

# Enorm Biofactory – Værdiforøgelse af restbiomasser gennem insektproduktion

MUDP - Faglig delrapport  
2022

Journal nr. på tilsagn: MST-117-00460

Kontaktperson i Miljøstyrelsen: Bjørn Olsen

## Indholdsfortegnelse

Samlet projektstatus ultimo 2022.....	2
AP 1 – Udvikling af foder og fluebure .....	3
Status.....	3
AP1 aktiviteter.....	3
Biomassegrundlag .....	4
Lugtreduktion .....	5
AP 2 – Teknologiske gennemførlighedsundersøgelser til optimering af produktions set-up .....	6
Status.....	6
AP2 aktiviteter .....	6
Håndtering af æg og neonates .....	7
Intern logistik.....	7
Separation af larver og frass.....	7
AP 3 - Demonstration af full-line produktion af insektmel og -olie.....	8
Status AP 3 og aktiviteter.....	8
AP 4 - Etablering af fuldskala anlæg.....	9
Status AP 4.....	9
AP 5 - Udvikling af fiskefoder.....	10
Status AP 5.....	10
Aktiviteter hos DTU.....	10
AP 6 - Udvikling af koncept til værdiskabelse af insekt frass .....	12
Status og aktiviteter AP6.....	12

## Samlet projektstatus ultimo 2022

MUDP projektet var oprindeligt planlagt til afslutning per 31.12.2022. I tråd med løbende dialog, ændringsanmodninger og godkendelser af disse er den forventede afslutning rykket til forventeligt H1 2024.

Af den samlede bevilling er 95% af tilskuddet udbetalt (eller anmodet udbetalt med 2022 rapporteringen). De fleste aktiviteter og leverancer er således også afsluttet og indfriet.

Ved udgangen af 2022 afventes følgende aktiviteter til afslutning i 2023 og H1 2024.

- Fiskefodringsforsøg hos Aller Aqua og rentabilitetsberegninger af produkternes anvendelse til dette formål
- Frass hygiejniserings- og gødningsforsøg
- Produktion af æg til daglig produktion af 30 ton larver / dag
- Produktion og forarbejdning af 30 ton larver / dagen

Derudover er ENORM og Hannemann Engineering blevet enige om at ansøge om omdisponering af det resterende uudnyttede budget i AP2 fra Hannemann til Enorm, for at anvende denne del af budgettet til at komme i mål med udvikling af de opbevarings- og doseringsløsninger til æg- og neonates, som har vist størst potentiale til skalering.

## AP 1 – Udvikling af foder og fluebure

I arbejdspakke 1 testes i lab skala prototyper af bure til fluer samt væstkasser til fluelarverne, for at skabe optimale forhold for fluernes reproduktion og vækst af larven. Der udvikles første foderrecept til BSF-larver baseret på restbiomasser. I 2022 er aktiviteter i AP1 ændret således at muligheden for at anvende lænse vandet fra vækststaldene som vækstmedie til produktion af mikroalger ikke undersøges. Til gengæld undersøges og udvikles metoder til at reducere lugt fra larvestalde.

Ny aktivitet 1.6: Lugtmålingskampagner ved forskellig belastning, levestadie, fodring og lugtrensning. Der foretages målinger på de enkelte stalde, mellem step 1 og 2 i luftrensningsanlæg og ved afkast. Lugtmålinger foretages både med dynamisk olfaktometri, der er den godkendte metode til lugtprøveudtagning fra staldanlæg, som skal anvendes til OML beregninger, og PTR-MS metoden, som giver øget indsigt i specifikke lugte og hvordan disse bedst muligt reduceres. Der udarbejdes efterfølgende OML beregninger som skal ligge til grund for fremtidig miljøsøgning.

Leverancer i denne arbejdspakke:

- 1) Færdigt design og udviklede prototyper af fluebure, æg-opsamlingsenheder og væstkasser.
- 2) Generation 0.1 recept for BSF-foder baseret på restbiomasser.
- ~~3) Analyser af mikroalger baseret på lænse vand fra larveproduktionen.~~
- 4) NY: OML rapport med udgangspunkt i den udviklede lugtrensning metode

## Status

Leverance 1 og 2 anses på nuværende tidspunkt som indfriet, da design og udvikling af fluebure, ægopsamlingsenheder og væstkasser er klar til skalering, og vi har udviklet og optimeret foderrecepter baseret på restbiomasser over hele perioden. Aktivitet 4 er ligeledes afsluttet.

