto

Arranz, Sepulveda Justo, Montero, Romero Munoz & Miranda (2021) tutkivat mäskin muuttamista biopolttoaineeksi. He tutkivat mäskistä valmistettujen pellettien fysikaalisia ominaisuuksia. Käytetyt mäskinäytteet kerättiin panimolta, joka sijaitsee Badajozissa, Espanjassa. Kosteusmääritykset suoritettiin standardin SFS-EN ISO 18134-2:2017 ”Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä.” mukaisesti. Käsittämättömän mäskin kosteuspitoisuus oli 70,46 % ± 0,88 %, joten se vaati kuivattamisen ennen pelletointia. Kosteuspitoisuus on tärkeä muuttuja pelletoinnissa, ja sen tulisi olla tietyllä alueella, yleensä noin 15 %. Tämän vuoksi mäski levitettiin aurinkoon, 10–15 cm kerroksina, 2 viikon ajaksi. Kuivauksen jälkeen mäskin kosteuspitoisuus oli 12,51 %.

Pelletit valmistettiin tämän jälkeen pelletointi laitteella, jossa oli pyörivä litteä suulake (Kovo Novak, MGL 200). Pellettien irtotiheys ja granulometrinen jakauma määritettiin standardien EN ISO 17828 ja EN ISO 17827-1 mukaisesti. Partikkelikokojakaumatestit suoritettiin kolmena rinnakkaisena, mediaaniarvo (d50) määritettiin lineaarisella interpoloinnilla painoprosenttien välillä alle ja yli 50 %. Hiilen, vedyn, typen, rikin ja kloorin kokonaispitoisuuden määrittämiseen käytettiin Eurovector EA 3000 -analysointilaitetta. Tuhkapitoisuuden ja orgaanisen aineksen määrittämiseen käytettiin uunia standardien EN ISO 18123 ja EN ISO 18122 mukaan. Ylempi lämpöarvo (HHV/HCV/GCV, MJ/kg) saatiin kalorimetrillä IKA C2000 Basic standardin EN ISO 18125 mukaan. Lopuksi tehollinen lämpöarvo (LHV/LCV/NCV, MJ/kg) ja lämpöarvo (MJ/m³) määritettiin yhtälöiden avulla. Keskimääräiset koot määritettiin työntömitalla noudattaen standardia EN ISO 17829. Mekaaniset kestävyystestit suoritettiin kahdella tavalla, ensin käyttäen kestävyysmittaria Mabrik BDM230 standardin EN ISO 17831-1 mukaisesti sekä kaupallisella laitteella nimeltä Lignotester (TEKPRO), joka altistaa pellettinäytteen iskuille testikammion sisällä määritellyllä ilmavirralla Itävallan standardin ÖNORM M 7135 mukaisesti.

Alla taulukossa esitettynä tutkimuksen tulokset verrattaessa tuloksia standardin SFS-EN ISO 17225-6 ”Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 6: Luokitellut ei-puupohjaiset pelletit” laatuvaatimukseen laatu luokassa A ja B. Tulokset osoittivat, että

mäskistä tehdyt pelletit täyttivät standardin laatuvaatimukset laatu luokissa A ja B kaikkien muiden paitsi kestävyiden ja typen osalta.

Ominaisuus	A laatu	B laatu	Mäskistä tehty pelletti (Arranz ym. 2021)	A laatu	B laatu
Kosteus, % (kostea)	12	15	9,63 ± 0,60	✓	✓
Irtotiheys, kg/m ³ (kostea)	600	600	662,96 ± 15,14	✓	✓
Pituus, mm	3,15–40	3,14–40	20,79 ± 3,90	✓	✓
Halkaisija, mm	6 ± 1	6 ± 1	6,07 ± 0,04	✓	✓
Kestävyys, %	97,50	96	94,56 ± 0,50	x	x
N, % (kuivattu)	1,50	2	3,76 ± 0,01	x	x
S, % (kuivattu)	0,20	0,3	0,03 ± 0,002	✓	✓
Tuhka, % (kuivattu)	6,00	10	3,37 ± 0,10	✓	✓
Tehollinen lämpöarvo (LHV/LCV/NCV), MJ/kg (kostea)	14,50	14,50	17,65 ± 0,02	✓	✓
Lämpöarvo, MJ/m ³ (kostea)	-	-	11,700	-	-

Sperandio, Amoriello, Carbone, Fedrizzi, Monteleone, Tarangioli & Pagano (2017) tutkivat myös mäskin pelletointia CREA:n koordinoimassa ja National Rural Networkin rahoittamassa Birraverde-projektissa. Projektin tarkoituksena oli kehittää kiertotalouden periaatteiden mukaisia teknisiä ratkaisuja panimojätteen uudelleenkäyttöön. Erityisesti mäskin hyötykäyttöön ehdotettiin kahta vaihtoehtoista ratkaisua: 1) kuivatun mäskin muuntaminen pelleteiksi, joita voitaisiin käyttää lämmön tuottamiseen, 2) biohiilen tuotanto mäskistä.

