



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Beyond Mushrooms Decentral svampe- og proteinproduktions- enhed baseret på kaffegrums MUDP-projekt

MUDP Rapport

Juli 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Tobias Lau, Beyond Mushrooms

Lene Lange, BioEconomy, *Research & Advisory*

Christian Alexander Møller Bach, Amass Restaurant

Steffen Trzepacz, PlanMiljø

ISBN: 978-87-7564-023-2

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Indledning	5
2.	Baggrund	6
3.	Projektets forløb	8
3.1	Arbejdspakke 1: Udvikling af konstruktionsplan for "Svampemycelie Protein vækstrum"	8
3.1.1	1.a Udvikling af opskaleret proces for produktion af Umami-Proteinpulver fra kaffegrums	8
3.1.2	1.b Plan for konstruktion af proteinvækstrum og proteinforarbejdningsrum	9
3.1.3	1.c Afdækning af andre relevante kravsspecifikationer og andre nødvendige tilladelser	9
3.1.4	1.d Indhentning af tilbud fra leverandører til konstruktion	10
3.1.5	1.e Lokalisering af enhed med adgang til el/vand	10
3.2	Arbejdspakke 2: Udvikling af produktions set-up for decentral svampeproduktion	10
3.2.1	2. a Toxin-analyser, acrylamid-analyse, fødevaregodkendelser	10
3.2.2	2. b Konstruktion af proteinvækstrum" og proteinforarbejdningsrum	12
3.2.3	2.c Udvikling af forskellige typer umami-proteinprodukter	16
3.3	Arbejdspakke 3: Miljøvurdering, inkubation af resultater og materialeperspektivering	19
3.3.1	Projektpartneres kommentarer til den udførte miljøvurdering	19
3.3.2	3.a Kortlægning og vurdering af miljøeffekter	20
3.3.3	3.b Protokol- og erfaringsindsamling	28
3.3.4	3.c Biproduktudvikling	29
3.3.5	3.d Perspektivering af øvrige affaldsprodukter	29

1. Indledning

Beyond Mushrooms, ved Tobias Lau har i perioden november 2018 til februar 2021 gennemført det MUDP-støttede projekt "Decentral svampe- og proteinproduktionsenhed baseret på kaffegrums" i et konsortium bestående af Lene Lange (BioEconomy Research & Advisory) og Kim Wejendorp og Christian A.M. Bach (Restaurant Amass), med administrativ konsulentbistand fra PlanMiljø. Projektet skulle oprindeligt have været afsluttet ved udgangen af 2020, men blev på grund af Covid-19-relaterede forsinkelser forlænget med to måneder.

Projektets overordnede formål har været at skabe en ny type urban produktionsenhed, som ved hjælp af ny teknologi skaber en stabil forædling af det svampe-mycelie-gennemvoksede kaffegrums, der er tilovers efter produktion af østershatte til et umami-smagende, -proteinrigt pulver. Koncept og forretningsideen er at markedsføre dette ressource-cirkulære, klimavenlige, ikke-animalske, næringsrige og velsmagende produkt som ny fødevaringrediens. Ambitionen har været at skabe den første produktionsenhed af sin art i verden. Derudover har projektet haft til formål at bidrage til løsningen af to konkrete udfordringer:

1. at anvende de næringsstoffer der findes i store mængder i kaffegrums, som tidligere ikke er blevet udnyttet optimalt
2. at skabe nye lokalt producerede proteinrige og umami-smagende fødevaringredienser til erstatning for mere miljøbelastende proteinkilder.

2. Baggrund

Potentialet og interessen i at bruge kaffegrums og andre biologiske sidestrømme som vækstmedie til at dyrke fødevarer til humankonsum er stigende. Det skyldes blandt andet den stigende bevidsthed om de betydelige mængder sidestrømme og affald, som findes fra såvel landbruget som fødevareindustrien. I Danmark bliver der produceret ca. 150.000 tons kaffegrums, som primært ender som husholdningsaffald, og derved indgår i produktion af elektricitet og varme.

Allerede i dag forsøger flere iværksættere og producenter at anvende kaffegrums på nye måder, for at gøre brug af de næringsstoffer, olier og fibre som blandt andet findes i kaffegrums. Samtidig er interessen for plantebaseret og svampebaseret kost i stigning. I de sidste 20 år er det globale gennemsnitlige proteinindtag steget med 15%¹. Fra 2016-17 steg den danske efterspørgsel på vegetariske og veganske produkter med 35% i landet største supermarkeds-kæder. Dertil er antallet af forbrugere, der overvejende spiser vegetarisk steget fra 3,8% (2010) til 8,2% (2017)². Alligevel anvendes den overvejende del, 77%, af den danske plante-protein-produktion som foder i den animalske produktion³.

I Danmark har virksomheden Beyond Coffee siden 2016 formået at udvikle en produktionsmetode, hvormed man indsamler kaffegrums i en nær radius fra produktionsstedet og inokulerer kaffegrums med mycelium fra østershatte (*Pleurotus ostreatus*). Sat i vækstrum med de rette vækstbetingelser (især fugt og temperatur) kan østershattene vokse i kaffegrums, og svampenes frugtlegemer kan høstes ca. 30 dage efter inokulering. Beyond Coffees introduktion af spiselige svampe dyrket i byer har siden startet en frembringelse af flere iværksættere, som udvikler svampefarme i blandt andet Aarhus og København.

En ny udviklingsretning var at benytte restmaterialet/substratet fra østershatte-produktionen for at skabe yderligere vækst og yderligere værdiforøgelse i form af forbedret smag og øget proteinindhold. Kan en produktionsmetode skabes, som på omkostningseffektiv vis kan øge værdien af det dobbeltbrugte kaffegrums (først brug til kaffe; derefter til at gro Østershatte på) til endnu en værdiskabelse? I så fald vil et potentielt nye fødevareprodukt skabes, som ville kunne sælges i pulverform; et umami-smagende, proteinrigt pulver.

Teknologi-konceptet blev udviklet på baggrund af en ny koncept-ide, der blev præsenteret til Thomas Hartung og Tobias Lau af Lene Lange på DTU (forår 2018): At man ved mycelievækst kan omdanne hele "affalds"-biomassen ved vækst af svampe-mycelie, der giver smag og proteiner, kombineret med den biomasse-nedbrydelse, som de enzymer, der udskilles fra svampemyceliet, forårsager. Proof of concept i forhold til, at man i laboratoriet kan dyrke vildere på Østershatte-myceliet med anvendelse af kaffegrumset som vækstsustrat, blev udført på DTU (af Bo Pilgaard og Lene Lange) støttet af Innobooster under Innovationsfonden.

Med dette forarbejde var Beyond Coffee medvirkende til at skabe et konsortium, som ville afprøve visionen i en større skala. Konsortiet bestod udover Beyond Coffee af Lene Lange (BioEconomy Research & Advisory) og Restaurant Amass (Kim Wejendorp og Christian A.M. Bach).

¹ FAOSTA, <http://www.fao.org/docrep/005/ac911e/ac911e05.htm>

² COOP Analyse og Vegetarisk Forening, <https://vegetarisk.dk/465000-danskere-overvejende-vegetarisk/>

³ Aarhus Universitet (2017), https://pure.au.dk/portal/files/114834893/Proteink_der300617.pdf

Sammen søgte konsortiet MUDP om midler til at udvikle og afprøve en ny skalerbar og robust produktionsmetode til at lave et umami-smagende, proteinberiget pulver ("Umami-Proteinpulver"). Fra begyndelsen var målet at anvende svampes mycelium til at forædle en sidestrøm for at skabe et kommercielt fødevareprodukt. Arbejdet påbegyndtes i november 2018. Af CVR- og medfinansieringstekniske årsager, blev MUDP-projektet udført af det ansøgte CVR-nummer, men under navnet Beyond Mushrooms.

3. Projektets forløb

Projektet har bestået af følgende arbejdsplaner:

Arbejdsplan 1:Udvikling af konstruktionsplan for proteinvækstrum

Arbejdsplan 2: Udvikling af produktions set-up for decentral svampemycelie-produktion

Arbejdsplan 3: Udvikling af miljøeffektsberegning

Arbejdsplan 4: Projektledelse

Projektets plan har været at udvikle produktion af "Umami-Proteinpulver" i et anlæg som tog udgangspunkt i mobile, ombyggede kølecontainere. Denne beslutning bunder i at kunne have en produktion af Umami-Proteinpulver i byer, hvor adgang til biologiske sidestrømme som kaffegrums er mangfoldig. Containere er designet til at flytte rundt og Beyond Mushrooms (BM) ønskede at gøre det muligt at flytte containerne til steder i byen med både rig adgang til Beyond Coffees (BC) restsubstrat og med fordelagtig leje. I første omgang ville produktionen ske i lille skala, hvor efter logistikplan og produktion af Umami-Proteinpulver skulle implementeres med ønske om at holde den større produktion i ombyggede kølecontainere. Kvaliteten af det producerede pulver blev løbende monitoreret og dokumenteret med henblik på fødevaregodkendelse af det endelige produkt. De specifikke analyser af proteinpulveret fokuserede på især protein-aminosyre sammensætning og indhold, samt sikring af at produktet ikke indeholder sundhedsskadelige stoffer

3.1 Arbejdsplan 1: Udvikling af konstruktionsplan for "Svampemycelie Protein vækstrum"

Arbejdsplan 1 indeholdt følgende under-opgaver:

- 1.a Udvikling af opskaleret proces for produktion af umami-proteinprodukt fra kaffegrums
- 1.b Plan for konstruktion af proteinvækstrum og proteinforarbejdningsrum
- 1.c Afdækning af andre relevante kravsspecifikationer og andre nødvendige tilladelser
- 1.d Indhentning af tilbud fra leverandører til konstruktion
- 1.e Lokalisering af enhed med adgang til el/vand

3.1.1 1.a Udvikling af opskaleret proces for produktion af Umami-Proteinpulver fra kaffegrums