## AP1 aktiviteter

I perioden er der fortsat arbejdet med udvikling af staldinventar og farm management, som skal understøtte den fremtidige fuldskalaproduktion. I MUDP-projektet er der i arbejdspakkerne relateret til staldinventar (fluebure og larvestalde), samt optimering af klimavilkår for produktionsdyr anvendt resterende timer i budgettet (alt 27 timer). Dog bliver der fortsat anvendt mange ressourcer på udvikling og optimering. Vores biologiske R&D afdeling rummer nu 3 fuldtidsansatte (to ph.d uddannede biologer og en bioingeniør). Derudover er der i ENORM nu 3 maskinmestre, inkl. vores tekniske direktør, som i 2022 arbejder alene med udvikling af tekniske løsninger, både relateret til stalde og øvrige anlæg. Fokusområder og milepæle indenfor arbejdspakken har i 2022 været:

- Færdig design af fluebure til fuldskaalanlæg, herunder puppekasser, ægopsamlingsenheder mv.
- Indkøring af nyt ventilationssystem i nye fremtidige puppestalde
- Optimering af klimakurver til seedlarver, puppearver og vækstlarver
- Optimering af fodring (mængde, recepter, konservering mv.) til seedlarver, puppearver og vækstlarver
- Management relateret til ny løsning til dosering af larver til væstkasser
  - o Vi har øget overlevelsen ved dosering af neonates fra 25% til 95%.

## Biomassegrundlag

Der er i perioden anvendt betydelige ressourcer til afklaring af biomassegrundlag, herunder potentielle mængder, foderværdi, logistik og håndteringsbehov. Sourcing af biomasser til larvefoder har i 2022 været under pres grundet de høje energipriser, og deraf øgede efterspørgsel på biomasser til biogasanlæg.

Den forestående skalering og samarbejdet med DLG, som er trådt ind i ejerkredsen hos ENORM, har medvirket til øget opmærksomhed omkring fabrikken. Der er samtidig EU regulering på vej, som presser fødevarer virksomhederne til at prioritere afsætning højest muligt i værdikæden, hvilket også taler for at flere store virksomheder undersøger mulighederne for at flytte deres biomasser fra anvendelse til biogas til larvefoder. Vi er fortsat i proces med at afdække anvendelse og aftalegrundlag med diverse foderleverandører. Vi har i lab-skala testet forskellige biprodukter, som vi, grundet tekniske og kapacitetsmæssige begrænsninger, på det nuværende pilotanlæg ikke kan håndtere, men som vi forventer vil blive en essentiel del af vores fremtidige foderrecept.

Målet er, for at produktionen skal indfri sin eksistensberettigelse, at recepten skal indeholde fodermidler af lavest mulig værdi og anvendelse til enmavede husdyr. Det er ikke en kendt og saglig måde at opgøre dette. Og et lavt normtal for CO<sub>2</sub> ækvivalenter er ikke retvisende ift. målet om af sikre optimal cirkulær anvendelse. Foreløbigt kategoriserer vi internt fodermidlerne ud fra følgende:

- A) Restbiomasser af lav værdi til enmavede dyr (som primært anvendes til biogas)
- B) Restbiomasser af høj værdi, som også anvendes som foder til enmavede dyr
- C) Traditionelt foder af lav værdi til enmavede dyr
- D) Traditionelt foder af høj værdi til enmavede dyr

Det vil til enhver tid være målet at forbedre recepten, så andelen af A produkter øges, og andelen af C produkter reduceres. Modellen er under løbende optimering.

Vores nuværende recept i pilotskala fordeler sig således ud fra den interne kategorisering:

	Andel TS	Andel vådvægt
A	55,91	84,42
B	14,26	5
C	29,83	10,58
D		
	100	100

Den recept som pt. er bedste bud på den recept, som vil lægge til grund for fuldskalaproduktionen i H1 2024 fordeler jeg således:

	Andel TS	Andel vådvægt
A	24,10	73,01
B	24,53	8,59
C	51,37	18,4
D	0,00	0
	100	100

## Lugtreduktion

Der er i samarbejde mellem Enorm og Teknologisk Institut blevet udført en række lugtmålinger, i forbindelse med optimering af INNO+ luftrensere.