Kokeiden mäskinäytteet kerättiin Latiumissa, Keski-Italiassa sijaitsevilta panimoilta. Näytteet (noin 1 kg/ näyte, kolme rinnakkaista,) kuivattiin uunissa 105 ± 1 °C:ssa 78 tuntia. Tehollisen lämpöarvon (LCV/LHV/NCV), arvioimiseksi kuivatuille mäskinäytteille suoritettiin alkuaineanalyysi CHNS-pitoisuuden määrittämiseksi. Energian muunnostyyppin arviointi tehtiin annetun C/N-suhteen perusteella. Ylemmän lämpöarvon (GCV/HHV/HCV) arvioimiseksi mäskinäytteet asetettiin Mahler-pommikalorimetriin. Tuhkapitoisuus analysoitiin hehkutusuunin avulla 550 °C ± 1 °C:ssa (8 h). GCV ja LCV määritettiin standardin UNI EN 14918: 2010 mukaisesti, C-, H- ja N-pitoisuudet UNI EN 15104: 2011-standardin ja tuhkapitoisuus UNI EN 14775: 2010-standardin mukaisesti.

Tässä tutkimuksessa pelletointiin käytettiin pienimuotoista pelletointilaitetta. Laite käytti 3 kW:n sähkömoottoria, joka toimi täydellä teholla, tuottaen 100 kg/h, halkaisijaltaan 6 mm pellettejä. Kuivatusta mäskistä valmistettiin kolmea erilaista pellettiä. Ensimmäisessä kokeessa mäskipelletit valmistettiin mäskistä alkaen 20–25 % kosteuspuiteisuudella käyttäen kolmea jauhatussykliä. Toisessa kokeessa mäskipelletit valmistettiin alkaen 15–18 % kosteuspuiteisuudella vain yhdellä läpikululla pellettilaitteessa. Kolmannessa kokeessa pellettejä valmistettiin mäskistä 15–18 % kosteuspuiteisuudella ja lisäämällä sopivaa sideainetta (täykkelys 3 %, w/w) ja vain yhdellä läpikululla pellettilaitteessa.

Alla taulukossa pelletointikokeen tulokset:

Ominaisuus	Mäskistä tehty pelletti (Sperandio ym. 2017)
Kosteus, % (kuiva-aineessa)	8,8 ± 3,4
C, %	45,7 ± 0,5
N, %	4,2 ± 0,2
H, %	9,0 ± 0,6
Tuhka, %	5,3 ± 2,4
Tehollinen lämpöarvo (LHV/LCV), MJ/kg	13,7±0,7
Ylempi lämpöarvo (HHV/GCV), MJ/kg	16,9 ± 0,3

Tämänkin pelletointikokeen tulokset osoittivat sen, että suurin haaste mäskien hyödyntämiseen polttoaineena liittyy sen kosteuspitoisuuteen, joka vaihtelee noin 50–80 % välillä, kun taas pelletointiin sopiva kosteuspitoisuus on noin 15 %. Jonka seurauksena pelletointi tarkoitukseen mäski tulisi kuivata.

Biohiilikokeen osalta biohiiltä tuotettiin pelletoidusta mäskistä sekä käsittelemättömästä mäskistä käyttämällä termokemiallista (pyrolyysi ja/tai mikrokaasutus) prosessia, joka saavuttaa 400–500 °C:n hiiltymislämpötilat. Biohiilen valmistuskokeet suoritettiin pyrolyttisellä reaktorilla Elsa D17 (pat. BLUECOMB). Biohiiltä saatiin tuotettua molemmista sekä käsittelemättömästä mäskistä että pelletoidusta mäskistä, biohiilen ominaisuuksia ei tutkimuksessa mitattu.