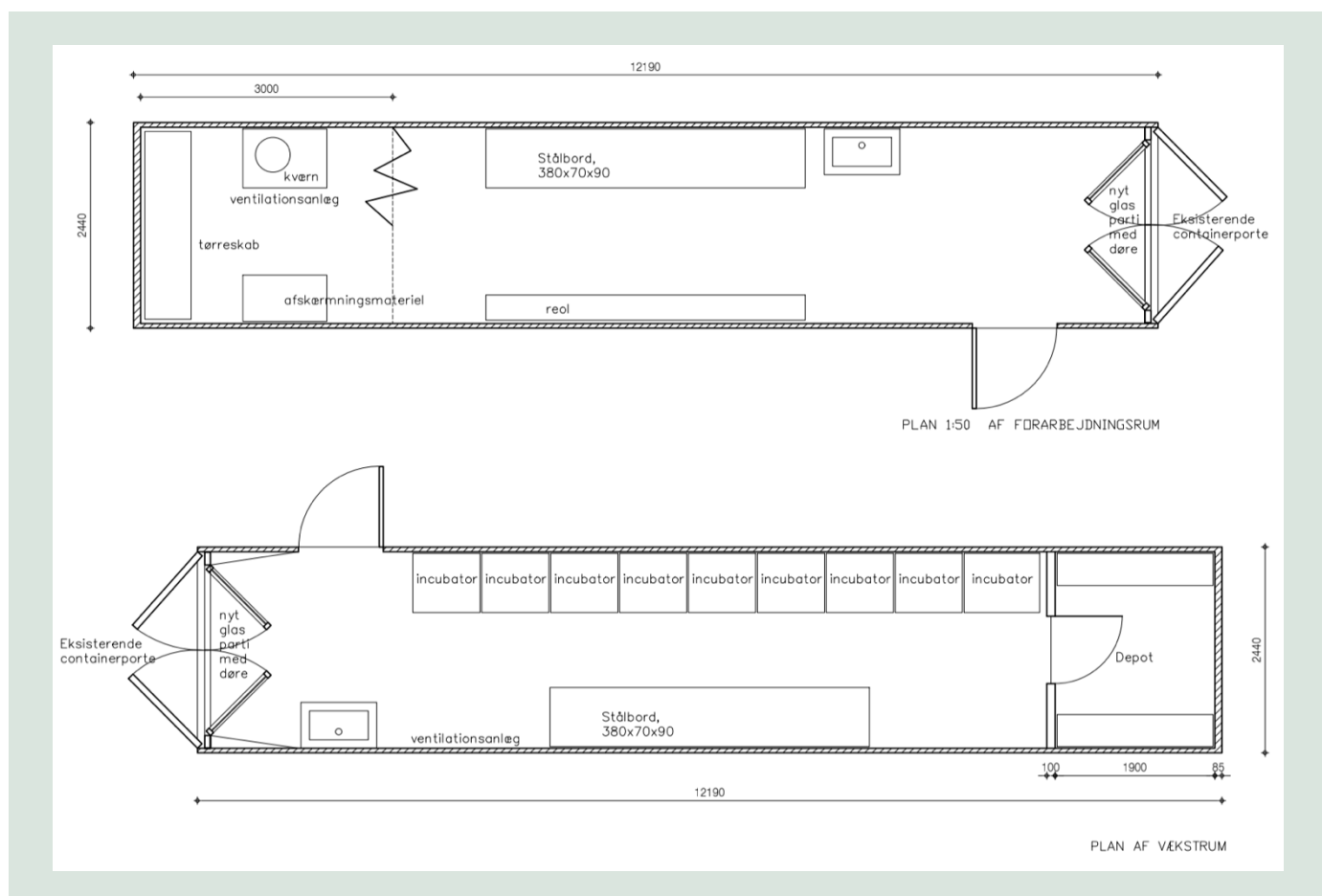
På basis af det oprindelige koncept (ved Lene Lange) og byggende på de indledende laboratorie-vækst- og inkubations-test forsøg på DTU (Center for Bioengineering) blev processen videreudviklet med hensyn til produktionseffektivitet, robusthed i forhold til minimering af risiko for kontaminering og udtørring, optimeret i forhold til ratio af svampemycelie til kaffegrums, for at opnå øget proteinindhold og stærkere umami-smag. Ligeledes blev pulveret produktudviklet ved hjælp af produktkvalitets analyser og optimeret i forhold til at opnå øget lagerstabilitet. På baggrund af dette kunne man sætte en produktion af mycelium-vækst i kaffegrums i større skala. Logikken har været at designe processen og produktionsmetoden 'indefra-og-ud', således at det var de rette vilkår for fermenteringen (mycelium-vækst i kaffegrums), som der først blev udviklet proces for og dernæst for de ydre rammer. Som led i denne udvikling blev det blandt andet besluttet at forsøge at anvende industrikøleskabe som isolerende inkubator-enhed, og et design for indretning af produktions-inkubator-enheder (stakbare dyrkningsplader)

blev udviklet. Dette forslag blev indsendt til Fødevarestyrelsen (FVST) for at opnå feedback om bl.a. fødevaresikkerhed og fødevaregodkendelse.

3.1.2 1.b Plan for konstruktion af proteinvækstrum og proteinforarbejdningsrum

De ydre rammer for inkubationsenhederne blev derefter udviklet. Disse skulle passe ind i en 'containerramme', og dele af konstruktionen blev udført i rådføreskab med fødevarekonsulent Kirsten Birkegaard. Der var især fokus på at gennemføre og udvikle designet med henblik på at møde standardfødevareforordningen under 'Europa-Parlamentets og rådets forordning (EF) Nr. 852/2004 af 29. april 2004'. Designet af vækstrummet blev estimeret til, at der med tiden ville indsættes en række inkubatorer, som muliggjorde en fuldskala udnyttelse af produktionen.

Planen for konstruktion, som de nedenstående tegninger viser, blev siden justeret i mindre grad for nøjere at følge Fødevarestyrelsens retningslinjer for fødevareproduktionsrum, inklusive eventuelle arbejdsmiljø aspekter:



FIGUR 1. Der er i dette første udkast arbejdet på at skabe en så produktionseffektiv indretning som mulig i to containere, som samtidig er designet med fokus på blandt andet kontamineringsminimering og arbejdsmiljø. I forhold til ovenstående tegninger er der sket designændringer inden projektets afslutning.

3.1.3 1.c Afdækning af andre relevante kravsspecifikationer og andre nødvendige tilladelser

Da produktionsenhedernes ramme stod i to containere på en græsplet på Sundholm på Amager, blev der i første omgang givet tilladelse fra Københavns Kommunes Teknik- og Miljøforvaltning til at kunne fraskille sig med det producerede spildevand. Da der var tale om en pilotproduktion blev der givet tilladelse til at benytte den nærmeste kloak. Dertil blev der indgået

dialog med FVST for at få rådgivning om indsendt forslag til produktionsteknik for at producere egne inkubator-skabe for at fremme mycelie-vækst. Efter nogen tid vendte FVST tilbage og anmodede BM om at registrere sig som fødevarervirksomhed. Da denne registrering formelt først skal ske, når en fødevarer virksomhed sælger fødevarer, vil virksomheden løbende modtage kontrolbesøg fra FVST. Da BM ikke solgte fødevarer endnu, blev det besluttet i konsortiet ikke at registrere sig, før det blev relevant. Ved et senere tidspunkt blev konsortiet af FVST dertil gjort opmærksom på bestemmelser vedrørende Novel Food om introduktion af nye typer fødevarer i EU (se afsnit 3.2.3).

3.1.4 1.d Indhentning af tilbud fra leverandører til konstruktion

Det blev besluttet at inddele konstruktionen af proteinvækstrum og -forarbejdningsrum, således at nye produktionsteknikker og -metoder, som måtte opfindes under et 'learning-by-doing' princip, kunne kvalificere konstruktionen af produktionsenheden. Dette ville også påvirke omfanget af tilbud, som skulle indhentes i denne del af udviklingen, og der blev af fødevarer sikkerhedsmæssige årsager fokuseret på at indhente tilbud fra leverandører, som kunne konstruere et fødevarer godkendt gulv i de to containere. Dette skyldtes, at containernes oprindelige gulv bestod af T-formede lameller, som opsamlede støv og snavs.

3.1.5 1.e Lokalisering af enhed med adgang til el/vand

Der blev indgået aftale med den almene boligforening 3B om at få lov til at placere de to containere i et område på Sundholm, som med tiden skal blive til en byggegrund. Aftalen var at have containerne placeret her indtil september 2020. Der blev dertil lavet aftale om at tilkoble el og vand hos naboerne i design- og håndværkerforeningen Fabrikken. Efter september 2020, hvor 3B (nu KAB) ønsker at igangsætte nyt byggearbejde på lokaliteten, er de to containere flyttet til Nordhavn, hvor de er koblet til produktionsfællesskabet, Beyond Coffee og Decideret Cider, som producerer fødevarer.

3.2 Arbejdspakke 2: Udvikling af produktions set-up for decentral svampeproduktion

Arbejdspakke 2 indeholdt følgende under-opgaver:

- 2.a Toxin-analyser, acrylamid-analyse, fødevarer godkendelser
- 2.b Konstruktion af proteinvækstrum og proteinforarbejdningsrum
- 2.c Udvikling af forskellige typer umami-proteinprodukter

3.2.1 2. a Toxin-analyser, acrylamid-analyse, fødevarer godkendelser

Lene Lange (BioEconomy) og Tobias Lau (BM) arbejdede tæt sammen for at udføre en mykotoxin-analyse i samarbejde med mykotoxin-expertene fra Jens Frisvads gruppe på DTU Institut for Bioengineering. Da 'råmaterialet' for Umami-Proteinpulveret stammer fra Beyond Coffee, indebar mykotoxin-analysen en inspektion af Beyond Coffees produktionsfaciliteter af DTU-medarbejdere. Her blev det besluttet at teste to samples fra Beyond Coffees produktionsposer (se billede).