Man har både udtaget prøver via dynamisk olfaktometri, samt ved hjælp af PTR-MS. Målet med PTR-MS-målingerne var at identificere hvilke stoffer i luften der bidrog til lugten. Målet var at optimere luftrenseren, ved at optimere fjernelsen af uønskede stoffer.

Målet med dynamisk olfaktometri målingerne var at få værdier for lugten, der vil kunne bruges til OML-beregninger.

Målingerne og OML-beregningerne viste at ENORM, med den gældende placering til nærmeste naboer, og de forventede emissioner skal rense luften 85%, ved etablering af 14 meter høje afkast på de 4 store fremtidige afkast. Målingerne sandsynliggjorde samtidig at lugtrensingsmetoden, som i forvejen er etableret på pilotanlægget og vil blive implementeret på de fremtidige vækststalde, vil kunne rense minimum 85%. Der er i perioden opnået landzonetilladelse til etablering af afkast på 15 meter.

## AP 2 – Teknologiske gennemførlighedsundersøgelser til optimering af produktions set-up

I arbejdsplanen 2 arbejdes der med at kortlægge de teknologiske behov for en automatisering af en bæredygtig produktion af BSF larver. Dette omfatter dimensionering af infrastruktur, der skal understøtte logistik, klimastyring, vask, fyldning, tømning, fodring og processering af larverne.

Leverancer i denne arbejdsplan:

1. Projektering af fabrikken i fuld skala (30 tons levende larver per dag) med hensyn til et mål om 0-spiltsproduktion.
2. Intern rapport til brug ved dimensionering af klimastyring i fuldskala-produktion baseret på GHG (Green House Gas) analyser samt CFD (Computational Fluid Dynamics) modellering.
3. Specifikationer til intern logistik af BSF larvevækststalde
4. Udvikling af prototype til dosering af baby larver

### Status

Alle leverancer i arbejdsplanen anses for indfriet ved udgangen af rapporteringsperioden.

På trods af at byggeriet blev påbegyndt i begyndelsen af 2022, har der i løbet af året foregået væsentlige ændringer og tilpasninger af de tekniske løsninger. Den største ændring i projektet i 2022, kom som følge af de stigende gaspriser. Det havde længe været planen, at fabrikken skulle opføres med energiforsyning fra en naturgaskedel, for at mitigere tekniske risici og ikke mindst investeringer i projektet, som samlet set er blevet væsentligt højere end antaget da MUDP projektet blev søgt i 2018. Dog steg gaspriserne til et niveau, hvormed forretningen ikke ville være rentabel, hvis disse skulle fortsætte efter produktionen, kom i drift. Den løsning er nu erstattet af en ny kedelcentral, som kan anvende CO<sub>2</sub>-neutral biomasse i form af skovflis, haveaffald, energipil og anden lokalproduceret træbaseret biomasse. Samtidig investeres der i et anlæg til varmegenvinding fra staldene, der er forbundet med insektproduktionen. Varmegenvindingsløsningen giver, sammen med øvrige energioptimeringer, et forventet reduceret energiforbrug på 38 procent ved den fremtidige produktion og forarbejdning af 100 ton larver om dagen. Ændringen gav årsag til en væsentlig yderligere investering, som den eksisterende ejerkreds og øvrige finansieringspartnere har imødekommet.

### AP2 aktiviteter

Der er i perioden arbejdet målrettet med at udvikle, projektere og teste teknologiske løsninger, som skal lægge til grund for projektering af fuldskalaanlægget. Leverancer i arbejdsplanen er indfriet og fuldskalaanlægget er under opførelse, dog er der fortsat nogle detaljer som fortsat er til beslutning, undersøgelse eller detailprojektering.

Der er herunder redegjort for aktiviteter i arbejdsplanen, hvortil der er søgt tilskud, i perioden 2022.