Mäskien kuivaaminen kuivausrummulla

Auringossa kuivaamisen lisäksi Arranz, Miranda, Sepulveda, Montero & Rojas (2018) toteuttivat mäskien kuivauskokeen kuivausrummulla. Kuivattavan mäskien kosteuspitoisuudeksi ennen koetta saatiin keskimäärin 72,5 %. Mäskien kuivauskokeet suoritettiin konvektiivisella kuivausrummulla (CE130, Gunt Hamburg, Badajoz, Espanja), joka koostui neljästä irrotettavasta ruostumattomasta teräksestä valmistetusta alustasta, kuivauskanavasta (lämmittämiseksi ja kosteuden poistamiseksi), virtauksen säädön lämmittävällä tuulettimella ja digitaalisen vaa'an painon muutoksen tallentamiseen. Koe toteutettiin seuraavasti: neljälle alustalle levitettiin noin 250 g mäskiä (yhteensä 1 kg), jolloin näytteen paksuus kullakin alustalla oli alle 1 cm. Testejä tehtiin yhteensä 9, erilaisilla kuivausilmanopeus ($v = 0,8, 1,2$ ja $1,6$ m/s) ja lämpötila ($T = 30, 40$ ja 50 °C) variaatioilla.

Tulokset osoittivat, että samalla lämpötilalla kuivausprosessi on sitä hitaampi, mitä pienempi ilmavirtaus on. Tällä tavalla kosteussuhteen laskun ($1 \rightarrow 0$) suurin nopeus, noin 250 min saavutettiin BSG9-testissä ($1,6$ m/s ja 50 °C) ja alhaisin nopeus, noin 900 min saatiin BSG1-testissä ($0,8$ m/s ja 30 °C) Koe osoitti, että mäskiä voidaan hyödyntää termisesti suurissa mittakaavoissa, mutta välttämätöntä on ensin esikäsitellä mäski kuivaamalla hyväksyttävän hyötysuhteen omaavan biopolttoaineen saamiseksi. Kuivauskokeissa saadut tulokset huomioon ottaen kuivaus voisi olla ratkaisu mäskien jatkokäyttöön biopolttoaineena.

Kaupallisia ratkaisuja mäskien kuivaamiseen ja hyödyntämiseen energiantuotannossa

Stronga on kehittänyt kaupallisen ratkaisun mäskien kuivaamiseen. Huipputehokkaiden jatkuvatoimisten virtauskuivainten ansiosta panimot voivat kuivattaa mäskien paikallisella prosessilämmöllä välittömästi panimoprosessin jälkeen. Mäskien kuivaaminen mahdollistaa

tuotteen käytön rehuna, ihmisravinnon ainesosana tai energialähteenä. Mäskiä kuivaamalla panimot voivat sekoittaa kuivatun mäskin esimerkiksi puuhakkeen kanssa käytettäväksi paikan päällä energianlähteenä, jolloin syntyy "suljetun kierron järjestelmä". Mäski voidaan näin kierrättää hyödylliseksi polttoaineeksi panimoprosessin tehostamiseksi, jolloin fossiiliset polttoaineet voidaan korvata uusiutuvalla biomassalähteellä. FlowDrya- kuivauslaitteisto on helppo asentaa ja käyttää HMI DryStation™ -kosketusnäytön kautta, sitä voidaan käyttää minimaalisella valvonnalla automaattisen toimintatilan ansiosta. Laitteen koko ja kapasiteetti on mahdollista suunnitella optimaaliseksi panimon koon mukaan.

Strongan nettisivut ja laitteen esittely: <https://stronga.com/en/drying-spent-grain-with-stronga-sustainable-uses-of-brewers-grains/>

Wärtsilä on toimittanut kaksi kappaletta sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosta Scottish and Newcastle (S&N) panimoyhtiölle. Laitokset sijoitettiin yhtiön Iso-Britannian panimoiden tiloihin Manchesteriin, josta tilaus saatiin vuoden 2007 lopulla ja Tadcasteriin, josta tilaus saatiin vuoden 2008 alussa. Nämä Wärtsilän BioPower -laitokset olivat ensimmäiset voimalaitokset maailmassa, jotka tuottavat korkealla hyötysuhteella sekä sähköä että lämpöä käyttämällä mäskiä polttoaineena. Näin laitokset huolehtivat panimoiden energiatarpeesta.