FIGUR 2. Billedet til venstre viser svampene, som Beyond Coffee sælger som produkt. Det er imidlertid substratet, som er efterladende i den sorte pose, som Beyond Mushrooms er interesseret i. På billedet til højre kan det ses, hvordan dette substrat ser ud. Som det anes, er der stadig hvide mycelium-tråde heri. Disse er levende, og det er dem, Beyond Mushrooms dyrkede videre på. Det var i første omgang dette substrat, der blev udført mykotoxin-analyse på. Senere fulgte det endelige slut-pulverprodukt, som der også blev lavet mykotoxin-analyse på.

Fra hver sample-pose blev der udført to tests fra hver substratmasse (to i udkanten og to fra kernen i substratmassen fra hver pose), i alt fire subsamples. DTU-analyserne viste, at der ikke kunne findes skadelige mykotoxiner som ochratoxiner, fumonisiner, trichothecener eller mycophenolsyrer i substratet. Dertil blev der heller ikke fundet andre mykotoxiner fra *Penicillium* og *Trichoderma* i nogle af de fire udtagne prøver (se vedlagte Analyserapport, Annex 1). I forhold til acrylamid blev pulverproduktet senere testet af Eurofins. Resultaterne viste ikke bekymrende niveauer af acrylamid i pulveret (målt til under 30 µg/kg). Dertil blev pulveret testet for aflatoxin B1, B2, G1, G2 og ochratoxiner. Alle lå under <1 µg/kg, hvilket er signifikant under grænseværdierne.

For at få et overblik over de fødevaremæssige risikofaktorer ved pulveret blev der, på baggrund af det analyserede næringsindhold, ingrediensliste og oplysninger om fremstillingsmetoden, gennemført en vurdering af de mikrobiologiske og kemiske risikofaktorer af Eurofins i forhold til at afgøre, hvilke analyser der var relevante at udføre på produktet og med henblik på at kunne afgøre risikoen af produktet. Der var ingen nævneværdige overraskelser idet rapporten om forslag til analysevalg fokuserede på regelmæssige analyse af aerobe sporer, anaerobe sporer, gær, skimmel og Enterobacteriaceae (bakteriefamilie herunder Salmonella) og patogener. Ud fra dette blev der i samarbejde med ISI Food Protection lavet bestemmelse af den mikrobiologiske kvalitet af Umami-Proteinpulveret samt en mikrobiologisk risiko- og holdbarhedsvurdering af produktet. Denne rapport viste ingen tilstedeværelse af patogener eller sporedannende organismer i et niveau, som vil kunne kompromittere produktet eller andre overraskelser i forhold til det fødevarekvalitetsmæssige, som dermed ikke påkaldte en ændret produktionsproces. En holdbarhedsperiode for pulverproduktet blev estimeret af ISI Food Protection og lå på 1 år (idet produktet er tørret ved min. 68 C grader og derefter mikrobiologisk stabilt).

På baggrund af anbefalinger fra DTU Fødevareinstituttet blev der dertil udført bestemmelse af koffein-indhold i pulveret, som lå på <20 mg/kg og under niveauet for, hvad Eurofins kan måle, hvilket var tilfredsstillende i forhold til relevante grænseværdier.

Konsortiet har dertil valgt at udføre dataanalyse af pulveret på tværs af en række kvalitetsparametre, herunder:

- Proteinniveau
- Kostfibre
- Glutamin
- B12 vitamin.

Der er lavet løbende analyser af proteinindhold, som viser et indhold af protein på op til 14 gram pr. 100 gram. Det er en forøgelse af proteinindholdet fra det oprindelige affalds-substrat fra Beyond Coffee (på 6,8 gram protein pr. 100 gram) på 105%.

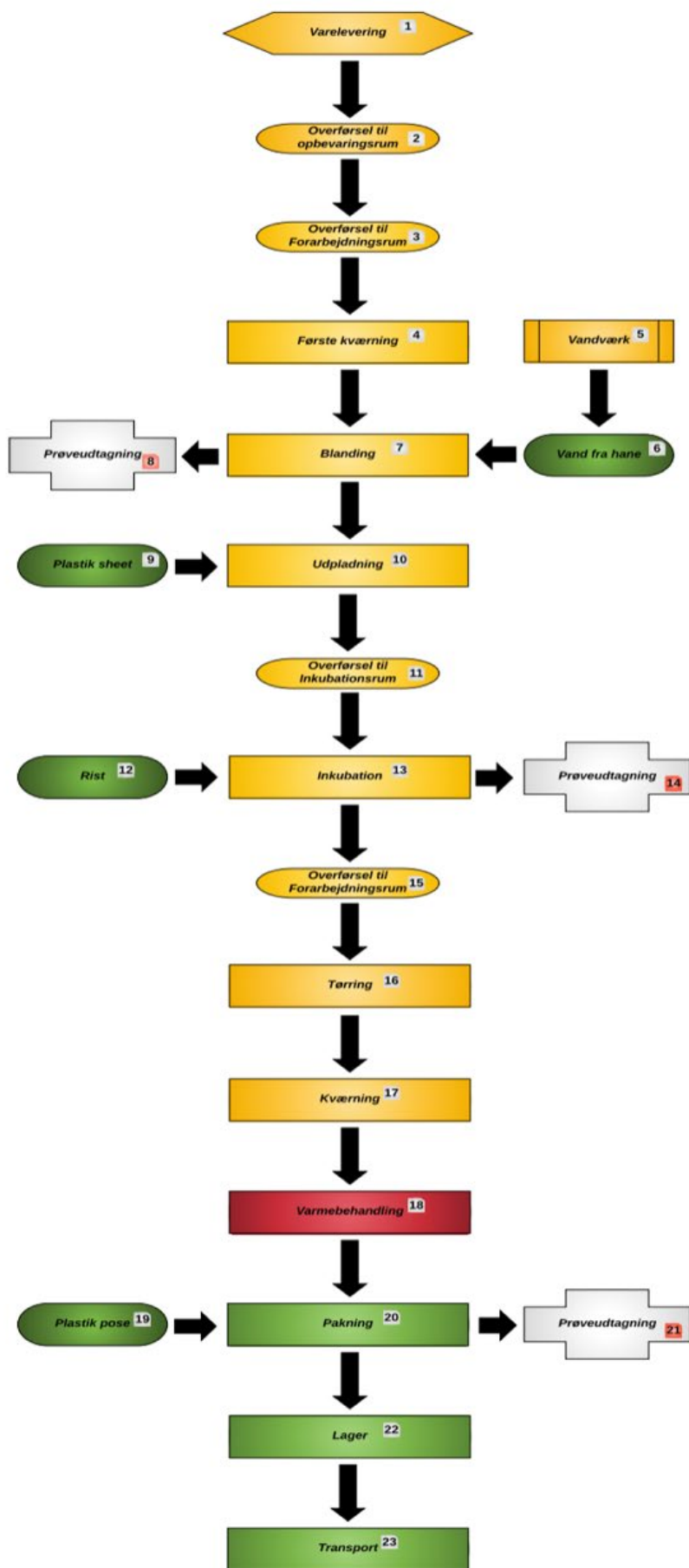
Der er udført analyse af pulveret for at bestemme de rette næringsmæssige værdier til næringsdeklaration. Denne analyse viste et højt niveau af kostfibre (45 gram pr. 100 gram), hvilket blandt andet stammer fra de oprindelige kaffebønner i pulveret. Dette kunne yderligere bruges i markedsføringsmæssige sammenhænge, da kostfibre har egenskaber i tarmsystemet, som kan medvirke til sund fordøjelse, forebyggelse af hjertekarsygdomme og kræftsygdomme.

Umami-smagen af pulveret kan delvis udledes ved at lave en aminosyreprofil af pulveret og afdække glutaminsyre-indholdet. Her viste en analyse udført af Eurofins, at pulveret indeholder 1,72 gram glutaminsyre per 100 gram, hvilket var den højeste tilstedeværelse af alle de afdækkede aminosyrer i pulveret. Øvelsen, som lå senere i processen, var at omdanne glutaminsyren til glutamat, som er det primære kemiske stof, der blandt andet opfattes som umami-smag på bl.a. tungen.

Dertil har pulveret vist tilstedeværelse af B12 vitamin. Dette vitamin er kendt fra svampe, men ikke udbredt i planter. Forekomsten antages således at stamme fra østershatte-myceliet. Dette er interessant, da der ikke findes mange kilder til vegansk B12. Da markedet for vegetariske og veganske plantebaserede fødevarerprodukter er i vækst, er efterspørgslen på B12 vitamin (som oftest findes i kødholdige produkter og derfor ofte købes som kosttilskud af vegetarer) stigende. Kan der laves et pulverprodukt, som udover højt proteinniveau også indeholder ikke-dyrisk B12 vitamin, er der basis for at karakterisere Umami-Proteinpulveret for et højværdiprodukt. Dette blev også understreget af en af de førende eksperter på B12 vitamin-området i Danmark, Prof. Emerita Ebbe Nexø fra Aarhus Universitet. Analyser, som er foretaget af Eurofins, viser dog, at tilstedeværelsen i pulveret er varierende. Yderligere tests og analyser bør foretages, før der er basis for en positionering af Umami-Proteinpulveret som indeholdende B12, er retvisende.

3.2.2 2. b Konstruktion af proteinvækstrum” og proteinforarbejdningsrum

Som led i udviklingen af proteinvækstrum og proteinforarbejdningsrum er der skabt en øget test af produktionsmetode for at udvikle den mest effektive arbejdsgang. Det har ledt til udvikling af en HACCP-plan (Hazard Analysis and Critical Control Points). Denne plan blev desuden udviklet for at imødegå krav hos FVST for med tiden at registrere sig som fødevarerproduktionsenhed.



FIGUR 3. HACCP-planen blev bygget på ovenstående flowdiagram, som illustrerer processen med at producere Umami-Proteinpulveret. De specifikke farer for produktet håndteres gennem et indsat kritisk kontrol punkt (CCP), hvor farerne fjernes eller reduceres til et niveau, hvor de ikke længere udgør en fare. Et CCP skal altid have kontrol over den specifikke fare, og effekten af CCP skal kunne måles. Under processen indgår en varmebehandling som oftest er en effektiv måde at reducere mængden af bakterier i et produkt.