## Håndtering af æg og neonates

I 2022 er der implementeret en prototype på et veje- og doseringsanlæg til neonates, som er udviklet i samarbejde med Sealing System og Jesma. Anlægget kom i drift i 2022, men kun indledningsvist testet ift. management. Hannemann Engineering har sideløbende udarbejdet CAD tegninger og designudkast til en alternativ doseringsenhed, og udført forsøg relateret til et tællesystem af neonates. Det er derfor besluttet at arbejde videre med løsningerne med Sealing System, hvorfor udviklingssamarbejdet med Hannemann afsluttes. Der indsendes snarligt en anmodning om at flytte resterende budget fra Hannemann til Enorm, for at understøtte det videre udviklingsarbejde med håndtering af æg og neonates.

Der er i 2022 arbejdet på udvikling af en ægbank, et hatchery og en neonatebank, som vil få det formål at kunne lagre flueæg i længst mulig tid, klække æggene på det mest nøjagtige tidspunkt, opsamle og/eller dosere de klækkede neonates i mest nøjagtige mængder, og efterfølgende lagre neonates i længst mulig tid.

Det kræver bl.a. et ekstremt kontrolleret klima. Vi har i dag to forskellige typer management ved anvendelse af vores "laboratorie hatchery" - som virker, og som er blevet udviklet og optimeret i løbet af 2022. Vi vil dog gerne opnå endnu højere overlevelse og nøjagtighed i klækningstidspunkter og doseringsmængde. Der foretages derfor ugentligt tests, da vi inden længe skal tage endelige beslutninger om vores fuldskala hatchery-koncept.

## Intern logistik

Montage af logistikanlægget på fuldskaalanlægget blev påbegyndt omkring årsskifte 22/23. Der har dog indtil udgangen af året foregået tilpasninger i design.

## Separation af larver og frass

I 2022 har vi arbejdet videre med løsninger til separation af larver og frass. Den løsning, som nu er bestilt til fuldskaalanlægget, blev færdigudviklet og projekteret. Der arbejdes dog fortsat med optimering af løsningen, for at øge tolerancen for tørstofindhold i frassen, uden at det negativt påvirker renheden af larverne.

## AP 3 - Demonstration af full-line produktion af insektmel og -olie

I arbejdsplan 3 etableres en testproduktion af larver med henblik på at demonstrere hele produktionskæden fra fluer til færdig produktion af insektmel og insektolie.

Leverancer i denne arbejdsplan:

1. Daglig produktion af 1,5 tons levende larver
2. Daglig produktion af æg til basis for produktion af 30 tons levende larver per dag
3. Daglig produktion af 450 kg affedtet insektmel, 80 kg insektolie og 680 kg gødning

Arbejdsplan 1 og 2 vil danne grundlag for, at der kan etableres en testproduktion af flueæg, fluelarver, insektmel og olie. Hele den biologiske proces, samt dele af automatiseringen vil blive testet. Dette omfatter bl.a. test af:

- Vækstkasser og logistik i staldene
- Fyldning, tømning, vask
- Ventilation
- Automatiseret håndtering af æg, seedlarver og høstklare larver
- Fodringsanlæg
- Separation af larver og kompost
- Processering af larver til insektolie, insektmel og kompost
- Pakning og lagring

### Status AP 3 og aktiviteter

Leverance 1) og 3) anses som indfriet ved udgangen af forrige rapporteringsperiode (2021). Leverance nr. 2 vil som tidligere oplyst ikke kunne indfries indenfor pilotanlægget rammer, og følger derfor ved fuldskalaanlæg.

Pilotanlægget har i 2022 været i fortsat drift, og der er lavet løbende optimeringer på diverse anlæg. Herunder er der installeret helt nyt foderanlæg og lavet de sidste tilpasninger på procesanlægget til forarbejdning af larver. Inventaret i fluestalden har ligeledes været under udvikling, og flere nye prototyper er taget i drift. Derudover er de fremtidige puppestalde blevet inkluderet i driften af pilotanlægget og anvendes både til produktion af pupper, seedlarver og vækstlarver.



## AP 4 - Etablering af fuldskala anlæg

Ifølge ansøgningens arbejdsplan 4 skaleres larveproduktionen op til 30 tons levende larver om dagen.