Yhteistuotantolaitosten lämpöteho on 7,4 MWth ja sähköteho 3,1 MWe. BioPower-laitos toimii suljetulla höyrynsyöttövesijärjestelmällä, joka on erillään kaukolämmön vesijärjestelmästä. Höyryä tuotetaan tehokkaassa vesiputkikattilassa ja se syötetään vastapaineiseen höyryturbiiniin, joka käyttää vaihtovirtageneraattoria. Turbiinin poistohöyry lämmittää sitten kaukolämpöveden ja lauhde palautetaan syöttövetenä kattilaan. BioPower -laitokset polttavat paikallisista lähteistä peräisin olevan mäskin ja hakkeen seosta. Mäski toimitetaan panimosta noin 80 %:n kosteuspitoisuudella. Sen jälkeen se ajetaan hihnapuristimen läpi, mikä laskee kosteuden 58–60 %:iin, joka on sopiva taso ilman lisäkuivausta.

Wärtsilän nettisivut ja tietoa kyseisistä laitoksista: <https://www.wartsila.com/media/news/03-03-2008-wartsila-delivers-worlds-first-biopower-plant-using-brewery-spent-grain-to-produce-electricity-and-heat>

Lähteet

Arranz, J., I., Sepúlveda Justo, F., Montero, I., Romero Muñoz, P., & Miranda, T. (2021). Feasibility Analysis of Brewers' Spent Grain for Energy Use: Waste and Experimental Pellets. *Applied Sciences*. 11. 2740. doi: 10.3390/app11062740.

Arranz, J. I., Miranda, M. T., Sepúlveda, F. J., Montero, I., & Rojas, C. V. (2018). Analysis of Drying of Brewers' Spent Grain. *Proceedings*, 2(23), 1467. doi: 10.3390/proceedings2231467

Blau M. B. Brewery Recycling: New Process Converts Spent Brewery Grains Into Beer Yeast. GrayRobinson's Nationwide Alcohol Industry Team. <https://www.gray-robinson.com/insights/post/1576/brewery-recycling-new-process-converts-spent-brewery-grains-into-beer-yeast>

Cooray, S. T., Lee, J. J. L., & Chen, W. N. 2017. Evaluation of brewers' spent grain as a novel media for yeast growth. *AMB Express*, 7(1), 117. doi: 10.1186/s13568-017-0414-1.

Daute, M., Jack, F., & Walker, G. (2024). The potential for Scotch Malt Whisky flavour diversification by yeast. doi: 10.1093/femsyr/foae017.

Estévez, A., Padrell, L., Iñarra, B., Orive, M. & San Martin, D. 2022. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feeds. *Frontiers in Marine Science*. Volume 9. doi: 10.3389/fmars.2022.862020

Gokulakrishnan, M., Kumar, R., Ferosekhan, S., Siddaiah, G.M., Nanda, S., Pillai, B. R. & Swain S.K. 2023. Bio-utilization of brewery waste (Brewer's spent yeast) in global aquafeed production and its efficiency in replacing fishmeal: From a sustainability viewpoint. *Aquaculture*. Volume 565. doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.739161.

Sperandio G., Amoriello T., Carbone K., Fedrizzi M., Monteleone A., Tarangioli S., Pagano M. 2017, Increasing the value of spent grains from craft microbreweries for energy purposes, *Chemical Engineering Transactions*, 58, 487-492. doi: 10.3303/CET1758082

Vargas, M. F., Mestre, M. V., Vergara, C., Maturano, P., Petrigiani, D., Pesce, V. & Vazquez, F. 2024. Residual brewer's *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as biofertilizers in horticultural seedlings: towards a sustainable industry and agriculture. *Frontiers in Industrial Microbiology*. Volume 2. doi: 10.3389/finmi.2024.1360263.

Walker, G., Bringham, T., & Brosnan, J. "The ideal distiller's yeast?". Yeast Research Group, School of Contemporary Sciences, University of Abertay Dundee, Dundee. Scotch Whisky Research Institute, Riccarton Research Park, Edinburgh. <https://rke.abertay.ac.uk/ws/portalfiles/portal/8532245/WalkerBDIAuthor2011.pdf>

Walker, G. M., & Hill, A. E. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Whisk(e)y. *Beverages*, 2(4), 38. doi: 10.3390/beverages2040038.

Waymark, C., & Hill, A. E. (2021). The Influence of Yeast Strain on Whisky New Make Spirit Aroma. *Fermentation*, 7(4), 311. doi: 10.3390/fermentation7040311.