En række samtaler med FVST ledte til at udvikle og forbedre designet af containerne til fødevarereproduktion. For at skabe en så fødevareresikker og koncentreret første-produktion af pulveret som muligt blev det besluttet, i så høj grad som muligt at fokusere de første produktioner af pulveret i en container (svarende fra fase 1-18 i HACCP-plan). Her blev der i Container #1 stillet to inkubatorer ind som vækstkamre for produktion og vækst af svampemycelie i substratet fra Beyond Coffee. Container #2 skulle anvendes til pakning og opbevaring af pulver. Der blev derved fokuseret på kvalitetsorienteret håndtering af produktion og udvikling af fødevareregodkendte procedurer til fordel for højkapacitets produktion, inden FVST officielt havde godkendt processen.

Gulve lavet af fødevareregodkendte materialer blev lagt i begge containere, og der blev konstrueret et forrum i proteinvækstrummet, sådan at medarbejdere kunne gå ind og klæde om til produktionsarbejde i hvide kitler og arbejdssko. Dertil blev der installeret vaske med en placering i begge containere, som levede op til FVSTs hygiejneforordning.

Der blev indkøbt kværn og varmebehandlingsudstyr samt sensorer til at måle og følge hele produktionsprocessen. I første omgang blev der anvendt kværn og varmebehandlingsteknologi i pilot-format for at afprøve fødevarereproduktionens validitet.

Som led i produktionsudviklingen blev en alternativ produktionsmetode afprøvet med det formål at teste, hvorvidt en fermentering af østershatte-myceliet kunne effektiviseres i væske frem for at anvende den planlagte og påviste dyrkning på og i fast substrat (substratet fra Beyond Coffee). Testen viste imidlertid kun mindre grad af succes, hvorfor BM fortsatte planen med at producere Umami-Proteinpulveret på fast substrat.

Med det øgede fokus på fast substrat blev det forsøgt at producere Umami-Proteinpulveret direkte på Beyond Coffee mycelieret substrat, høstet inden østershatte-frugtlegerer havde vokset sig ud af substratet. Dette blev gjort for at få det meste vækstpotentiale udnyttet af myceliet, inden myceliet havde 'brugt kræfter' på at gro frugtlegerer. Denne metode var succesfuld i forhold til den produktionstid, det krævede for at fermentere. Anvendelsen af mycelium-substratet, før frugtlegerer skød frem, betød en forkortelse af produktionstiden hos Beyond Mushrooms, idet produktionstiden gik fra ca. 14 dages mycelie-vækstperiode til ca. 7 dages mycelie-vækstperiode hos Beyond Mushrooms. Den pågældende gevinst i forbindelse med kortere væksttid svarede dog til den ekstra inkubationstid for opstart af det inokulerede Beyond Coffee substrat.

I den koncentrerede produktion i en container med to inkubatorer kunne der efter tørring blive produceret ca. 180 kg pulver om året. Med placering af yderligere 10 inkubatorer ville produktionen i de to containere nå op på ca. 1 ton pulver om året.



FIGUR 4. Produktionsrum i det koncentrerede vækstrum med to inkubatorer for enden.

Ved dette stadie blev det tydeligt, at kværningen af pulveret måtte ske ved brug af en større kværn end den tilgængelige kværn og sandsynligvis i samarbejde med en fødevaregodkendt produktionsfacilitet. Der blev indgået testsamarbejde med Circular Food Technology (CFT), som bl.a. var i færd med at lancere deres mask-mel produkt 'Agrain'. CFT havde købt en professionel kværn, som stod i fødevaregodkendte produktionslokaler tæt på Borup en times kørsel fra København. Ved succesfulde testforsøg hos CFT blev der arbejdet på at lave et formelt samarbejde mellem BM og CFT.



FIGUR 5. Testkværning af Umami-Proteinpulver hos Circular Food Technology.

BM nærmede sig nu at gå i tættere dialog med FVST for at kunne afprøve pulverproduktet kommercielt. I lyset af et samarbejde med tredjepart om kværning af pulver ('toll manufacturing') i en allerede fødevarer godkendt facilitet (fx CFT) adspurgte BM FVST om muligheden for at registrere sig som primærproducent (som Beyond Coffee er registreret som) fremfor som fødevarerproducent/fødevarerforædler. Argumentet var, at fermenteringen i containerne blot var en naturlig vækst af råvaren, mens selve forædling til fødevarer (fødevarer godkendelses-delen) sker ved kværningen til pulver hos tredjepart. FVST var enige i denne vurdering og anviste os til Landbrugsstyrelsen for at registrere os som primærproducent. Det var en vigtig melding fra FVST, i det en række risikoforanstaltninger og -procedurer ved produktion af pulveret (egenkontrol og HACCP-plan) blev relevant for arbejdsrutinen hos tredjepart og ikke hos BM i containerne. Dertil havde BM ved denne forespørgsel til FVST endnu engang beskrevet produktionsprocessen af Umami-Proteinpulveret.

3.2.3 2.c Udvikling af forskellige typer umami-proteinprodukter

Da pulverproduktet kunne produceres løbende og på stabil måde af BM, blev det løbende afleveret til Amass, som er en del af konsortiet. Her blev pulveret afprøvet og testet i yderligere forædlingsprocesser. Især blev der fokuseret på at skabe en proces, der kunne få den rette smag ud af pulveret og i en tekstur, som ville være interessant for forbrugeren og for fødevarerindustrien.

Det blev besluttet internt i konsortiet, at Amass skulle fokusere på at gå i to retninger med pulveret: 1) Udvikle et produkt i væskeform, som havde stærk umami-smag og 2) udvikle et produkt i fast, smørbar form, som kunne bruges i andre fødevarer mæssige sammenhænge.

For at udlede umami-smagen (fra glutaminsyre i pulveret til glutamat) gennemførte Amass en række eksperimenter og forædlingsprocesser i deres industrielle testkøkken. Blandt andet blev der tilført nye typer gær og bakterier i ny fermentering for at frigøre glutamat og den tilhørende umami-smag fra glutaminsyren i pulveret. Af filamentøse svampe, gærsvampe og bakterier

blev der blandet andet bestilt stammer hjem af *Zygosaccharomyces rouxii*, *Tetragenococcus halophilus* og *Staphylococcus xylosus* fra tyske og hollandske laboratorier.

Hos Amass blev pulveret blandt andet steriliseret i kogende vand, hvorefter det våde steriliserede mel bliver malet i en stenmølle i 24 timer. Resultatet af denne proces var et smørbart produkt med en appetitlig tekstur (som havde en peanut butter-konsistens). Efterfølgende blev det smørbare produkt forarbejdet med tre forskellige enzymer; en cellulase, en protase og glucose oxidase for at frigive aminosyrer og sukker. Amass fermenterede derefter det smørbare produkt med de følgende organismer *Zygosaccharomyces rouxii* (gærtypen der giver smagen i sojasovs), *Tetragenococcus halophilus* (mælkesyrebakterie der findes i sojasovs) og *Staphylococcus xylosus* (en bakterie der findes i både sojasovs og charcuterie) i op til en måned. Efter fermentering blev væsken adskilt fra den solide masse gennem centrifugering for på den måde at ende med to produkter 1) væskeform og 2) smørbar form.

Både væsken og det smørbare produkt havde fået appetitlige teksturer, men den rette umami-smag var ikke ramt. Bitterheden fra det oprindelige kaffegrums var stadig tilstedeværende, og det skyggede i nogen grad for umami-smagen fra det oprindelige mycelium.

For videreudvikling af Umami-Proteinpulveret blev det i konsortiet besluttet at få pulveret testet af flere professionelle køkkener og kokke. En indsats fra BM startede for at få pulveret ud til nysgerrige kokke, som kunne finde interesse i at afprøve pulveret i deres testkøkkener. En række kokke og industrikøkkener sagde ja til tilbuddet om at afprøve pulveret. Af disse kan blandt andet nævnes:

- MeyersLøgismose (Løgismose afdeling)
- MeyersLøgismose (Meyers afdeling)
- Empirical Spirits
- Planteslagterne
- Coffee Pixels
- Ro Chokolade
- Banana
- Simple feast
- Jespers Torvekøkken
- Simon Krüger (kok)
- Helen Fodnæss (fødevareekspert)
- Zeina Bardaji (fødevareekspert)
- Aarstiderne
- Fonda
- Lovi Smoothie

Ud af disse samarbejder blev pulveret blandt andet afprøvet i forskellige fødevareapplikationer. Dette blev gjort for at teste, hvorvidt pulveret smagsmæssigt bidrog positivt til det enkelte fødevareprodukt og for at finde ud af, i så tilfælde, hvor mange procent af pulveret der optimalt kunne tilføres.

I samarbejde med de ovenstående fødevarespecialister, blev pulveret afprøvet i udvikling af blandt andet:

- Chips
- Marmelade
- Saucer
- Fond
- Brød
- Smør
- Mayonnaise
- Snacks
- Chokolade
- Smoothies

- Salatudressing

Af de samarbejdende køkkener og fødevarereproducenter var især tre meget interesserede i at anvende pulveret i deres produkter. Det gjaldt Empirical Spirits (spiritus), Coffee Pixels (chokolade) og Simple Feast (måltidskasser). Se deres interessetilkendegivelser i Annex 2 til rapporten.

Producenterne nævner blandt andet pulverets noter af umami og milde bitterhed. Pulveret kan i plantebaserede gryderetter give dybde i stedet for brug af tørrede svampe, såsom shiitake-svampe. Det anslås af Simple Feast, at pulveret i svampesupper kan erstatte ca. 50% af friske svampe. Dertil anslås det af Simple Feast, at pulveret i nogle tilfælde kan erstatte grøntsagsbouillon med 20%.