Leverancer i denne arbejdsplan:

1. Daglig produktion af 30 tons levende larver
2. Daglig produktion af 8,9 tons affedt insektsmel (proteinmel), 1,6 ton insektolie og 13,6 ton gødning

### Status AP 4

Byggeriet af fuldskalaanlægget er foregået i det meste af 2022, og blev igangsat kort tid efter finansieringen kom på plads. Den første finansieringsrunde (før kedelbygningen) var på i alt 370 mio. dkk. Bl.a. er landbrugsselskabet DLG blevet en del af ejerkredsen, mens Nykredit Bank og Danmarks Grønne Investeringsfond (nu Danmarks Eksport- og Investeringsfond) yder lånekapital til projektet.

Der er i 2022 opnået miljøtilladelse til produktion i pilotanlæg, puppestalde og fluestald, samt afgørelse om ingen VVM i revideret VVM screening, som omfatter den nye fliskedel og dertilhørende kedelbygning.

Grundet vejrlige forhold i starten af 2023, er byggeriet blevet et par måneder forsinket, og produktionen i det nye anlæg kan forventeligt påbegyndes i januar 2024, hvorefter leverancer i arbejdsplanen forventes indfriet inden udgangen af H2 2024. Det betyder at projektet kan forventes endeligt afsluttet medio 2024.

Brandfilmen indeholder droneoptagelser af byggeriet fra Q1 2023: <https://youtu.be/dyxqByXgm9E>

## AP 5 - Udvikling af fiskefoder

I arbejds pakken gennemføres en række forsøg i samarbejde med Aller Aqua og DTU Aqua med henblik på at fastlægge insektmelets egnethed som ingrediens i fiskefoder. Arbejds pakken vil arbejde med anvendelse og inklusion af insektmel i foder til hovedsageligt ørreder. ENORM søger at optimere råvaren til fiskens behov og beregner konkurrencedygtighed/økonomiske konsekvenser. (UDV)

Leverancer i denne arbejds pakke:

1. Der er udviklet en protein- og fedtingrediens baseret på insekter, forventeligt velegnet til fiskefoder (ENORM)
2. Der er gennemført en række forsøg med ørreder, hvorunder fordøjeligheder, biologisk værdi og muligt inklusionsniveau er fastlagt (DTU, Aller Aqua).
3. Der er udviklet et egentligt foder til ørreder, hvori insektmel indgår som ingrediens (Aller Aqua)
4. Der gennemføres rentabilitetsberegninger på insektproduktionen, som demonstrerer hvorvidt produktionsomkostningen på insektmel er konkurrencedygtig i forhold til øvrige råvarer (ENORM)

## Status AP 5

DTU's fodringsforsøg viser at insektmelet er egnet som fiskefoder. Der optimeres dog fortsat på produkternes indhold og kvalitet. Vi har afventet kommercielle fodringsforsøg hos Aller Aqua, for at opnå det bedst mulige produkt forinden, og det er besluttet at udskyde den sidste del af forsøgene til den sidste del af projektet H2 2023 -H1 2024. Rentabilitetsberegninger vil forestå samtidig med kommercielle forsøg, og indgå i slutrapport.

## Aktiviteter hos DTU

Hos DTU er de sidste planlagte forsøg gennemført i løbet af 2022, ligesom der er foretaget en række kemiske analyser af div. materiale. Sideløbende hermed er den videnskabelige publicering gennemført, og følgende artikler er nu publiceret fra projektet:

Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. Eggink, K. M., Lund, I., Pedersen, P. B., Hansen, B. W. & Dalsgaard, J., 2022, In: PLOS ONE. 17, 9, 18 p., e0275213.

Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and rainbow trout fed different black soldier fly larvae meal size fractions. Eggink, K. M., Pedersen, P. B., Lund, I. & Dalsgaard, J., 2022, In: Aquaculture Research. 53, 16, p. 5536-5546 11 p.

Optimal dietary protein to carbohydrate ratio for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Eggink, K.M., I.G. Donoso, I.G., Dalsgaard, J. Journal of Insects as Food and Feed. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0102> 10 p. Published Online: January 31, 2023.