Som opsummering på denne arbejdsopgave kan det udledes, at pulverets anvendelse i sin rene form som ny ingrediens hos danske fødevarereproducenter formodentlig havde hurtigere direkte udviklingsmuligheder end forædling af pulveret gennem yderligere fermentering for at frigøre yderligere glutamat og umami-smag i 'pulver-forædlede' væske- og smørbare produkter.

Prismæssigt ville Umami-Proteinpulveret udviklet på maksimal kapacitet i de to containere koste 540 kr./kg (ekskl. pakning og forsendelse). Sammenlignet med almindeligt proteinpulver må det opfattes som en høj pris. Simple Feast mener, at et sammenligneligt produkt, shiitakepulver, koster omkring 600 kr./kg, hvilket er bekræftet på en online produktplatform. Med BMs pulver er der dog tale om et pulver lavet på lokale sidestrømme. Tilmed er produktionen i de to containere at betragte som en 'pilot-produktion' af pulveret, hvilket skaber mulighed for yderligere effektivisering. En større og mere effektiv produktion af pulveret, må antages at få prisen ned pr. kilo.

Den største barriere for at komme på markedet pt. er i midlertidig, som meddelt under tredje indrapportering til MUDP, at konsortiet fået besked fra FVST om, at Umami-Proteinpulveret ikke, med nuværende regulering, kan fødevarereguleres og derfor henvises til EUs Novel Food regulering. Det er en udfordring, som påvirker udviklingen af projektet og hastigheden, hvormed produktet kan komme på markedet. Novel Food er fødevarer, som ikke har historie for at være konsumeret i betydelig grad i EU før 1997. Idet pulverproduktet indeholder kaffegrums og elementer af østershatte, begge fødevarer som har været anvendt i Europa og verden i hundredevis af år, har det i konsortiet ikke været regnet for en risiko at blive kategoriseret som Novel Food. Imidlertid opfatter EUs fødevarermyndighed EFSA (European Food Safety Authority) østershatte mycelium fødevareregulatorisk forskelligt fra østershattes frugtlegemer, hvorfor østershattemyceliet skal behandles som Novel Food. Dertil er der ifølge risiko for, at kaffegrums også kategoriseres som Novel Food, selvom man ikke har en forventning om, at dette vil ske.

At udføre en Novel Food ansøgning for at opnå en Novel Food godkendelse kræver ressourcer både i form af økonomiske midler til laboratorier og konsulenter og i behandlingstid på tværs af alle EU-lande (FVST estimerer selv at en mulig godkendelse af ansøgning vil tage ca. 1,5 – 2 år at behandle færdig af EFSA) og derfor har konsortiet, som beskrevet i tredje MUDP-indrapportering, udvidet projektets udviklingsretninger for at overkomme Novel Food barrieren. Udviklingsretningerne i forbindelse med Novel Food indebærer blandt andet:

- a) Overkomme Novel Food barriere ved at indgå dialog med aktører, som arbejder på en Novel Food godkendelse af østershatte-mycelium
- b) Omgå Novel Food barrieren ved at ændre sidestrøm og ændre typer af mikroorganismer, se pkt. 3.c og 3.d
- c) Overkomme Novel Food barriere ved at indgå i dialog med aktører.

Konsortiet er i kontakt med MicroBiota Food ApS omkring deres MycoProtein projekt, som af GUDP har fået midler til at udvinde østershatte-mycelium/protein på blandt andet sidestrømme fra sukkerroeproduktionen. Beyond Mushrooms har siden MycoProtein projektet modtaget støtte fra GUDP løbende været i kontakt med direktør i MicroBiota Food ApS, Steen Brock, idet MicroBioTa Food ApS har til hensigt, at søge Novel food godkendelse for nogle af deres produkter baseret på svampe. Steen Brock har dog oplyst, at deres produkter udviklet i GUDP projektet ikke er novel food.

3.3 Arbejdspakke 3: Miljøvurdering, inkubation af resultater og materialeperspektivering

Arbejdspakke 3 indeholdt følgende under-opgaver:

- 3.a Kortlægning og vurdering af miljøeffekter
- 3.b Protokol og erfaringsindsamling
- 3.c Biproduktudvikling
- 3.d Perspektivering af øvrige affaldsprodukter

3.3.1 Projektpartnerernes kommentarer til den udførte miljøvurdering

Projektpartnerernes kommentarer vedrørende det indledende afsnit:

I projektforløbet identificerede vi tre typer produkter, der alle tre ved bio-processering (her: vækst af Østershatte svampens mycelium og deraf følgende udskillelse af biomasse modificerende enzymer) optimerer og opgraderer næringsværdi og smag og også den kommercielle værdi af kaffegrums: protein- og smags beriget pulver, creme og font.

Projektpartnerernes kommentarer til Miljøvurdering af kaffegrums som affald, bedømt og LCA analyseret ift affalds-hierarkiet:

Der er global konsensus om at fødevarer så vidt overhovedet muligt ikke skal brændes eller nedgraderes til bioenergi eller brændstof. Allerede inden opstart af indeværende projekt var der etableret eksempler på udnyttelse af kaffegrums til fødevarer ingredienser (fx olie, chokolade og mel); så vel som til brug som substrat for produktion af højkvalitets-fødevarer (fx insektlarver og spiselige svampe). Det er derfor ikke relevant (og heller ikke normalt inden for accepteret code of conduct), at LCA analysere med formål, at bedømme om det ikke ville være bedre at man brugte kaffegrums til biobrændstof, bioforgasning, forbrænding eller kompostering. Emission fra og forbrug af areal, vand, gødning og pesticider af den fødevarer ingrediens som produktion af nye fødevarer ingredienser fra kaffegrums kunne fortrænge er ikke regnet med i den foretagne LCA-analyse.

Projektpartnerernes kommentarer til Miljøvurdering i forhold til LCA-analyse på basis af sammenligning med quinoa:

Som anført øverst er alle de tre typer af produkter ikke selvstændige, bulk fødevarer. De tilhører alle tre kategorien fødevarer-ingredienser. Ovenikøbet forventeligt i den øvre ende af pris-segmentet inden for ingredienser, da produkterne er beriget ikke kun med hensyn til protein indhold, men også i forhold til vitaminindhold og beta-glukan indhold (fra svampene) og ikke mindst i forhold til Umami smag (fra svampeproteiner). Denne sidste faktor muliggør positionering som fødevarer ingrediens, der kan berige plantebaseret mad med den eftertragtede Umami-smag, der åbner for at gøre det mere attraktivt for det store befolknings-segment der er vant til og kan lide at spise kød.

Afsluttende bemærkninger fra Projektpartnerne:

Vi, de tre faglige partnere i dette MUDP-projekt beklager, at vi ikke i tide har videregivet klar nok information om ovenstående miljørapportering. Corona-året har ikke gjort det lettere at holde dialog mellem alle partnerne. Vi har prioriteret at have dialog ift selve projektets innovations- og udviklingsarbejde.

3.3.2 3.a Kortlægning og vurdering af miljøeffekter

Den oprindelige ambition for projektets miljøvurdering var at lave en komparativ analyse mellem det i projektet udviklede proteinpulver og den proteinkilde, som den nyudviklede fødevarer primært var udset til at erstatte. Projektet har dog ikke formet sig som forventet, og derfor er det ved projektets udgang ikke entydigt, hvilket proteinholdigt fødevarerprodukt til humant konsum det udviklede proteinpulver bedst vil kunne erstatte. Det ligger heller ikke fast, hvorvidt det udviklede proteinpulver vil kunne markedsføres som et selvstændigt produkt eller det i stedet vil indgå som proteinholdig ingrediens i andre former for fødevarer. Ved MUDP-projektets afslutning gennemføres der stadig tests og udvikling med proteinpulveret som selvstændig fødevarer i både en fast og flydende form, ligesom det også fortsat testes som ingrediens i bl.a. chokolade og brød.

Med ovenstående in mente er det i stedet besluttet at fokusere på følgende miljøanalyser på baggrund af det i projektet udviklede proteinpulver:

- 1) En komparativ analyse af miljøeffekterne ved brugen af kaffegrums til udvikling af proteinpulver ved hjælp af østershatte-mycelium i forhold til andre end-of-life udnyttelser af kaffegrums
- 2) En komparativ analyse af miljøpåvirkningen af det udviklede proteinpulver i forhold til en fødevarer med et lignende proteinindhold.

Da der i projektet ikke er adgang til digitale LCA-databaser, og ej heller er mulighed for at gennemføre deciderede LCA-analyser på det udviklede proteinpulver, forskellige end-of-life udnyttelser af kaffegrums, andre proteinkilder mv., er der i miljøvurderingen i stedet taget udgangspunkt i eksisterende analyser af kaffegrums og proteinkilder. Disse er blevet sammenholdt med Beyond Mushrooms egne data fra produktionen af proteinpulveret, herunder vand-, varme-, el- og dieselforbrug. Miljøvurderingen er dog begrænset i form af manglende data og analyser med specifik fokus på kaffegrums, hvilket påvirker sammenligningsgrundlaget og detaljeringsniveauet for de forskellige udnyttelser af kaffegrums.

Der er i miljøvurderingen ikke medtaget data for den forudgående produktion og transport af kaffe, da denne produktion ikke har fundet sted med henblik på produktion af kaffegrums, men med henblik på produktion af kaffe. Kaffegrumset opstår således først som et affaldsprodukt fra kaffebrygningen, og i et miljøvurderingsperspektiv begynder dets miljøpåvirkning således først i det øjeblik, at kaffegrumset opstår. Derudover er transporten fra udnyttelsen af kaffegrumset til dets brug efterfølgende heller ikke medtaget, da der ikke har kunnet angives en gennemsnitlig afstand fra fx behandlingsanlæg til lokationen for anvendelse.

1. Komparativ analyse af miljøeffekterne ved brugen af kaffegrums til udvikling af proteinpulver i forhold til andre end-of-life udnyttelser af kaffegrums

Kaffe er, efter te, den drik, der konsumeres mest af på verdensplan⁴. Kaffe er samtidigt et eksempel på et produkt med en høj grad af uundgåeligt affald ved forbruget, da der genereres 1,88 kg kaffegrums pr. kilo anvendte kaffebønner⁵. Der findes ingen officielle retningslinjer for, hvordan kaffegrums skal håndteres, og det affaldsbehandles i udgangspunktet som en del af bioaffaldsfraktionen.