Overordnet er de anvendelsesmæssige hovedkonklusioner for DTU Aqua's arbejde:

Black soldier fly kan bruges som en alternativ ingrediens i fiskefoder. Der er imidlertid nogle begrænsninger, som et fortsat udviklingsarbejde med fordel kan fokusere på:

1. Visse aminosyrer som er essentielle for fisk, som f.eks. methionin, forekommer i begrænsede mængder i Black Soldier Fly larver (BSFL). Vi har prøvet at ændre aminosyreprofilen ved at justere på vækst-substratet og høsttidspunktet, men aminosyreprofilen synes at være relativt prædestineret og konstant. Ved højere inklusionsniveau af BSFL i fiskefoder vil det formentlig være nødvendigt med tilsætning af krystallinske aminosyrer. Dette er en kendt og generelt brugt metode ved fremstilling af moderne fiskefoder.
2. BSFL har en fedtsyreprofil med stort set udelukkende mættede fedtsyrer, og de mangler generelt flerumættede fedtsyrer som EHA og DPA, som er vigtige fedtsyrer for de fleste fiskearter. Det er påvist muligt at reducere andelen af mættede fedtsyrer ved at vokse larverne på et substrat med stor andel umættede fedtsyrer og f.eks. høste larverne i tidligere stadier. Andelen af fler- og polyumættede fedtsyrer i BSFL kan øges ved at vækste larverne på substrater med høj andel af disse fedtsyrer, substrater såsom alger, fiske-affald/fraskær, rejeskaller, muslinger m.v., men akkumuleringen af umættede fedtsyrer i larverne synes dog af være fysiologisk begrænset. Fedtfraktionen af sådanne larver kan derfor kun i et vist omfang erstatte fiskeolie i fiskefoder.
3. Chitin, som er til stede i BSFL og dermed også melet, har negativ effekt på fordøjeligheden af flere næringsstoffer i fisk. Den sande proteinfordøjelighed (dvs. fratrukket kvælstof-andelen bundet i chitin) faldt med højere inklusionsniveau af chitin i foderet for både regnbueørred og tilapia. Begge fiskearter er i stand til at fordøje chitin i moderat omfang ved et lavt inklusionsniveau, men fordøjeligheden falder signifikant ved højere inklusionsniveauer af chitin. Fraktionering, f.eks. via simple sigtning resulterede i et finere mel med et forhøjet indhold af essentielle aminosyrer og et lavere chitinindhold sammenlignet med melet uden sigtning og dermed frasortering af de grovere bestanddele i melet.

## AP 6 - Udvikling af koncept til værdiskabelse af insekt frass

Målet med arbejdspakken er at udvikle et eller flere koncepter til optimal udnyttelse og værdiskabelse af insekt frass. Dette er gældende for både insekt frass fra en produktion med godkendt foder i form af restbiomasser, og fra en produktion med foder baseret på bio-pulp (tidligere fødevarer og køkkenmadaffald) i samarbejde med DAKA og Wice4Soil projektet. Der fokuseres på at udvikle et økonomisk bæredygtigt koncept, der kan implementeres ud fra de nuværende lovmæssige rammer, og komme med inputs til dokumentationen til fremtidig harmonisering af EU regler om forarbejdning og anvendelse af insekt frass som gødningsprodukt.

Ved ændringsanmodning i april 2022 blev det godkendt at "fase 2" af AP6, som ikke har været defineret, skulle udnyttes til at foretage gødningsforsøg hos Teknologisk Institut. I den forbindelse er der tilføjet nedenstående leverance 3.

Leverancer:

- 1) Forskellige modeller til værdiskabelse af frass er kortlagt
- 2) Notat / rapport med resultater der beskriver lovmæssige rammer, økonomi og miljø ved forskellig forarbejdning og anvendelse af frass. Samt definition og analyse af selve frassen og dens egenskaber.
- 3) Rapport med resultater af gødningsforsøg

### Status og aktiviteter AP6

I 2022 har der i samarbejde mellem ENORM og Teknologisk Institut, pågået planlægning af hygiejnisering af frass og gødningsforsøg, herunder er der foretaget et lille litteraturstudie med resultater af tidligere frass gødningsforsøg for at målrette forsøgene.