⁴ Scully, D.S., Jalswal, A.K., Abu-Ghannam, N., 2016. An investigation into spent coffee waste as a renewable source of bioactive compounds and industrially important sugars. Bioengineering 3 33. <http://dx.doi.org/10.3390/bioengineering3040033>

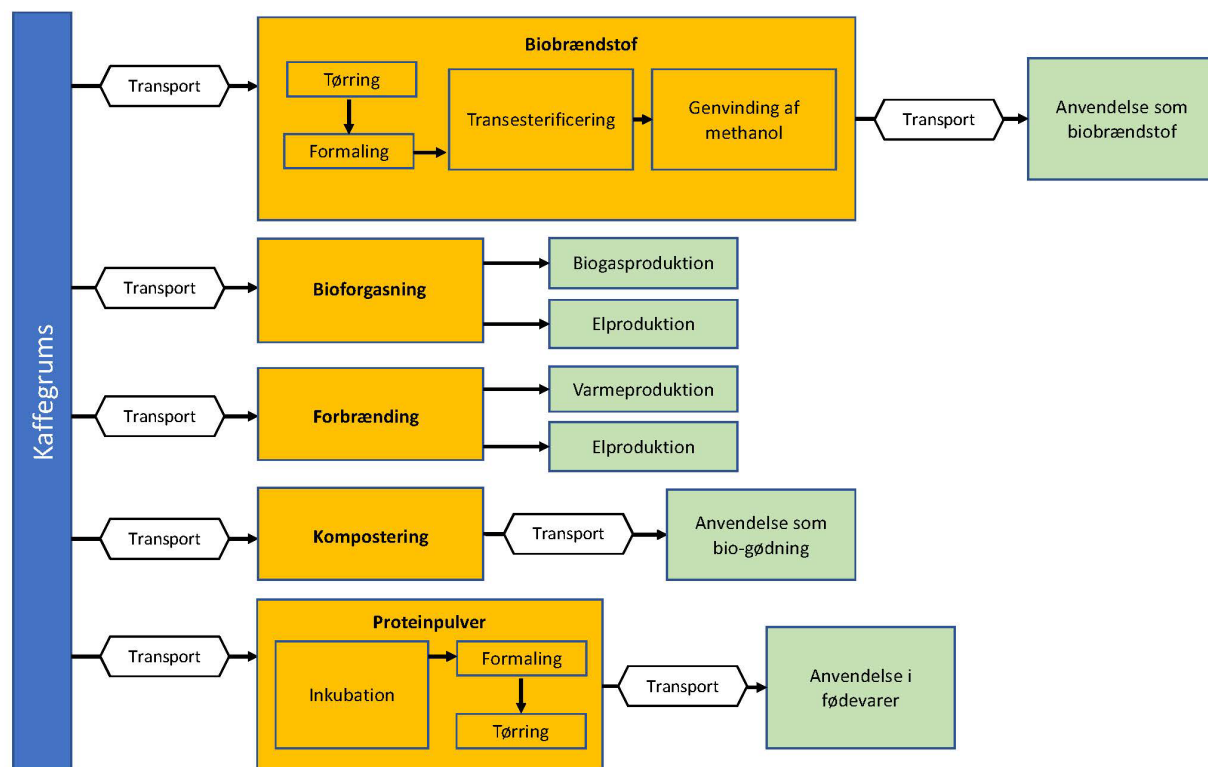
⁵ Cameron, A., O'Malley, S., 2016. Coffee Ground Recovery Program Summary Report. Planet Ark. <https://planetark.org/documents/doc-1397-summary-report-offeasibility-study-april-2016.pdf>.

Der er imidlertid et potentiale for valorisering af kaffegrums i en bioøkonomisk sammenhæng. Det er en nærmest udtømmelig og billig ressource, der end-of-life kan anvendes ved hjælp af relativt enkle metoder som bl.a. affald med energiudnyttelse (fx forbrænding med energigenvinding, biomasse eller bio-briketter) såvel som til mere komplekse produkter, såsom enzymer og aromaer, der anvendes i kosmetik- og medicinalbranchen⁶, og som i tilfældet med Beyond Mushroom også i fødevarerbranchen. På trods af den omfattende forskning, der undersøger mulige valoriseringsmuligheder for kaffegrums, er der ikke meget viden om de potentielle miljøpåvirkninger, som de forskellige end-of-life udnyttelser af kaffegrumset medfører. Det er blandt andet dette videnshul, der forsøges afdækket i denne miljøvurdering.

I miljøvurderingen sammenlignes brugen af kaffegrums til udvikling af proteinpulver med de mest gængse end-of-life udnyttelser af kaffegrums i en dansk kontekst, hvilket er: kompostering, forbrænding og bioforgasning. Derudover medtages biobrændstof, som er en nyere anvendelse af kaffegrums, der dog endnu ikke er anvendt i Danmark. Ser man bort fra anvendelsen som biobrændstof, adskiller de øvrige end-of-life udnyttelser sig fra Beyond Mushrooms løsning, ved at de alle sammen er affaldshåndteringsløsninger og ikke løsninger, der har til hensigt at valorisere og opgradere kaffegrumset. Af samme grund er miljøvurderingens funktionelle enhed defineret som *behandling af 1 ton kaffegrums*. Dette er i overensstemmelse med det faktum, at kaffegrums på nuværende tidspunkt er at betragte som et affaldsprodukt og primært også behandles som sådan.

I nedenstående figur ses den systemafgrænsning, der er taget udgangspunkt i i forbindelse med miljøvurderingen.

⁶ Karmee, S.K., 2017. A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites. *Waste Manage.* (Oxford) 72, 240–254.



FIGUR 6. Systemafgrænsning, der er taget udgangspunkt i i forbindelse med miljøvurderingen.

Biobrændstof

Biobrændstof fremstilles typisk af kaffegrums ved hjælp af en to-trins transesterificeringsproces (TE) hvor det første trin involverer olieekstraktion (ved hjælp af opløsningsmidler), og det andet omdanner olien til biobrændstof via TE. På trods af dets farlige egenskaber er det normalt n-hexan, der anvendes som opløsningsmiddel i forbindelse med olieekstraktionen i det første trin⁷, mens methanol ofte bruges til det andet trin. For at reducere farerne og de økonomiske omkostninger er der senest opstået en ny proces i ét trin, kendt som in situ TE. Denne proces bruger methanol til både ekstraktion og TE, hvorved man undgår brug af opløsningsmidler som n-hexan. Af disse grunde betragter denne undersøgelse denne nye TE-proces in situ. Som det kan ses ovenstående figur, involverer denne proces først tørring og formaling af kaffegrums efterfulgt af in situ TE for at producere biobrændstof. Det kaffegrums, der er tilbage efter TE, forbrændes i et kraftvarmeværk for at generere den nødvendige varme og elektricitet i processen, herunder til genvinding af methanol.

Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums som biobrændstof er opsummeret i nedenstående tabel. Den krævede energi til tørring og formaling er bestemt på baggrund af Piccinno et al. (2016)⁸ og Tuntiwiwattanapun et al. (2017).

⁷ Tuntiwiwattanapun, N., Monono, E., Wiesenborn, D., Tongcumpou, C., 2017. In-situ transesterification process for biodiesel production using spent coffee grounds from the instant coffee industry. *Ind. Crops Prod.* 102, 23–31

⁸ Piccinno, F., Hischier, R., Seeger, S., Som, C., 2016. From laboratory to industrial scale: a scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies. *J. Cleaner Prod.* 135, 1085–1097.

TABEL 1. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums som biobrændstof.

Inputs og outputs	Enhed per tons kaffegrums	Mængde
Tørring		
<i>Inputs</i>		
Varme	MJ	600
<i>Outputs</i>		
Kaffegrums	Kg	507
Spildevand	Kg	493
Formaling		
<i>Inputs</i>		
Elektricitet	MJ	0,16
Kaffegrums	Kg	507
<i>Outputs</i>		
Kaffegrums	Kg	507
Produktion af biobrændstof		
<i>Inputs</i>		
Kaffegrums	Kg	507
Natriumhydroxid	Kg	11,1
Methanol	Kg	632,5
Varme	MJ	25
Damp	MJ	624,4
Vand	Kg	206.856
<i>Outputs</i>		
Biobrændstof	Kg	66,15
Kaffegrums	Kg	438
Glycerin	Kg	7,5

Bioforgasning

Der er i miljøvurderingen taget udgangspunkt i biogas-faciliteter, der behandler generisk madaffald, da der ikke findes biogas-anlæg til håndtering af kaffegrums alene. Data for biogasproduktion er baseret på en årlig kapacitet på 2500 m³ i et anlæg, der er i stand til at behandle op til 25.000 tons kaffegrums og producere 196 kWh elektricitet pr. ton samt 133,2 m³ biogas per ton⁹. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums som biogas er opsummeret i nedenstående tabel.

TABEL 2. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums som biogas.

Inputs og outputs	Enhed per tons kaffegrums	Mængde
<i>Inputs</i>		
Elektricitet	kWh	23
Varme	kWh	82
<i>Outputs</i>		
Biogas	m ³	133,2

⁹ Slorach, P.C., Jeswani, H.K., Cuellar-Franca, R., Azapagic, A., 2019. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. J. Environ. Manage. 236, 798–814.

Inputs og outputs	Enhed per tons kaffegrums	Mængde
<i>Inputs</i>		
Elektricitet	kWh	23
Elektricitet	kWh	196

Forbrænding

Beregningerne er baseret på tal fra både kraftvarmeanlæg og forbrændingsanlæg med en 20/80-fordeling. Derfor repræsenterer opgørelsesdata i nedenstående tabel det vægtede gennemsnit under hensyntagen til denne andel. Bruttoeffektiviteten for begge anlægstyper antages at være 25% og termisk effektivitet til 6,5%¹⁰.

Den elektricitet og varme, der produceres ved forbrænding af kaffegrums og deres tilsvarende emissioner til miljøet, er blevet estimeret efter en metode foreslået af Doka (2009)¹¹ og ved hjælp af Ecoinvent-værktøjet til modellering af forbrænding af kommunalt fast affald (MSW)¹². Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums til forbrænding er opsummeret i nedenstående tabel.

TABEL 3. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums til forbrænding.

Inputs og outputs	Enhed per tons kaffegrums	Mængde
<i>Inputs</i>		
Ammoniak	Gram	549,6
Natriumhydroxid	Gram	365,2
<i>Outputs</i>		
Varme	MJ	137,2
Elektricitet	MJ	2.644,6
NOx	Gram	346,6
CO	Gram	222,9
N ₂ O	Gram	46

Kompostering

Der er i miljøvurderingen taget udgangspunkt i et komposteringsanlæg under åben himmel, der betragtes her som en af de mest almindelige anlæg i Europa (Compost Certification Scheme, 2019). Kompostering antages at udføres med madaffald, da der ikke findes dedikerede faciliteter til kaffegrums. På anlægget nedbrydes affaldet ved hjælp af multitunnelteknologi¹³. I nedbrydningsprocessen bliver kaffegrumset i tunnellerne, hvor nedbrydning og kunstvanding bruges til at hjælpe processen på vej. Det nedbrudte kaffegrums opsamles og vendes periodisk for at fremme nedbrydningen yderligere. Endelig transporteres den modne kompost til marker, hvor den bruges som gødning¹⁴. Data for kompostens næringsstofsammensætning

¹⁰ DEFRA, 2013. Incineration of Municipal Solid Waste. Department for the Environment, Food and Rural Affairs. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf.

¹¹ Doka, G., 2009. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dubendorf Ecoinvent report No. 13

¹² Ecoinvent, 2008. Calculation tool for waste disposal in municipal sanitary waste landfill (MSWLF) for Ecoinvent v2.1. Ecoinvent Centre, Switzerland. www.ecoinvent.org.

¹³ Mart.nez-Blanco, J., Mu.oz, P., Ant.n, A., Rieradevall, J., 2009. Life cycle assessment of the use of compost from municipal organic waste for fertilization of tomato crops. *Resour. Conserv. Recycl.* 53, 340–351

¹⁴ Saer, A., Lansing, S., Davitt, N.H., Graves, R.E., 2013. Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. *J. Cleaner Prod.* 52, 234–244

er hentet fra Gomes et al. (2013) og tilpasset de specifikke karakteristika ved kaffegrums. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums til kompostering er opsummeret i nedenstående tabel.

TABEL 4. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums til kompostering.

Inputs og outputs	Enhed per tons kaffegrums	Mængde
<i>Inputs</i>		
Elektricitet	mWh	0,03
Vand	m ³	0,27
<i>Outputs</i>		
Kompost	Tons	0,14
NH ₃	Kg	0,11
CH ₄	Kg	0,38
VOCs	Kg	1,21

Proteinpulver

Beregningerne i miljøvurderingen er baseret på Beyond Mushrooms egne forbrugsdata fra projektperioden. Data baserer sig på en proces, hvor kaffegrums indeholdende østershattemycelium fra svampeproduktion i kaffegrumset gennemgår en indledende kværning, hvorefter det tilføres vand. Herefter fordeles det på en plade og overføres til et inkubationsrum. Når inkubationen er gennemført, tørres kaffegrumset, inden det til slut kværnes og varmebehandles. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums som proteinpulver er opsummeret i nedenstående tabel.

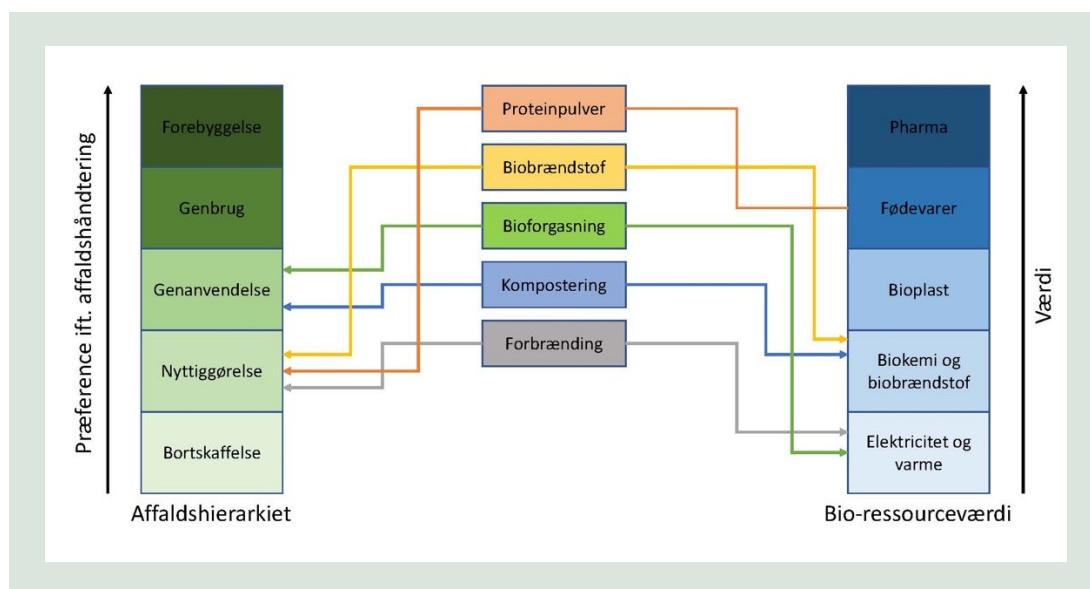
TABEL 5. Opgørelsesdata for udnyttelse af kaffegrums som proteinpulver.

Inputs og outputs	Enhed per tons kaffegrums	Mængde
Formaling		
<i>Inputs</i>		
Elektricitet	MJ	47.880
Vand	Liter	1.000
<i>Outputs</i>		
Kaffegrums	Kg	1.000
Tørring		
<i>Inputs</i>		
Varme	MJ	4.680
<i>Outputs</i>		
Proteinpulver	Kg	1.000

Resultater

I et miljøpåvirkningsperspektiv er valorisering af kaffegrums som henholdsvis biodiesel og proteinpulver de mindst miljøvenlige udnyttelser. Dette skyldes det varme- og energiforbrug, der anvendes til produktionen af disse slutprodukter. Selvom både biodiesel og proteinpulver baseret på kaffegrums har en række positive miljøpåvirkninger, herunder outputtets fortrængning af mindre miljøvenlige alternativer, kan de ikke konkurrere med de øvrige løsninger, der fortrænger bl.a. fossil energiproduktion og kemisk gødning. I dette tilfælde er forbrænding den mest miljøvenlige løsning, men med en endnu højere andel af vedvarende energi i det danske energimix, vil dette kunne ændre sig over tid.

Nedenstående figur viser desuden, at selvom både biodiesel og proteinpulver er de mindst ønskelige i et affaldshåndteringsperspektiv baseret på miljøpåvirkninger, så er det de udnyttelser af kaffegrums der giver mest værdi i et bio-ressourceperspektiv, da de vurderes at have størst værdi¹⁵. De anvendelser af kaffegrums end-of-life, som behandles i denne miljøvurdering, ligger alle i den næstnederste og midterste præference i affaldshierarkiet – genanvendelse og nyttiggørelse. Samtidigt klassificeres de fleste anvendelser i bunden af bio-ressourceværdien, da de har fokus på at transformere kaffegrums til varme, elektricitet eller brændstof. Kun proteinpulveret ligger højt på listen, da output her er et produkt, der kan anvendes i fødevarer.



FIGUR 7. Illustration af, at selvom både biodiesel og proteinpulver er de mindst ønskelige i et affaldshåndteringsperspektiv baseret på miljøpåvirkninger, så er det de udnyttelser af kaffegrums der giver mest værdi i et bio-ressourceperspektiv, da de vurderes at have størst værdi¹⁶.

Det var på forhånd forventet, at produktionen af proteinpulver fra kaffegrums ville bidrage til at begrænse klimaændringer og give en mere effektiv ressourceudnyttelse, men miljøvurderingen viser også et andet perspektiv. Det høje energiforbrug i forbindelse med produktionen af proteinpulveret er hovedårsagen til dets dårlige miljøpræstation i sammenligning med andre udnyttelser af kaffegrums. Det står derfor klart, at hvis man skal fremme udviklingen af bioteknologiske muligheder såsom udvikling af proteinpulver fra kaffegrums, må man bestræbe sig på at nedbringe de negative miljøpåvirkninger ved energiforbrug, især elektricitet, så det også i et miljømæssigt perspektiv kan betale sig at vælge løsninger med en høj bio-ressourceværdi. Nedenstående figur giver et overblik over, hvordan de vurderede end-of-life løsninger hver især bedømmes ud fra parametrene; affaldshierarki, bio-ressourceværdi og miljøpåvirkning.

¹⁵ Lange, L., Bech, L., Busk, P.K., Grell, M.N., Huang, Y., Lange, M., Linde, T., Pilgaard, B., Roth, D., Tong, X., 2012. The importance of fungi and of mycology for a global development of the bioeconomy. IMA Fungus :Global Mycolog. J. 3, 87–92.

¹⁶ Lange, L., Bech, L., Busk, P.K., Grell, M.N., Huang, Y., Lange, M., Linde, T., Pilgaard, B., Roth, D., Tong, X., 2012. The importance of fungi and of mycology for a global development of the bioeconomy. IMA Fungus :Global Mycolog. J. 3, 87–92.

Bedømmelse	Bedst				Værst
	Biobrændstof	Bioforgasning	Forbrænding	Kompostering	Proteinpulver
Affaldshierarki					
Bio-ressourceværdi					
Miljøpåvirkning					

FIGUR 8. Overblik over, hvordan de vurderede end-of-life løsninger hver især bedømmes ud fra parametrene; affaldshierarki, bio-ressourceværdi og miljøpåvirkning.

2. Komparativ analyse af miljøpåvirkningen af det udviklede proteinpulver i forhold til en fødevarer med et lignende proteinindhold

Som ovenstående miljøvurdering konkluderer, er udnyttelse af kaffegrums til proteinpulver i sig selv ikke en bedre udnyttelse af kaffegrums i et miljøpåvirkningsperspektiv end allerede eksisterende end-of-life udnyttelser. I stedet er det relevant at sammenligne proteinpulverets miljøpåvirkning med lignende fødevarer til humant konsum på markedet. Da det ved MUDP-projektets udgang endnu ikke ligger fast, hvilken brug proteinpulveret skal have som fødevarer samt hvilke proteinkilder det helt konkret kan erstatte, er det vurderet mest relevant at sammenligne pulveret med en fødevarer til humant konsum med et lignende proteinindhold. Der er i projektet lavet løbende analyser af proteinindholdet i pulveret, og seneste analyser viser et indhold af protein på op til 14 gram pr. 100 gram. Blandt eksisterende fødevarer med proteinindhold kan dette bl.a. sammenlignes med quinoa, der har et proteinindhold på 15 gram per 100 gram. Det er derfor valgt, at sammenligne proteinpulveret fra kaffegrums med quinoa, velvidende at det udviklede proteinpulver ikke kan forventes at komme til at erstatte quinoa i madlavning. Ligeledes er det med bevidstheden om, at produktionen af quinoa ikke nødvendigvis er repræsentativ for, hvordan andre proteinholdige fødevarer produceres rundt omkring i verden.

Til brug for miljøvurderingen er der anvendt en eksisterende LCA-analyse af quinoa fra 2019, som blev gennemført i Isfahan provinsen i det centrale Iran, der er en af verdens førende områder for quinoa-produktion. Produktionen herfra kan ikke direkte sammenlignes med den quinoa, der findes på dagligvarehylderne i Danmark, da den oftest kommer fra sydamerikanske producenter. LCA-analysen er gennemført med data indhentet fra spørgeskemaer og interviews med 30 quinoa-dyrkere i provinsen, ligesom der også er anvendt omfattede LCA-databaser som Ecoinvent og SimaPro til brug for analysen. Datagrundlaget for analysen er således både væsentligt mere omfattende og detaljeret end de data, der gennem MUDP-projektet har kunnet måles i forbindelse med produktionen af proteinpulveret, og der er derfor en række parametre, hvor de to proteinkilder ikke vil kunne sammenlignes på grund af manglende data. Den største udfordring i forbindelse med sammenligning af data er, at den funktionelle enhed i forbindelse med data for produktion af proteinpulveret er per kilo pulver, mens den funktionelle enhed i forbindelse med LCA-analysen (samt andre analyser af denne form for proteinkilder) oftest er én hektar dyrket land med den pågældende afgrøde.

Ovenstående udfordringer gør, at det ikke er muligt at sammenligne alle mellemregningerne i LCA-analysen med de data, der findes på proteinpulveret. I stedet kan der kigges på facit fra LCA-analysen, hvor det konkluderes på en række parametre. Især ét parameter er interessant i forhold til en komparativ analyse; den samlede CO₂-udledning som følge af quinoa-produktion. Her konkluderes det, at der udledes 1,48 tons CO₂ til produktion af 1 ton quinoa. CO₂-udledningen er i denne sammenhæng interessant, da der her er mulighed for at lave en direkte sammenligning med CO₂-udledningen fra produktionen af proteinpulveret.

I nedenstående tabel ses forbruget i forbindelse med produktion af 1 ton proteinpulver samt en konvertering af forbruget til CO₂-udledning. Til brug for konvertering er anvendt Bæredygtig Bundlinje Værktøjet¹⁷, der er udviklet af DTU som afløser for Erhvervsstyrelsens Klimakompaset, der tidligere var det officielle danske måleværktøj til miljøeffekter.

TABEL 6. Forbrugsdata for produktion af 1 ton proteinpulver.

Varmeforbrug (tørring af kaffegrums)	1.300 kWh	0,312 tons CO ₂
Elforbrug (kværning af kaffegrums)	13.300 kWh	3,188 tons CO ₂
Transport i el-varevogn	1.800 kWh	0,432 tons CO ₂
Vand	1.000 liter	0,002 tons CO ₂
Samlet		3,934 tons CO₂

Som det kan ses af ovenstående tabel, er CO₂-udledningen fra produktion af proteinpulver mere end dobbelt så høj som for quinoaen. Faktisk er udledningen på niveau med udledningen fra produktion af ris¹⁸. Det skal dog retfærdigvis siges, at udledningen fra quinoa ikke inkluderer transport fra produktionssted til forbrugeren, som ofte vil være på tværs af kontinenter. En anden vigtig pointe er, at proteinpulveret på nuværende tidspunkt bliver produceret i et pilotprojekt, hvor mængderne er små, og forbruget per kilo produceret pulver vil være væsentligt højere end produktion i storskala, som er tilfældet for de fødevarer, man sammenligner med fx quinoa. Forbrugsdata må derfor forventes at kunne mindskes betragteligt, såfremt man får etableret et større anlæg til behandling og produktion af proteinpulver baseret på kaffegrums med østershatte-mycelium. I MUDP-projektet har der eksempelvis overhovedet ikke været fokus på energiforbruget, da man her udelukkende har koncentreret sig om udviklingen af proteinpulveret. Således har man ikke nødvendigvis valgt de mest energieffektive løsninger.

Som det kan ses af ovenstående tabel er det kværningsprocessen, der står for langt hovedparten af CO₂-udledningen i forbindelse med produktion af proteinpulver. Kan man optimere denne proces, så der bruges mindre eller ingen elektricitet til kværning af kaffegrums fremadrettet, vil man derigennem kunne nedbringe miljøpåvirkningen fra produktionen væsentligt.

En fordel ved proteinpulveret, som ikke afspejles i en komparativ analyse, er desuden tidsaspektet, da svampebaserede proteiner kan vokse ud af kaffegrums på en uge, hvorimod andre proteiner (animalske som vegetariske) oftest tager væsentligt længere tid at producere.

Det anbefales, at der gennemføres en opdateret miljøvurdering af proteinpulveret, når man begynder at producere i større skala og dermed får energioptimeret driften, så der kan gives et mere retvisende billede af udledningen fra produktionen. Når dette sker, vil man forhåbentligt også have en klarere idé om, hvilket eller hvilke proteinkilder som proteinpulveret er udset til at kunne erstatte, så man kan gennemføre en komparativ analyse disse fødevarer.

3.3.3 3.b Protokol- og erfaringsindsamling

Hensigten med denne aktivitet var at skabe en protokol over erfaringerne fra projektet. Denne skulle udmunde i en manual for, hvordan en enhed som den i projektet udviklede kunne bygges og opskaleres. Tanken var, at man således kunne eksportere ikke blot Umami-Proteinpulveret til udlandet, men også selve teknologien til produktionen. Da projektet ikke er endt med en kommercialisering af Umami-Proteinpulveret er det dog vurderet præmaturligt at udvikle

¹⁷ <https://www.gate21.dk/baeredygtig-bundlinje-2/baeredygtig-bundlinje-1/metoder-og-vaerktoejer/>

¹⁸ https://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaende/Foedevernes_klimaaftryk_tabel_1.pdf

denne manual, og man har fra konsortiets side i stedet valgt at lægge ressourcerne i andre arbejdsplaner og aktiviteter.

3.3.4 3.c Biproduktudvikling

I kraft af henvisningen til Novel Food reguleringen, har konsortiet valgt at slå aktiviteter fra 3.c og 3.d sammen, for at supplere det eksisterende Umami Proteinpulver med en fokuseret indsats for også at bruge nye sidestrømme, for at omgå Novel Food barriere ved at udforske både valg af sidestrøm og af typer af mikroorganismer til substrat og mikroorganismer der allerede er fødevareregodkendte.

3.3.5 3.d Perspektivering af øvrige affaldsprodukter

Af ovenstående alternativ har konsortiet valgt at afprøve vækstpotentialet i en række sidestrømme, som allerede produceres som biprodukter i fødevarerproduktioner. Formålet skulle være at teste sidestrømmenes evne (som vækstmedie) til at afgive næring til andre typer mikroorganismer (andre typer svampemycelium), som ikke kategoriseres Novel Food. Dette er imidlertid en så stor opgave, at det kun kan gennemføres som et nyt projekt med eventuelt nye partnere og med ny funding.

Beyond Mushrooms

Beyond Mushrooms, ved Tobias Lau har i perioden november 2018 til februar 2021 gennemført det MUDP-støttede projekt "Decentral svampe- og proteinproduktionsenhed baseret på kaffegrums" i et konsortium bestående af Lene Lange (BioEconomy Research & Advisory) og Kim Wejendorp og Christian A.M. Bach (Restaurant Amass), med administrativ konsulentbistand fra PlanMiljø. Projektet skulle oprindeligt have været afsluttet ved udgangen af 2020, men blev på grund af Covid-19-relaterede forsinkelser forlænget med to måneder.

Projektets overordnede formål har været at skabe en ny type urban produktionsenhed, som ved hjælp af ny teknologi skaber en stabil forædling af det svampemycelie-gennemvoksede kaffegrums, der er tilovers efter produktion af østershatte til et umami-smagende, -proteinrigt pulver. Koncept og forretningsideen er at markedsføre dette ressource-cirkulære, klimavenlige, ikke-animalske, næringsrige og velsmagende produkt som ny fødevaringrediens. Ambitionen har været at skabe den første produktionsenhed af sin art i verden. Derudover har projektet haft til formål at bidrage til løsningen af to konkrete udfordringer:

1. at anvende de næringsstoffer der findes i store mængder i kaffegrums, som tidligere ikke er blevet udnyttet optimalt
2. at skabe nye lokalt producerede proteinrige og umami-smagende fødevaringredienser til erstatning for mere miljøbelastende proteinkilder.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk