



**Miljø- og  
Fødevareministeriet**  
Miljøstyrelsen

# **WICE - Waste, Insects and Circular Economy**

Miljøprojekt nr. 2011

Maj 2018

Udgiver: Miljø- og Fødevareministeriet

Redaktion:

Christian Holst Fischer, Teknologisk Institut

Lars-Henrik Lau Heckmann, Teknologisk Institut

Martin Dahl, MD ApS

Palle Hannemann, Hannemann Engineering ApS

Jacob Wagner Jensen, Bigadan A/S

Freddy Fogh Sørensen, Meldgaard A/S

Peter Foged Larsen, KOPENHAGEN FUR

a.m.b.a.

Kevin Byskov, KOPENHAGEN FUR a.m.b.a.

ISBN: 978-87-93710-13-9

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

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Opsummering og konklusion</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Indledning</b>	<b>9</b>
3.1	Fokusering	9
3.2	Opbygning af rapport	9
3.3	Definitioner	10
<b>4.</b>	<b>Økologisk risikovurdering og lovgivning</b>	<b>11</b>
4.1	Økologisk risikovurdering	11
4.2	Lovgivning	12
<b>5.</b>	<b>Optimering af insekt-konvertering af organisk husholdningsaffald</b>	<b>13</b>
5.1	Produktionsoptimering af sort soldaterflue	13
5.1.1	Litteraturstudie	13
5.1.2	Optimeringsforsøg i laboratorieskala	14
5.1.2.1	Forbehandling af organisk affald	14
5.1.2.2	Larvetæthed og tørstofindhold af substrat	15
5.1.2.3	Fodringsmængde og fodringsfrekvens	16
5.2	Produktionsoptimering af Zophobas morio	18
<b>6.</b>	<b>Fordøjelighedstest med mink</b>	<b>19</b>
6.1	Fordøjelighedstest – black soldier fly-larver fra pilotproduktionen	19
6.1.1	Materiale og forsøgsdesign	19
6.1.2	Forsøgets gennemførelse	21
6.1.3	Resultater	22
6.1.4	Konklusion	23
6.2	Fordøjelighedstest – BSFL tørret, affedt og formalet	23
<b>7.</b>	<b>Pilotproduktion af insekter på organisk husholdningsaffald</b>	<b>25</b>
7.1	Design og etablering af pilotanlæg	25
7.2	Resultater fra pilotanlæg	25
7.2.1	Overordnede produktionsdata	25
7.2.2	Udvalgte batchproduktioner	27
<b>8.</b>	<b>Forundersøgelse vedr. fuldskalaproduktion</b>	<b>31</b>
8.1	Værdikæde - overblik	31
8.2	Flowdiagram for produktionsanlægget	32
8.3	Produktionsanlægget	33
8.4	Produktionsanlæg layout	34
8.4.1	Automatisk højlager	35
8.4.2	Maskiner & foderdistribuering	35
8.4.3	Ventilation	36
8.5	Nøgletal	36
8.5.1	Estimerede priser og Return on Investment (ROI)	37

8.6	Arbejds miljø	39
<b>9.</b>	<b>Produktvalidering</b>	<b>40</b>
9.1	Væksttest med mink	40
9.1.1	Forsøgsbetingelser og databehandling	40
9.1.2	Forsøgsresultater	41
9.2	Plantetest: Vækstpotentiale og biologisk bekæmpelsespotentiale af insektgødning	42
9.2.1	Materialer og metoder	43
9.2.2	Resultater	44
9.2.3	Diskussion	47
9.3	Biogastest: Vurdering af insektgødning til bioforgasning	48
9.3.1	Fremgangsmåde	48
9.3.2	Resultater	48
9.3.3	Diskussion	48
9.4	Økonomisk perspektivering	49

# 1. Forord

Nærværende rapport udgør slutrapporten for projektet "Waste, Insects and Circular Economy (WICE)" under Miljøministeriets tilskudsordning MUDP. Projektet blev gennemført i perioden januar 2016 til december 2017 i et samarbejde mellem Teknologisk Institut, MD ApS, KØPENHAGEN FUR a.m.b.a., Meldgaard Miljø A/S, Bigadan A/S og Hannemann Engineering ApS.

Det overordnede formål med projektet var at etablere og drive pilotanlæg til produktion af protein- og fedtholdige insektlarver på basis af organisk husholdningsaffald. Insektlarvernes anvendelighed blev testet som minkfoder, og restproduktet fra processen blev testet i forhold til biogas- og planteproduktion. Nærværende rapport giver en opsummering af projekts overordnede resultater.

## 2. Opsummering og konklusion

Det overordnede formål med projektet var at etablere og drive pilotanlæg til produktion af protein- og fedtholdige insektlarver på basis af organisk husholdningsaffald. Insektlarvernes anvendelighed som minkfoder blev testet, og insektgødning (restproduktet) fra processen blev testet i forhold til biogas- og planteproduktion. I projektet var der som udgangspunkt inkluderet to insektarter: den sorte soldaterflue (Black Soldier Fly (BSF)) og kæmpemelormen. Tidligt i projektet blev det dog besluttet at fokusere det videre arbejde på den sorte soldaterflue, idet kæmpemelormen ikke var i stand til at omsætte det organiske affald.

### Økologisk risikovurdering og lovgivning

Indledningsvis er der blevet gennemført en økologisk risikovurdering af den sorte soldater flue, da den ikke er en hjemmehørende art i den danske natur (se kapitel 4). Risikovurderingen viser, at produktion af sort soldaterflue kan foretages under indelukkede forhold hvor der ikke er risiko for udsætning af levende dyr. Derudover giver den et overordnet indblik i den sorte soldaterflues eventuelle overlevelsesmuligheder i dansk natur.

På nuværende tidspunkt er det ikke lovligt, at anvende kildesorteret organisk affald som foder-substrat til insekter, idet EU anser insekter som opdrættede dyr på linje med fx fjerkræ og svin. I nærværende projekt er der derfor indhentet tilladelse fra Fødevarestyrelsen til at producere insekter på kildesorteret organisk affald, idet affaldet kan indeholde animalske biprodukter og fysiske urenheder.

### Pilotskalaproduktion af sort soldaterflue

I projektet blev der etableret en pilotskalaproduktion af sorte soldaterfluer. I produktionen blev oparbejdet kildesorteret organisk affald (biopulp) anvendt som substrat (se kapitel 7). Pilotskalaproduktionen har overvejende fokuseret på opdræt af podelarver (4 dage gamle) til sidste larvestadie (14-16 dage gamle) og blev designet på baggrund af en række indledende optimeringsforsøg i laboratorieskala (se kapitel 5)

Over en periode på 12,5 måneder blev der i pilotskalaproduktionen i alt gennemført 30 batch-produktioner. I alt blev der anvendt ca. 1.400 kg biopulp og produceret ca. 300 kg insektbiomasse og 200 kg insektgødning. Den anvendte biopulp repræsenterer således kildesorteret organisk affald fra alle fire årstider. Den gennemsnitlige konverteringsrate fra biopulp til insektbiomasse var 2,8 (tør til tør) og 4,8 (våd til våd). Forsøgene viste, at årstiden umiddelbart ikke influerer på konverteringsraten. Indholdet af protein og fedt i larverne blev i pilotskalaproduktionen bestemt til henholdsvis 33-47 % og 27-36 %.

I pilotskalaproduktionen var den gennemsnitlige reduktion af biomasse 85-86 % (våd), dvs. at der kun var ca. 15 % tilbage i insektgødningen i forhold til den anvendte mængde biopulp. Volumen og mængden af affald reduceres altså kraftigt, hvilket er af stor betydning for en efterfølgende transport. Den udsorterede insektgødning havde et kvælstofindhold på 2,3 % og et fosforindhold på 0,6 %.

### Forundersøgelse

For at vurdere den overordnede økonomi for produktion af sorte soldaterfluer, er der gennemført en forundersøgelse (se kapitel 8). I undersøgelsen blev de omkostninger, der er forbundet

med etablering og drift af et storskalaproduktionsanlæg (1.000 tons pr. år), estimeret. Omkostningerne inkluderer bl.a. udstyr og maskineri samt foder og indkøb af podelarver. Yderligere blev de forventede salgsindtægter estimeret. Undersøgelsen viste, at tilbagebetalingstiden var ca. 7,5 år. Der er dog betydelige usikkerheder i dette estimat, idet reproduktionen kun er behandlet overfladisk, og da prissætning af larverne stadig pågår.

### **Produktvalidering**

I projektet er der gennemført en række forsøg med validering af både insekter og insektgødning fra pilotskalaproduktionen med det formål at kunne værdisætte disse. I de nedenstående afsnit opsummeres resultaterne fra forsøgene.

#### ***Fordøjelighedstest med mink***

I projektet er der gennemført to fordøjelighedstest (se kapitel 6). Det første forsøg blev gennemført med larver fra pilotproduktionen, som var dyrket på biopulp, og det andet var et tørret, affedt og formalet soldaterfluelarvemel, som blev importeret fra en tysk producent. Resultaterne af den første fordøjelighedstest med soldaterfluelarver, der var fodret med biopulp, viste, at fordøjeligheden for både protein- og fedtfraktionen var på højde med fiskemels.

I det andet forsøg med tørret, affedt og formalet soldaterfluelarvemel var den målte fordøjelighed for protein noget lavere (14 %), hvorimod fordøjeligheden af fedt og kulhydrat var på samme niveau. Det er overvejende sandsynligt, at forskellen skyldes den anvendte processering (tørring, formaling). Således vil dette skulle tages i betragtning ved en evt. etablering af en storskalaproduktion.

#### ***Væksttest med mink***

Væksttest med mink blev gennemført med tre hold af ca. 135 mink, som fik hhv. 2,5% (FI 2,5) og 5% (FI 5) fluelarvemel i foderet samt en kontrolgruppe som ikke fik fluelarvemel.

Vægten ved pelsning var lavere for de to grupper som fik fluelarvemel. Endvidere ses en numerisk faldende skindlængde, med stigende iblanding af fluelarvemel, men forskellene er ikke signifikant forskellige fra kontrolgruppen. For skindkvalitet ses derimod en signifikant negativ effekt, når der fodres med fluelarvemel i foderet, idet skindene får en mindre fyldig uld. I holdene med fluelarvemel har der været færre døde mink, men forskellen er ikke signifikant. Det skal dog bemærkes, at forsøgene er gennemført med tørret, affedt og formalet soldaterfluelarvemel, som viste sig at have en markant lavere fordøjelighed end den fersk varmebehandlet soldaterfluepulp (se ovenfor). Det kan ikke udelukkes, at den reducerede fordøjelighed fluelarvemelet har haft en negativ effekt på væksttesten.

#### ***Plantetest***

I projektet er der gennemført to plantetest – én korttidstest og én langtidstest – med insektgødning fra pilotskalaproduktionen. Korttidstesten viste en signifikant negativ effekt af insektgødning på biomassetilvæksten. Langtidstesten viste derimod, at intermediære koncentrationer med optimum omkring et insektgødningsindhold på ca. 15 vol-% resulterer i en signifikant positiv effekt på biomassen for såvel hele planten som for selve akset. Den positive effekt af insektgødning på såvel den totale biomasse som på aksbiomassen indikerer, at insektgødningen fremadrettet har et potentiale som næringsmedie. Der blev i forsøget ikke fundet nogen biosanerende effekt af insektgødningen i forhold til plantesygdommen aksfusarium på byg.

#### ***Biogastest***

Testene viser, at udbyttet af det organiske materiale er ca. det halve i insektgødningen ift. biopulpen. Dog er vandindholdet i insektgødningen langt lavere end i biopulpen, hvilket bevirker, at udbyttet opgjort i frisk vægt er 10-75 % højere for insektgødningen. Dog er det vigtigt at holde sig for øje, at mængden af insektgødning kun udgør 5-35 % af den indgående biopulp

(gennemsnit 14 %), hvorfor det samlede biogasudbytte af insektgødningen udgør ca. 0,5 % (worst-case) eller op til 26 % (best-case) af biopulpen.

### **Overordnet konklusion**

Projektet viser med al tydelighed, at oparbejdet, kildesorteret organisk affald er et meget potent substrat til dyrkning af soldaterfluelarver. Med udgangspunkt i resultaterne fra projektet anslås det, at der årligt vil kunne produceres ca. 150.000 tons soldaterfluelarver, som svarer til 50.000 tons på tørstofbasis. På baggrund af de gennemførte vækstforsøg og fordøjelighedsforsøg med mink vil denne mængde kunne afsættes til minkindustrien og dermed substituere anden foder, som dermed kunne være brugt til andre formål. Det er dog en forudsætning for denne antagelse, at sort soldaterfluelarver kan produceres til en konkurrencedygtig pris. Dette vurderes på nuværende tidspunkt at være vanskeligt, dels fordi teknologien stadig er på et meget ungt stadie, og dels fordi priserne for kildesorteret organisk affald er høje på grund af afsætningen til biogasbranchen, som får betydelige subsidier. Biproduktet fra insektproduktionen er en insektgødning, som har en kompostlignende struktur. De indledende test af gødningen viser meget lovende resultater i forhold til anvendelse både som næringsstofkilde og som substrat til biogasproduktion. Dog kræves yderligere test, før biproduktet kan prissættes.

På trods af bearbejdning af det organiske affald ifm. fremstilling af biopulp, kan biopulp kan indeholde fysiske urenheder som udlægges på landbrugsjord efter bioforgasning. Gennem biokonverteringen af biopulpen faciliterer larverne en opkoncentrering af de fysiske urenheder. Dette muliggør at de fysiske urenheder vil kunne frasorteres og dermed potentielt sikre mindre forurening af landbrugsjord.

Endvidere er det på nuværende tidspunkt ikke tilladt at anvende kildesorteret organisk affald eller køkken- og madaffald til produktion af insekter, idet insekter er kategoriseret som opdrættede dyr. Det er derimod tilladt at anvende køkken- og madaffald til fodring af mink. Igennem projektet er der dog initieret en god dialog mellem relevante myndigheder og interessenter inden for værdikæden, både nationalt og internationalt.



# 3. Indledning

Som det fremgår af regeringens ressourcestrategi, har Danmark et ønske om at afdække mulighederne for genanvendelse af det organiske husholdningsaffald. I dag indgår den organiske fraktion oftest som en del af restaffaldet, som anvises til forbrændingsanlæg til produktion af varme og el. De løsninger til behandling af organisk affald, der findes på markedet i dag, begrænser sig til en kildesortering i hjemmet efterfulgt af bioforgasning eller kompostering.

Larver fra insekter er i stand til effektivt at omdanne organisk materiale til protein- og fedtrige produkter, der i høj grad efterspørges på verdensmarkedet – herunder inden for fødevarer- og foderstofindustrien og som foder til fx kæledyr- eller pelsdyr. Udenlandske studier peger på, at organisk husholdningsaffald er en fortræffelig biomasse til produktion af larver, og at etableringen af et larvekonverterings-procestrin (fx forud for biogas) vil kunne øge rentabiliteten i behandlingen af det organiske affald. Herved øges sandsynligheden for, at der etableres flere biogasanlæg til udnyttelse af det organiske husholdningsaffald.

Nationalt vil der kunne leveres ca. 500.000 tons kildesorteret, organisk husholdningsaffald ('insektfoder'), hvilket ved projektets opstart blev vurderet som svarende til 100.000 tons insektbiomasse med en markedsværdi på over 100 mio. kr. Idet lovgivningen ved projekts start ikke tillod, at insekter anvendes til husdyrfoder eller fødevarer, tager nærværende projekt udgangspunkt i en værdikæde, som har pelsdyrbranchen som primær aftager, idet denne værdikæde er uden for fødevarerækeden. Det skal dog understreges, at organisk affald ikke må anvendes til produktion af insekter til kommercielt brug og kræver en tilladelse mht. test i forsknings- og udviklingsarbejde. Der er i nærværende projekt derfor indhentet tilladelse fra Fødevarestyrelsen til de gennemførte forsøg.

Det overordnede formål med projektet var at undersøge muligheden for at bruge kildesorteret organisk affald som foder til produktion af hhv. sort soldaterflue (*Hermetia illucens*) og kæmpemelorm (*Zophobas morio*). Målet var, at de resulterende data og erfaringer fra projektet skulle kunne danne grundlag for en vurdering af forretningsmulighederne for anvendelsen af larver som behandlingsmetode for kildesorteret organisk affald set i et dansk perspektiv. Det overordnede succeskriterie for projektet var, at analysen kunne give svar på, om der grundlæggende er et potentiale i Danmark for behandling af organisk husholdningsaffald vha. insektlarver.

Nærværende rapport giver en opsummering af resultaterne fra projektet WICE (Waste, Insects and Circular Economy).

## 3.1 Fokusering

Produktionen af insekter kan overordnet inddeles i fire områder: 1) Reproduktion, 2) Produktion, 3) Separation og 4) Aflivning og processering.

Rapporten vil overvejende fokusere på produktion, separation og den efterfølgende anvendelse af larverne.

## 3.2 Opbygning af rapport

Rapporten er opbygget i følgende afsnit:

- Indledningsvis gives der en økologisk risikovurdering ift. at producere ikke-hjemmehørende insektarter i Danmark, og lovgivningen på området opsummeres (kapitel 4)

- Dernæst gives et overblik over de gennemførte optimeringsforsøg med hhv. sort soldaterflue og kæmpemelorm (Kapitel 5)
- Herefter opsummeres resultaterne fra de gennemførte fordøjeligheds- og smagsforsøg med sort soldaterflue til mink (Kapitel 6), og opbygningen og resultaterne fra pilotproduktionen gennemgås (Kapitel 7)
- Afslutningsvis behandles de gennemførte produktvalideringstest (Kapitel 9), herunder (i) væksttest med mink, (ii) plantetest med gødningsprodukt og (iii) biogastest med gødningsprodukt. Dette vurderes til slut samlet i en økonomisk perspektivering.

### 3.3 Definitioner

Nedenstående er anført en række definitioner og forkortelser som anvendes i rapporten.

Forkortelser:

- Black soldier fly (BSF). Anvendes bredt om insektarten
- Black soldier fly-larve (BSFL). Anvendes om BSF larver
- Tilsyneladende totale fordøjelighedscoefficients (TTFK)
- Feed-conversion-ration (FCR) – se nedenfor
- Kildesorteret organisk dagrenovation

Definitioner:

- Feed-conversion-ration (FCR): Forholdet mellem tilført foder og produceret insektbiomasse. Opgøres både på våd- og tørbasis
- Insektgødning: Restproduktet fra produktionen. Insektgødningen har en kompostlignende struktur og er forholdsvis tør (tørstof >60 %), når larverne udsorteres herfra
- Produktion: Denne fase dækker over fasen fra nyudklækkede larver, til larverne separeres fra insektgødningen
- Reproduktion: Denne fase dækker over de voksne fluer (moderkulturen) og de æg, der bliver lagt, samt klækningen af disse
- Podelarver: Daggamle larver fra reproduktionen, ca. 4 dage gamle
- Biopulp: Kildesorteret organisk affald, som er blevet bearbejdet i oparbejdningsanlæg/forbehandlingsanlæg.

# 4. Økologisk risikovurdering og lovgivning

## 4.1 Økologisk risikovurdering

Indledningsvis blev der udarbejdet en økologisk risikovurdering mht. at producere (produktion og reproduktion) den sorte soldaterflue i industriel skala. I risikovurderingen er kun den sorte soldaterflue medtaget, idet kæmpemelormen forholdsvis tidligt blev ekskluderet fra projektet (se kapitel 5).

På nuværende tidspunkt er den sorte soldaterflue ikke opført som invasiv art af EU-Kommissionen<sup>1</sup> - og en nyligt udført europæisk kortlægning viser, at den sorte soldaterflue kun har en naturlig udbredelse i den sydlige del af Europa – særligt i Middelhavsområdet<sup>2</sup>. Professor Henrik Enghoff, kurator ved Naturhistorisk Museum, Københavns Universitet, har ligeledes oplyst (juli 2016), at den sorte soldaterflue ikke er registreret i Danmark.

Forskning fra Ghent University<sup>3</sup> understreger, at det er urealistisk, at den sorte soldaterflue vil kunne overvinde i den nordvestlige del af Europa. Artens foretrukne temperaturinterval er 25-40 °C, og de voksne fluer parrer sig ikke ved temperaturer under 20 °C, hvor dødeligheden ligeledes er relativ høj. Fluelarverne kan dog overleve i dvale i flere uger ved lavere temperaturer på ca. 10-16°C. Ovennævnte studie<sup>3</sup> viser ligeledes, at den sorte soldaterflue har potentiale til at kunne akklimatisere sig til lavere temperaturer end det nuværende biologiske foretrukne temperaturinterval. Men umiddelbart er der ingen grund til at antage, at den sorte soldaterflue kan overleve i den danske natur inden for en realistisk tidshorisont – og taget i betragtning at den ikke er kendt som en invasiv art, vil den økologiske risiko ligeledes være meget begrænset.

I forhold til produktion med ikke-hjemmehørende insektarter har biolog Hans Erik Svart fra det tidligere Naturstyrelsen (nu underlagt Miljøstyrelsen) meldt følgende ud (baseret på flere korrespondancer):

*Udsætning af ikke-hjemmehørende dyr er efter Naturbeskyttelseslovens § 31 ikke tilladt uden forudgående dispensation. Hvis de insekter, der ønskes brugt som foder, er levende og for ikke-hjemmehørende arter skal der således foreligge en dispensation. Bestemmelsen medvirker til at sikre, at der ikke introduceres nye invasive arter. Skal der gives dispensation til brug af ikke-hjemmehørende arter, skal det gennem en risikovurdering godtgøres, at disse ikke vil true hjemmehørende arter. Ansøger skal vedlægge denne risikovurdering til ansøgningen. Hvis avlen af fx den sorte soldaterflue sker under indesluttede forhold, og levende fluer således ikke kan undslippe, og fluen i øvrigt ikke på noget tidspunkt i sin livscyklus vil kunne undslippe, skal der ikke gives dispensation efter Naturbeskyttelseslovens § 31. Med andre ord,*

---

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/list/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/list/index_en.htm)

<sup>2</sup> Rohacek J, Hora M (2013). A northernmost European record of the alien black soldier fly *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Casopis Slezského Zemského Muzea (A)* 62: 101-106. <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/cszma.2013.62.issue-2/cszma-2013-0011/cszma-2013-0011.pdf>

<sup>3</sup> Spranghers T, Noyez A, Schildermans K, De Clerck P (2017). Cold Hardiness of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Economic Entomology*, 110:1501–1507. <https://academic.oup.com/jee/article-abstract/110/4/1501/3835955?redirectedFrom=fulltext>

hvis de arter, der bruges, er produceret under indesluttede forhold og kun anvendes, når de er døde eller forarbejdede, vil § 31 ikke gælde.

Produktion under indesluttede forhold kan sikres gennem basale sikkerhedsmæssige foranstaltninger, som fx i) ingen åbne vinduer og ii) mindst to døre/barrierer mellem produktionen og den frie natur. De konkrete produktionsforhold bør dog afklares med Miljøstyrelsen, inden større produktioner igangsættes - særligt hvis der sigtes efter industriel skala (>1.000 tons larver/år).

## 4.2 Lovgivning

Insekter opfattes i EU som opdrættede dyr<sup>4</sup> når disse anvendes til produktion af foder og fødevarer. Jf. Fødevarestyrelsen, som administrerer EU's lovgivning nationalt, må insekter ligesom andre fødevarerproducerende dyr kun fodres med godkendt foder, som fx korn, sojaskrå, ensilagerester fra frugt og grønt samt brød. Derimod må insekter, ligesom andre opdrættede dyr, ikke fodres med eller opdrættes på en række animalske produkter, som fx rester af kød eller fisk, køkkenaffald, husdyrgødning, affald fra rensningsanlæg eller lignende.

Det er primært følgende EU-forordninger, som p.t. forhindrer anvendelse af kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) og køkkenaffald til insektproduktion:

- Forordningen om animalske biprodukter 1069/2009 (§11)<sup>5</sup>
- Markedsføringsforordningen 767/2009 (§ 6, bilag III – kapitel 1, særligt stk. 6+7)<sup>6</sup>
- TSE-forordningen 999/2001 (§7, bilag IV)<sup>7</sup>

Nedenstående tabel fra Fødevarestyrelsen<sup>8</sup> angiver, hvilke ABP-fodertyper, som p.t. kan anvendes lovligt (kommercielt) til insektproduktion.

Fødevarestyrelsen  
2. Januar 2018

Foder af animalsk oprindelse	Drøvtyggere	Unge drøvtyggere	Opdrættede dyr undtagen drøvtyggere, insekter og pelsdyr	Insekter	Akvakulturdyr	Selskabsdyr	Pelsdyr
Forarbejdet animalsk protein (PAP) af drøvtyggere	IT	IT	IT	IT	IT	T	T
Blodprodukter af drøvtyggere	IT	IT	IT	IT	IT	T	T
Kollagen og gelatine af drøvtyggere	IT	IT	IT	IT	IT	T	T
Hydrolyseret protein af drøvtyggere, undtagen huder og skind	IT	IT	IT	IT	IT	T	T
Forarbejdet animalsk protein (PAP) af ikke-drøvtyggere - dog ikke af insekter eller fiskemel	IT	IT	IT	IT	T	T	T
Fiskemel (PAP)	IT	T	T	T	T	T	T
Forarbejdet animalsk protein (PAP) af insekter	IT	IT	IT	IT	T	T	T
Blodprodukter af ikke-drøvtyggere	IT	IT	T	T	T	T	T
Dicalciumfosfat og tricalciumfosfat	IT	IT	T	T	T	T	T
Hydrolyseret protein af ikke-drøvtyggere samt af huder og skind af drøvtyggere	T	T	T	T	T	T	T
Kollagen og gelatine af ikke-drøvtyggere	T	T	T	T	T	T	T
Æg og ægprodukter, mælk, mejeriprodukter, råmælk (colostrum)	T	T	T	T	T	T	T
Afsmeltet fedt	T	T	T	T	T	T	T
Køkken- og madaffald, der er kategori 3 materiale	IT	IT	IT	IT	IT	IT	T
Fast byaffald	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT

Orange markering: IT = Ikke tilladt  
Grøn markering: T = Tilladt  
Blå markering: Kannibalsmeforbudet

Gul kasse: Foderbuddet  
Røde kasser: Jord til bord – lempelse af foderbuddet 2013

<sup>4</sup> EC 893/2017: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0893&from=EN>

<sup>5</sup> EC 1069/2009: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1069&from=DA>

<sup>6</sup> EC 767/2009: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0767&from=DA>

<sup>7</sup> EC 999/2001: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001R0999&from=en>

<sup>8</sup> Tabellen blev fremlagt på møde den 13/1-2017 med Fødevarestyrelsen, Miljøstyrelsen, DTU og Teknologisk Institut.

# 5. Optimering af insekt-konvertering af organisk husholdningsaffald

## 5.1 Produktionsoptimering af sort soldaterflue

Produktionsoptimering af sort soldaterflue har indledningsvis omfattet et litteraturstudie (afsnit 5.1.1), på hvilken baggrund en række forsøg blev opsat (afsnit 5.1.2).

### 5.1.1 Litteraturstudie

Indledningsvis er der gennemført et grundigt litteraturstudie, der primært omfatter studier, hvor organisk affald er anvendt som substrat til produktion af fluelarver (black soldier fly-larver). Inden gennemgangen af studierne blev der defineret en række nøgleparametre, som fx lufttemperatur, luftfugtighed, larvetæthed, udfodringsmængde, fodringsfrekvens samt størrelsen af produktionsareal. Nedenstående tabel viser en oversigt over litteratursøgningen samt angivelse af de opsatte nøgleparametre.

**TABEL 1.** Oversigt over nøgleparametre fra den anvendte litteratur.

	T (air)	RH (air)	RH (sub) (%)	Density (larvae/cm <sup>2</sup> )	Feeding amount (mg/larva -1x d-1)	Feeding frequency (d)	Substrate parameters	Photoperiod	Tray size (l x w X h in cm)
Diener, et al (2009)	-	-	60	-	100-200	2-3	Chicken feed, new substrate every feeding	12h	14x7.5x7
Diener et al (2011)	15-47°C	open	-	0.84	507	2	Source separated organic waste, not chopped but well mixed	open	80x200x30
Diener et al (2015)	-	-	60	200 larvae/tray	100	3	See Diener (2009)	-	14x7.5x7.5
Zhou et al (2013)	28	75	60-70	300 larvae/tray	Ad Libitum (100 g for 300 larvae)	-	Chicken manure	Natural (16:8)	3 Liter container
Popa & Green (2012)	30	-	submerged	2 larvae/ml	-	-	Read notes for details	-	Glass pipes and open fluid containers
Li et al (2010)	27	65-70	-	1000/kg	-	-	Organic waste	-	-
Sheppard et al (2002)	30	ambient	60-70	5 L bucket 500 larvae, pan 5000 larvae	-	-	Hen feed, later Gainville house fly diet	-	Bucket: 5 L Pan: 56x40x13 cm
Myers et al (2008)	27	60	-	300 larvae/5,678 L	90, 133.3, 180, 233.3	daily	Dairy cow manure	16:8	5.678 L
Paz et al (2015)	open	open	-	2-6	60-200	daily	open	49 cm <sup>2</sup> with drain	open

	T (air)	RH (air)	RH (sub) (%)	Density (larvae/cm <sup>2</sup> )	Feeding amount (mg/larva -1x d-1)	Feeding frequency (d)	Substrate parameters	Photoperiod and cover(textile)	Tray size (l x w X h in cm)
Holmes et al (2012)	27	25,40,5 0,60,70	70	-	10g (dry) ad libitum	-	14:10	-	14:10
Tomberlin et al (2009)	27,30,36	60%	70	300 larvae/1 L container	33.3 mg DRY weight	-	-	1 L container, covered with paper towel	-
Nguyen et al (2013)	28	60 +/- 10	71-95	150 larvae in 30x30x6.5 (6 larvae/cm <sup>2</sup> )	Depending on larval stage starting with 6g/day and increasing by 5% whenever the larvae eat 25%	daily	-	30x30x6.5 with black fabric cover	-

Med udgangspunkt i litteraturstudiet blev der fastsat følgende nøgleproduktionsparametre:

- Lufttemperatur: 26-28 °C
- Relativ fugtighed: 60-75 % RH
- Udfodringsmængde: 20-150 mg/larve/dag
- Produktionsareal: 400-2000 cm<sup>2</sup>.

Ud fra ovenstående produktionsparametre blev der igangsat en række optimeringsforsøg. Endvidere blev det besluttet at måle temperaturen i substratet, idet denne, i højere grad end lufttemperaturen, vil være afgørende for udviklingshastigheden.

## 5.1.2 Optimeringsforsøg i laboratorieskala

I perioden januar til august 2016 blev der gennemført en række optimeringsforsøg. Nedenstående gennemgås de vigtigste af forsøgene.

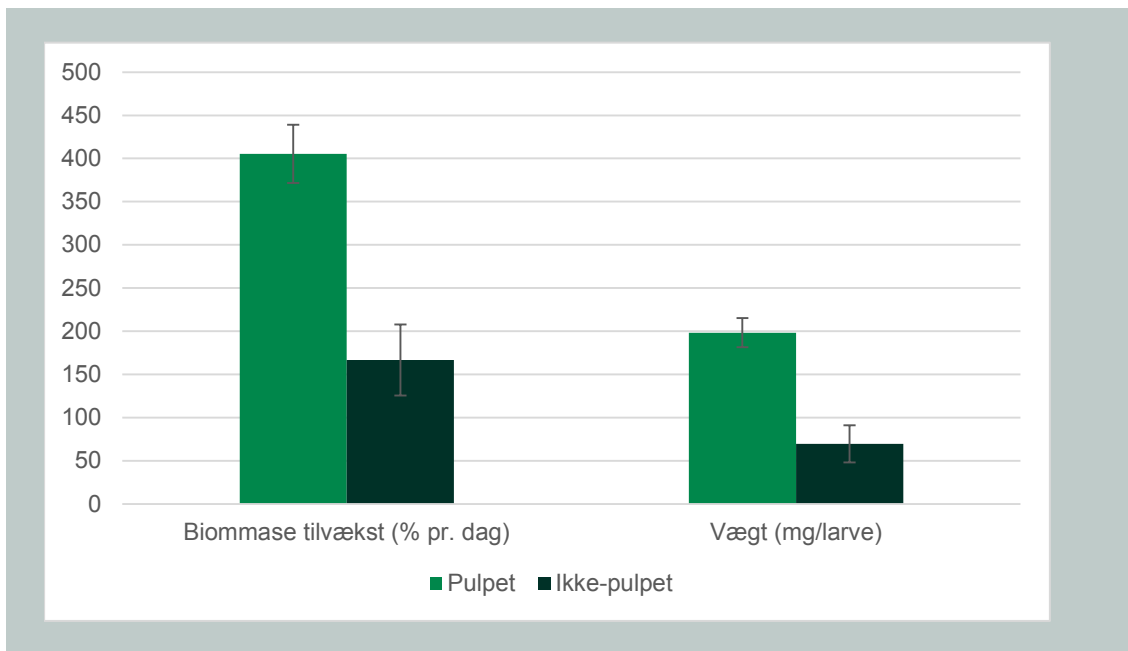
### 5.1.2.1 Forbehandling af organisk affald

I dette forsøg blev effekten af forbehandling (pulpning) af det organiske husholdningsaffald undersøgt. Der blev undersøgt to fraktioner: (i) ubehandlet kildesorteret husholdningsaffald og (ii) pulpet (blendet) kildesorteret husholdningsaffald. Nedenstående tabel angiver forsøgsforholdene.

**TABEL 2.** Forsøgsforhold ift. at undersøge indvirkning af forbehandling af KOD.

Temperatur (°C)	Relativ fugtighed (% RH)	Forsøgstid (dag)	Replikater (antal)	Udfordring (mg/larve/dag)	Tæthed (larver/cm <sup>2</sup> )	Startvægt (mg/larve)
28	75	8	3	100	5	7,5

Som det fremgår af FIGUR 2, har det stor effekt på både biomassetilvækst og larvernes vægt, når det kildesorterede, organiske husholdningsaffald (KOD) neddeles (pulpes). Der observeres således en næsten 2,5 gange større tilvækst for det pulpede, kildesorterede organiske husholdningsaffald sammenlignet med det ubehandlede. Det er ligeledes set ved produktion af andre insekter som eksempelvis melorm, hvor formalingsgraden af foderet har en direkte positiv indvirkning på tilvæksten af biomassen.



**FIGUR 1.** Effekt af forbehandling (pulping) af organisk husholdningsaffald på tilvækst og larvævgt.

På denne baggrund blev det besluttet, at de fremadrettede optimeringsforsøg skulle udføres med pulpet materiale.

### 5.1.2.2 Larvetæthed og tørstofindhold af substrat

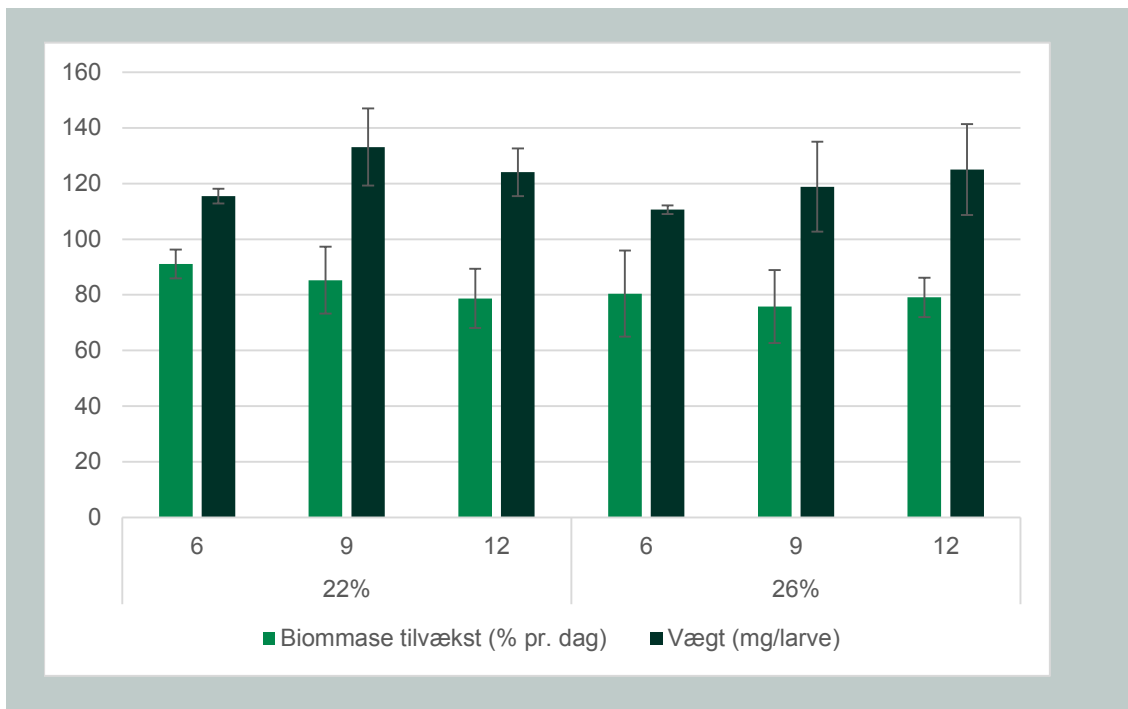
I dette forsøg blev effekten af larvetæthed og tørstof af det pulpede, kildesorterede organiske husholdningsaffald undersøgt i en matrixopstilling. Der blev undersøgt to forskellige tørstofniveauer af det pulpede, kildesorterede organiske husholdningsaffald (22 % og 26 %) samt tre forskellige tætheder af larver (6, 9, 12 larver/cm<sup>2</sup>). TABEL 3 angiver forsøgsforholdene.

**TABEL 3.** Forsøgsforhold ift. at undersøge indvirkning af larvetæthed og tørstofindhold af substrat.

Temperatur (°C)	Relativ fugtighed (% RH)	Forsøgstid (dag)	Replikater (antal)	Udfordring (mg/larve/dag)	Tæthed (larver/cm <sup>2</sup> )	Startvægt (mg/larve)
26	75	8	3	100	6, 9, 12	16

Som det fremgår af FIGUR 2, er der generelt ikke store forskelle i hverken tilvækst per dag eller i den gennemsnitlige larvævgt ved de tre testede tætheder af larver. Der observeres endvidere ikke umiddelbart nogen effekt ved at øge tørstofindholdet fra 22 % til 26 %.

På denne baggrund blev det besluttet, at de fremadrettede optimeringsforsøg skulle udføres med en densitet på ca. 10 larver/cm<sup>2</sup>.



**FIGUR 2.** Effekt af tørstof af pulpet, organisk husholdningsaffald og larvetæthed på tilvækst og larvewægt (våd vægt).

### 5.1.2.3 Fodringsmængde og fodringsfrekvens

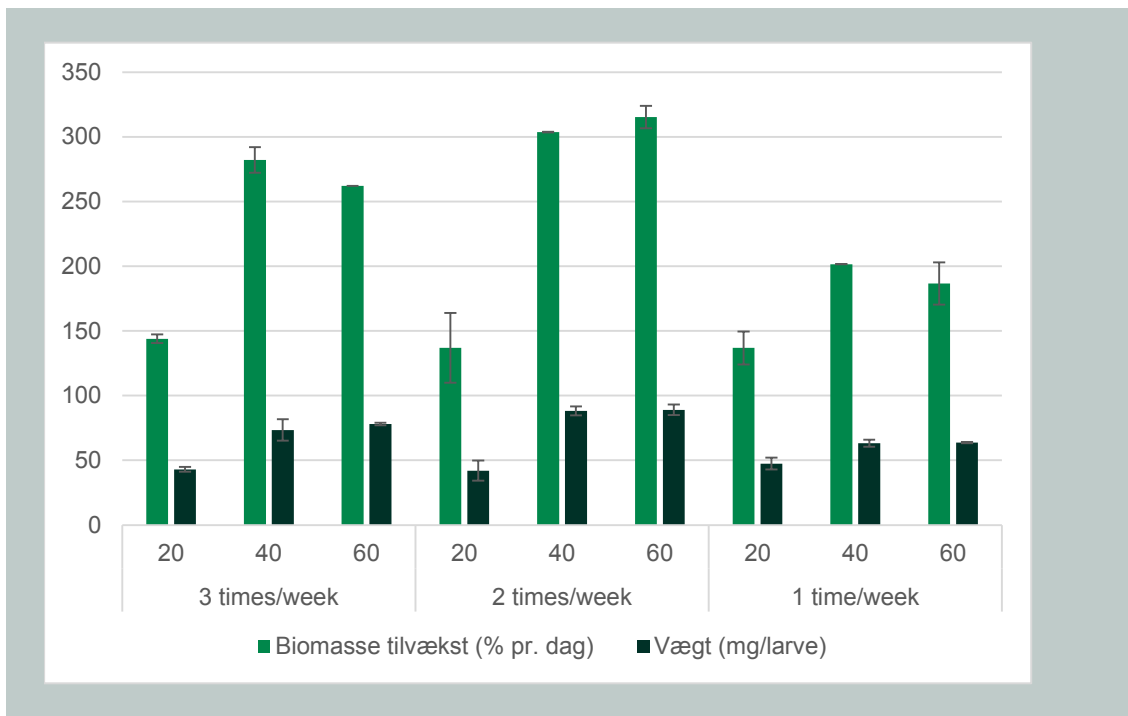
I dette forsøg blev indvirkningen af larvetæthed og fodringsfrekvensen af det pulpede, kilde-sorterede organiske husholdningsaffald undersøgt i en matrix-opstilling. Der blev undersøgt tre forskellige fodringsfrekvenser af det pulpede kildesorterede organiske husholdningsaffald (1, 2, 3 gang pr. uge) samt tre forskellige fodringsmængder (20, 40, 60 mg/larve/dag) (våd vægt). Nedenstående tabel angiver forsøgsforholdene.

**TABEL 4.** Forsøgsforhold ift. at undersøge indvirkning af fodringsmængde- og frekvens.

Temperatur (°C)	Relativ fugtighed (% RH)	Forsøgstid (dag)	Replikater (antal)	Udfordring (mg/larve/dag)	Tæthed (larver/cm <sup>2</sup> )	Startvægt (mg/larve)
26	75	7	2	20/40/60	10	4

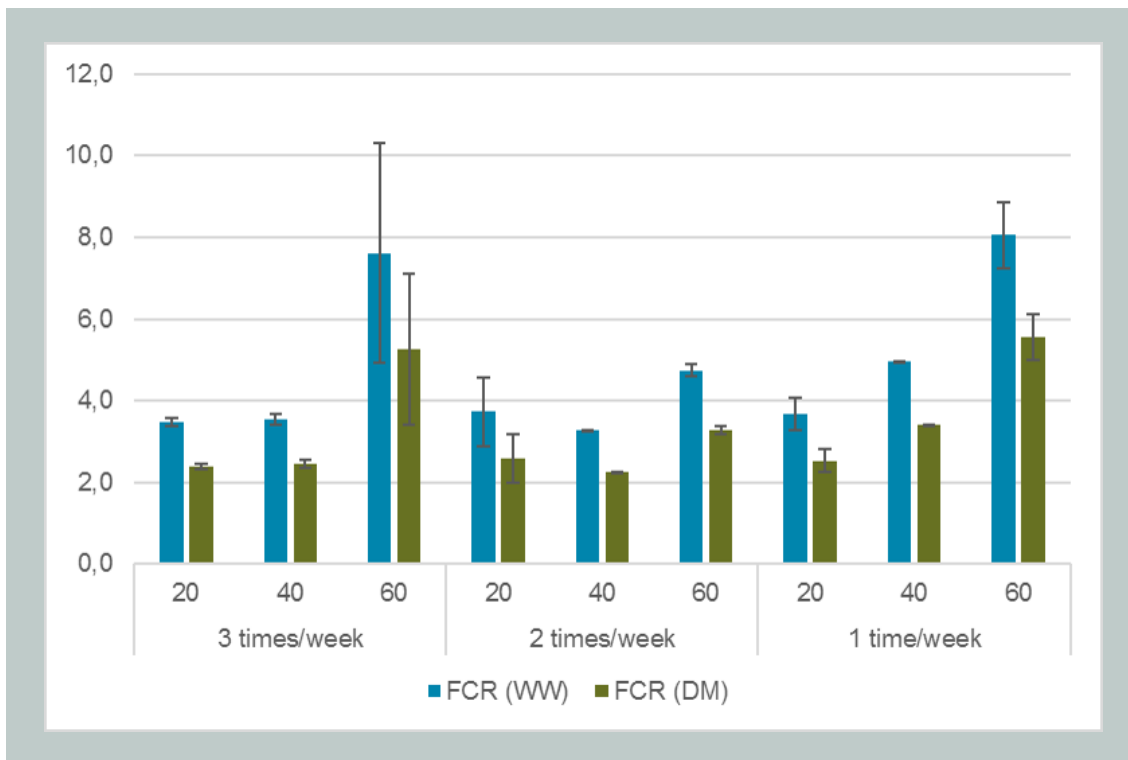
Som det fremgår af FIGUR 3, er biomassetilvæksten omtrent det halve, når der udfodres 20 mg/larve/dag sammenlignet med udfodring af 40 eller 60 mg/larve/dag.





**FIGUR 3.** Effekt af fodringsmængde og fodringsfrekvens på biomassetilvækst og larvewægt (våg vægt).

Dette viser således, at 20 mg/larve/dag ikke er nok til at dække larvernes ernæringsbehov. Ved en udfodringsmængde på 20 eller 40 mg/larve/ dag observeres det, at biomassetilvæksten er 1,5 gange højere, når der udfodres to eller tre gange pr. uge sammenlignet med udfodring én gang pr. uge. Altså har det en negativ indvirkning på tilvæksten, når der kun udfodres én gang i løbet af forsøget. Det skal dog bemærkes, at larverne allerede blev separeret fra substratet/gødningen ved en størrelse på 40-80 mg/larve.



**FIGUR 4.** Effekt af fodringsmængde og -frekvens på sort soldaterfluelarvers foderkonverteringseffektivitet. .

I FIGUR 4 er udnyttelseseffektiviteten af det udfodrede, pulpede kildesorterede organiske husholdningsaffald udregnet som forholdet mellem den udfodrede mængde og biomasseudbyttet af larverne i forsøgsperioden. Udnyttelseseffektiviteten er både beregnet på tør- og vådbasis. Der observeres en god udnyttelseseffektivitet ved 20 mg/larve/dag for alle forsøgene. Når der udfodres 60 mg/larver/dag, er udnyttelseseffektiviteten reduceret ved alle udfodringsfrekvenser, og ved 40 mg/larve/dag er udnyttelseseffektiviteten reduceret, når der kun udfodres én gang i forsøgsperioden. Generelt er de målte udnyttelseseffektiviteter meget imponerende sammenlignet med andre produktionsdyr.

## 5.2 Produktionsoptimering af *Zophobas morio*

På grund af omprioritering af ressourcerne i projektet og den udførende projektpartners (MD ApS) tidligere erfaring med produktion af zophobas taget i betragtning blev optimeringsfasen reduceret og kombineret med pilotskalaproduktion i opstartsfasen.

Erfaringerne fra pilotskalaproduktionen viste, at zophobas morio kun i meget lille grad eller slet ikke var i stand til at omsætte biopulpen. Således forblev biopulpen uberørt, hvilket betød at den gik i forrådnelse efter få dage. Biopulpen blev forsøgt udfodret i forskellige vækststadier, dog i alle tilfælde med det samme resultat, nemlig at omsætningen var stærkt begrænset.

Med denne baggrund i de produktionsmæssige udfordringer, blev det således besluttet, at det ikke gav yderligere værdi for projektet at opretholde en pilotskalaproduktion af zophobas morio. Således blev det tidligt i projektet besluttet at fokusere projektet på sort soldaterflue for herigennem at få mest muligt ud af projektet.

## 6. Fordøjelighedstest med mink

Formålet med denne aktivitet var at undersøge potentialet af den sorte soldaterfluelarver (black soldier fly) og kæmpemelorm (zophobas) som råvare til minkfoder. Undersøgelsen blev udført på grundlag af analyser for næringsstofindhold og bakteriologi samt de estimerede fordøjeligheder af næringsstoffraktionerne undersøgt i mink.

Grundet et højt indhold af spordannende bakterier efter opvarmning blev zophobas ikke inkluderet i fordøjelighedstesten, hvorfor testen kun blev gennemført med black soldier fly-larver (se fremgangsmåde mht. opvarmning nedenstående).

I projektet er der derfor kun gennemført fordøjelighedstest med black soldier fly – en på black soldier fly-larver fra pilotproduktionen og en med tørret, affedt og formalet soldaterfluemel, som blev importeret fra en tysk producent.

### 6.1 Fordøjelighedstest – black soldier fly-larver fra pilotproduktionen

#### 6.1.1 Materiale og forsøgsdesign

Forsøget blev udført af Kopenhagen Fur på deres forsøgsfarm i Holstebro. Forsøgsdesignet blev opsat som et traditionelt regressionsforsøg, hvori der indgik fire hold af tre udvoksede hanmink af farvetypen Brown/Glow.

Black soldier fly-larver var produceret i pilotproduktionen (se kapitel 7), ved anvendelse af pulpet, kildesorteret organisk affald som substrat og var inden levering blevet hakket og dernæst varmebehandlet ved 80 °C i 30 min. Ved leverance var black soldier fly-larver frosne og blev opbevaret på frost indtil anvendelse.

Forsøgsholdene fik tildelt en stigende andel af black soldier fly-larver i foderblandingen. Foderets andel af råprotein fra black soldier fly-larver steg fra 0 % til 18 %. Andelen af råfedt fra black soldier fly-larver steg fra 0 % til 35 %, mens foderets andel af råkulhydrat fra black soldier fly-larver steg fra 0 % til 9 %. Foderblandinger før tilsætning af vand for alle fire forsøgshold fremgår af Tabel 5.

**Table 5:** Foderblandinger før tilsætning af vand for alle fire forsøgshold.

Fodermiddel	Hold 1	Hold 2	Hold 3	Hold 4
Black soldier fly-larver	0,0	4,4	8,9	13,5
Torskefilet	81,6	79,5	75,7	71,9
Sojaolie	8,4	6,7	6,1	5,5
Majsstivelse	8,6	7,7	7,6	7,5
Druesukker	1,0	1,0	1,0	1,0
Cellulose	0,5	0,5	0,5	0,5
Vitamin- og mineralblanding	0,2	0,2	0,2	0,2

Forsøget blev udført i perioden fra den 18. til 29. juli 2016. Fordøjelighedsforsøget havde en varighed på i alt 11 døgn - en forperiode på syv døgn efterfulgt af en opsamlingsperiode på fire døgn. I opsamlingsperioden blev det daglige foderindtag registreret og gødningen opsamlet. Minkene fik tildelt 300 kcal per dyr per døgn i begge forsøgsperioder.

Alle analyser blev foretaget af Dansk Pelsdyr Foder a.m.b.a., Analyzelaboratoriet. Black soldier fly-larver, foderblandingerne og gødningsprøverne fra dyrene blev analyseret for tørstof, protein, fedt og aske. Desuden blev black soldier fly-larver analyseret for aminosyre- og fedtsyresammensætning samt for bakteriologi.

Af Tabel 6 fremgår analyseresultater for næringsstofindhold i black soldier fly-larver og færdige foderblandinger. Råkulhydrat er beregnet som værende den resterende del af tørstoffet, når mængden af råprotein, råfedt og råaske er trukket fra. Da minken ikke kan fordøje cellulose, er den estimerede fordøjelighed for råkulhydrat korrigeret herfor. Dette gøres ved at fratække den tildelte cellulosemængde fra både foder og fæces, inden fordøjeligheden beregnes.

**Table 6:** Næringsstofindhold i black soldier fly-larver og færdige foderblandinger.

Fodermiddel	BSF larver	Hold 1	Hold 2	Hold 3	Foder - Hold 4
Tørstof	42,8	27,9	27,3	26,1	27,4
Råprotein (6,25*N)	20,1	12,8	12,3	12,2	12,9
Råfedt	15,5	7,1	5,9	5,2	5,2
Råkulhydrat (beregnet)	6,0	7,2	8,1	7,7	8,1
Aske	1,2	0,8	1,0	1,0	1,2

Næringsstofsammensætningen af black soldier fly-larver kan variere meget i forhold til det substrat, de dyrkes på, og det er derfor svært at foretage en direkte sammenligning til andre kilder<sup>9</sup>. Men fordelingen af råprotein, råfedt og råaske som procent af tørstof ligger på niveau med niveauet fundet ved forsøg med larver opdrættet på proteinholdigt substrat<sup>9</sup>. I en anden undersøgelse er indholdet af protein og aske på tørstofbasis højere, mens fedtindholdet er lavere i forhold til analyserne fra forsøget<sup>10</sup>.

Regressionsanalyserne er foretaget med PROC REG i SAS, hvor den beregnede fordøjelighed af den tildelte foderblanding er anvendt som responsvariabel, og andelen af det pågældende næringsstof, som kommer fra black soldier fly-larver, er anvendt som forklarende varia-

<sup>9</sup> Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. Journal of Insects as Food and Feed, vol. 1(4), pp. 249-259

<sup>10</sup> Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. J Nutr Sci. 2014; vol. 3.

bel. Cook's Distance er blevet brugt til at vurdere, om der er enkeltobservationer, som har stor indflydelse på estimerne og derfor burde udelades af analyserne. Kun i forbindelse med regressionsanalysen for råfedt blev der gjort en enkelt observation fra hold 4 med en høj værdi for Cook's Distance, som derfor blev udeladt af analysen.

### 6.1.2 Forsøgets gennemførelse

Ved forsøgets opstart var der flere mink, som ikke ville spise det tildelte foder, men efter 3 døgn var der kun 2 mink ud af 9, som fik foder iblandet fluelaver, der fortsat ikke spiste. De to mink blev udskiftet, og ved opsamlingsperiodens start spiste alle mink tilfredsstillende. Således har minkene i opsamlingsperioden spist mellem 87,7 % og 99,8 % af det tildelte foder, og den gennemsnitlige foderoptagelse i hold 1-4 var hhv. 99,1 %, 95,7 %, 99,1 % og 96,9 %.

I den leverede råvare var der en mindre andel af hele black soldier fly-larver. Nogle mink kunne sortere disse hele larver helt eller delvist fra ved foderindtagelse (se nedenstående billede). Dette medfører naturligvis en ændring i forhold til den planlagte fodersammensætning. Hos flere mink blev der også observeret hele ufordøjede laver i fæces (se nedenstående billede). Disse to forhold må begge forventes at bidrage til usikkerhed, når fordøjeligheder af black soldier fly-larver skal estimeres – andelen af hele black soldier fly-larver i foderet var dog generelt lav.



**FIGUR 5.** Foderrest med frasorterede black soldier fly-larver.



**FIGUR 6.** Fæces med ufordøjede black soldier fly-larver.

I praksis vil man ikke gennemføre så voldsomme foderskift fra dag til dag, som er sket ved dette forsøg. Med en langsom tilvænning til forsøgsfoderet kunne det muligvis være undgået, at minkene havde reageret så kraftigt på foder med fluelaver. At minkene i opsamlingsperioden stort set spiser alt det tildelte foder indikerer, at minkene blot skulle vænne sig til det nye fodermiddel. Det er dog ikke normalt ved fordøjelighedsforsøgene, at minkene reagerer så kraftigt på foderskiftet som i dette forsøg. Om det er lugt, smag eller en anden faktor, som dyrene reagerer på, vides ikke. Forsøgsfoderets grundblanding, som primært består af torskefilet med lidt majsstivelse og sojaolie, har sandsynligvis også en mere neutral smag end traditionelt foder fra fodercentral, og det kan tænkes, at afvigende lugt/smag bedre kan kamoufleres i traditionelt foder.

Problemer i forhold til frasorterede, hele black soldier fly-larver i foderblandingen og hele, ufordøjede larver i fæces er sandsynligvis en medvirkende årsag til, at vi i dette forsøg har set lidt større variation inden for grupperne end normalt og dermed også en lidt større usikkerhed på estimerne end normalt.

I opsamlingsperioden blev gødningskonsistens vurderet for alle dyr på en skala fra score 1 (fast og tør gødning) til score 6 (vandig gødning uden struktur). Den gennemsnitlige gødningscore var hhv. 2,3; 2,0; 2,2 og 2,0 i hold 1-4.

### **6.1.3 Resultater**

Af Tabel 7 fremgår estimerne for intercept og regressionskoefficient af regressionsanalyserne, og den deraf totale fordøjelighedskoefficient (TTFK) med tilhørende SEM (standard error of mean) for hhv. råprotein, råfedt og råkulhydrat.

**Tabel 7.** Intercept og regressionskoefficient af regressionsanalyserne og den deraf prædikterede fordøjelighed.

	Antal obs.	Intercept	Regressionskoefficient	TTFK (%)	SEM
Råprotein	12	94,9	-8,7	86,2	1,7
Råfedt	11	97,9	-7,5	90,4	0,5
Råkulhydrat u. cellulose	12	94,6	-46,6	48,1	9,1

I flere kilder sammenlignes black soldier fly-larver med fiskemel eller sojaprotein (Bosch et al., 2014; Tschirner & Simon, 2015). De fundne fordøjeligheder af black soldier fly-larver er for både fedt og protein på højde med fiskemel.

#### 6.1.4 Konklusion

Resultaterne af optimeringsforsøg med black soldier fly-larver fodret med pulpet, kildesorteret husholdningsaffald, de efterfølgende bakteriologiske analyser af larverne samt fordøjelighedstest med mink viser, at der umiddelbart er et stort potentiale med hensyn til anvendelse af black soldier fly til minkfoder.

## 6.2 Fordøjelighedstest – BSFL tørret, affedt og formalet

I projektet blev det besluttet at gennemføre vækstofforsøget (se Kapitel 9) med black soldier fly-larver, som var dyrket på fodergodkendte substrater for derigennem at omgå at skulle søge Artikel 17-tilladelse til at gennemføre forsøget. Udover at være fremstillet på fodergodkendte substrater er black soldier fly-larver tørret og affedt, inden de er blevet formalet. Således er råvaren noget anderledes end beskrevet ovenstående, hvorfor der blev gennemført endnu en fordøjelighedstest med denne råvare.

Forsøget blev gennemført i perioden 31. juli til 11. august ved København Fur på black soldier fly-larver-mel leveret fra Hermetia Baruth GmbH. Det samme produkt indgår i et vækstperiodeforsøg, som er beskrevet i Kapitel 9.

Forsøgets design er det samme som beskrevet ovenfor.

Foderets andel af råprotein fra råvaren steg fra 0 % til 37 %. Andelen af råfedt fra råvaren steg fra 0 % til 18 %, mens råvarens andel af råkulhydrat i foderet steg fra 0 % til 17 %.

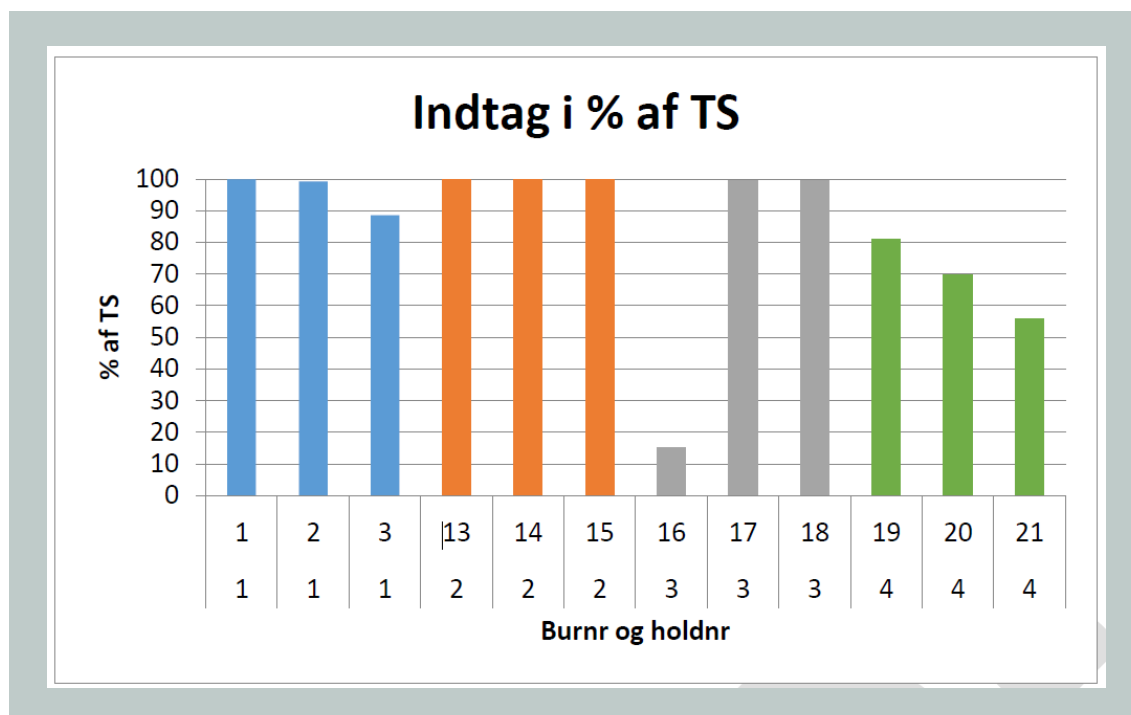
Foderplanen (efter tilsætning af vand) for alle fire forsøgshold fremgår af TABEL 8.

**TABEL 8.** Fodersammensætning (%) for hold 1-4. Anvendelsen af vand er tilsat for at opnå den rette konsistens af foderblanding ved udfodring

	Hold 1	Hold 2	Hold 3	Hold 4
Mel af black soldier fly-larver	0,00	1,58	7,41	8,73
Torskefilet	58,34	55,29	50,25	42,73
Soyaolie	5,97	5,96	6,54	6,02
Majsstivelse	6,87	6,84	7,46	6,85
Cellulose	0,36	0,35	0,36	0,32
Vitamin- og mineralblanding	0,14	0,14	0,14	0,13

+ Vand	28,32	29,84	27,83	35,23
I alt	100,00	100,00	100,00	100,00

Foderindtag for de 12 dyr i forsøget fremgår af FIGUR 7. Et enkelt dyr i hold 3 har haft et meget lavt foderindtag og udgår derfor af forsøget (<50 % indtaget foder). De 2 øvrige dyr i hold 3 har ædt alt tildelt foder. I hold 4 har alle 3 dyr haft reduceret foderindtag og ædt 56 %-81 % af tildelt foder. Dette indikerer, at der er en negativ smagseffekt af råvaren.



**FIGUR 7.** Foderindtag pr. dyr målt som andel af indtaget fodertørstof.

Af TABEL 9 fremgår bestemte tilsyneladende totale fordøjelighedskoefficienter (TTFK) for protein, fedt og kulhydrat for fluelarvemel. Til sammenligning er også værdierne bestemt ved det første fordøjelighedsforsøg. TTFK for protein er markant lavere i det formalede produkt ift. det pulpede produkt fra første forsøg, mens TTFK for fedt og kulhydrat er på niveau i de to forsøg. Det er kendt, at hård varmebehandling har negativ effekt på fordøjelighed af protein. Således er det sandsynligt, at den anvendte tørrings- og formalingsproces ved Hermetia Baruth GmbH reducerer fordøjeligheden af proteinet.

**TABEL 9.** Tilsyneladende totale fordøjelighedskoefficienter af protein, fedt og kulhydrat for de to typer af forarbejdet black soldier fly-larver.

TTFK	Pulpet BSFL	Formalet BSFL
Protein	86 (SEM = 1,7)	72 (SEM = 0,9)
Fedt	90 (SEM = 0,5)	88 (SEM = 1,5)
Kulhydrat uden cellulose	48 (SEM = 9,1)	45 (SEM = 3,8)



# 7. Pilotproduktion af insekter på organisk husholdningsaffald

## 7.1 Design og etablering af pilotanlæg

Pilotskalaproduktion blev designet med udgangspunkt i de gennemførte optimeringsforsøg (se afsnit 5.1). Indledningsvis blev pilotskalaproduktionen opstartet ved Teknologisk Institut i Aarhus. Afslutningsvis blev produktionen foretaget både ved Teknologisk Institut i Aarhus og ved MD ApS i Hjørring. Separationen af larvegødning og larver er for begge produktioner foretaget af Teknologisk Institut i Aarhus. Til produktionen er der anvendt bio+pulp fra KomTek's Ecogi anlæg, som er blevet afhentet løbende over produktionsperioden.

Produktionen er foretaget i bakker med ydre dimensioner på 60 x 40 x 15 cm (l x b x h). Ved MD ApS er produktion foretaget i et klimastyret rum og ved Teknologisk Institut i klimaskabe, begge steder ved en temperatur på ca. 27 °C og en fugtighed på ca. 60 %. I det nedenstående er den overordnede produktionscyklus beskrevet:

1. 3,2 kg biopulp tilføres til kassen
2. Overfladen af biopulpen overdrysses med hvedeklid
3. Podelarver spredes ovenpå i en mængde svarende til 20.000 larver (10 larver/cm<sup>2</sup>)
4. På dag 2, 4 og 6 tilføres der 2.000 gram biopulp. Pulpen tilføres i en lang bane på tværs af kassen. Indholdet i kassen skal gerne være forholdsvis tørt (kompostlignende) inden hver fordring. Hvis dette ikke er tilfældet, reduceres fodringsmængden
5. Hvis kassen stadig er varmere end omgivelserne, og der endnu ikke er pupper/præpupper i kassen, tilføres der på 8. dag 1.000 gram biopulp
8. På dag 8-10 separeres larverne fra larvegødningen ved brug af en rystesigte.

## 7.2 Resultater fra pilotanlæg

Pilotskalaproduktionen er gennemført over en periode på 14 måneder. Dog har produktionsperioden været afbrudt i en periode på 3,5 måned i forbindelse med indhentning af en tilladelse til at arbejde med animalske biprodukter (se afsnit 4.2). Produktionspausen fremgår tydeligt af grafen for den akkumulerede mængde KOD som er anvendt til produktion (FIGUR 8) og i oversigten over foderkonverteringseffektiviteten (FIGUR 10).. I de nedenstående afsnit opsummeres de overordnede resultater fra produktionsperioden indledningsvis, hvorefter der fokuseres på udvalgte batchproduktioner.

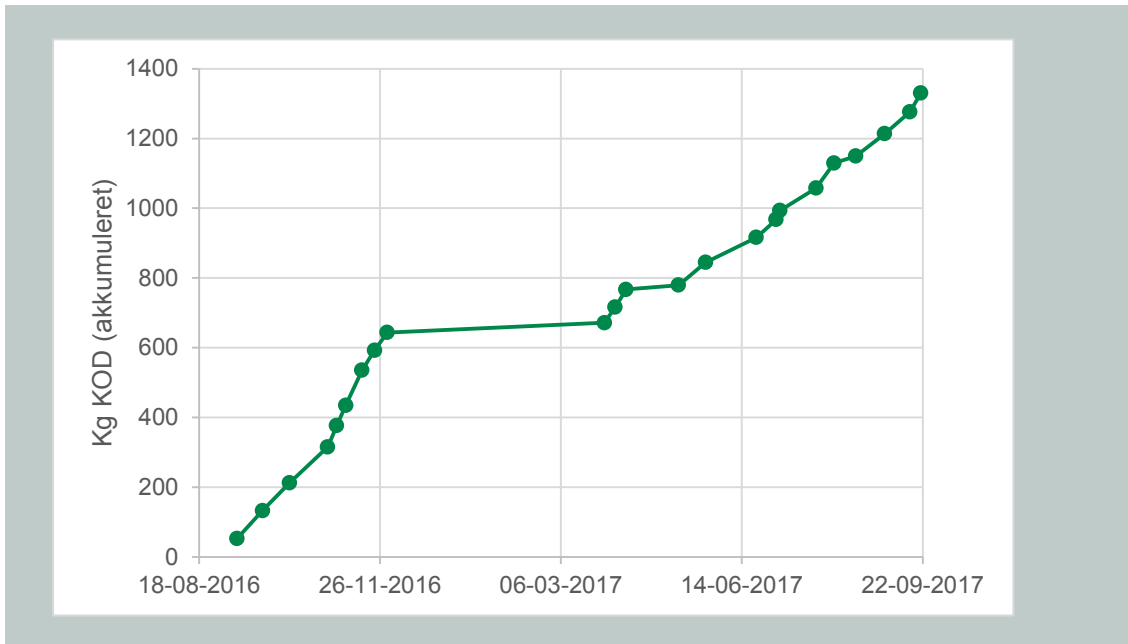
### 7.2.1 Overordnede produktionsdata

Der er i alt gennemført 30 batchproduktioner over en periode på 10,5 måneder. Den anvendte biopulp repræsenterer således KOD fra alle fire årstider (forår, sommer, efterår og vinter), hvilket er essentielt ift. at kunne vurdere perspektiverne. For alle batchproduktioner er følgende parametre blevet målt:

- Mængde af biopulp
- Mængde af black soldier fly-larver
- Mængde af insektgødning
- Tørstof- og askeindhold af ovenstående fraktioner.

I de nedenstående figurer er data for 25 af batchproduktionerne inkluderet. De resterende fem batchproduktioner er ikke inkluderet, idet der for disse er blevet eksperimenteret med flere produktionsparametre, hvorfor data ikke er sammenlignelig.

Som det fremgår af FIGUR 8 er der omsat næsten 1.400 kg biopulp i pilotproduktionen. Der er således omsat 58 kg biopulp pr. batch, med en maksimal mængde på lige over 100 kg og en minimal mængde på 20 kg. I alt er der produceret næsten 300 kg black soldier fly-larver samt næsten 200 kg insektgødning. Som det fremgår af figuren, dækker pilotproduktionen alle fire årstider.



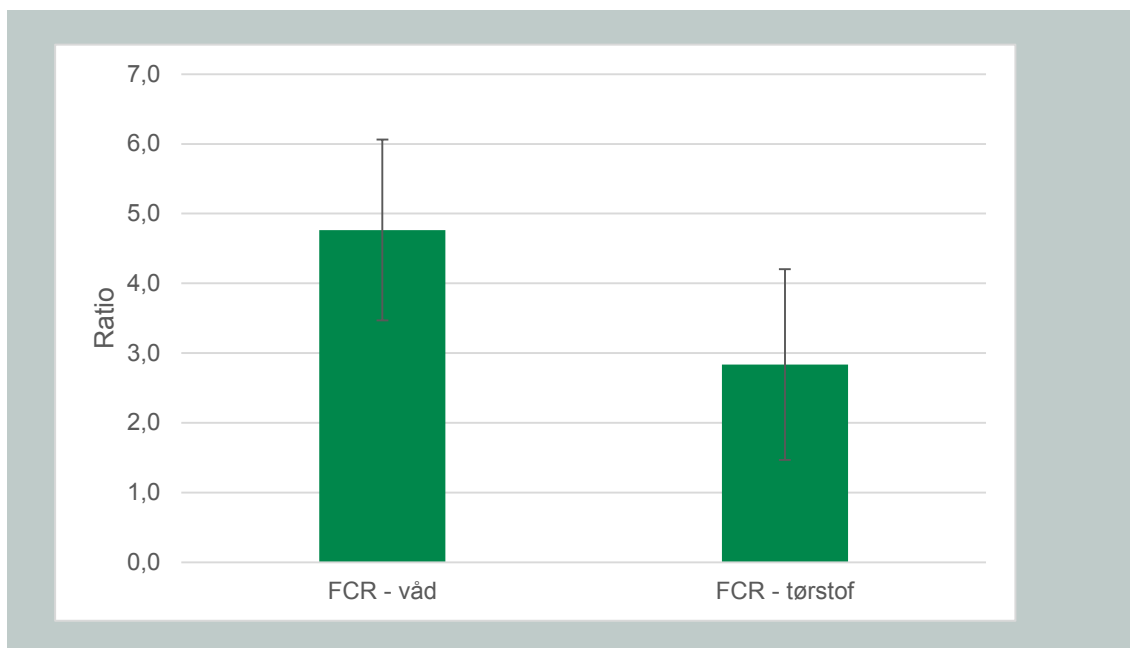
**FIGUR 8.** Akkumuleret mængde KOD (biopulp) omsat i pilotproduktionen.

I FIGUR 10 er FCR på tørstofbasis angivet (forholdet mellem den udfoderede biopulp målt i tørstof og den producerede mængde black soldier fly-larver i tørstof). Som det fremgår af figuren, er der nogen variation i mellem de enkelte batchproduktioner. Således er der enkelte batchproduktioner, som har en høj FCR-værdi (FCR >4). Det skal dog understreges, at dette ikke skyldes biopulpen, men i høj grad tilskrives kvaliteten af de anvendte podelarver. Dette er tydeligt anskueliggjort ved batch 21 og batch 22, hvortil den samme biopulp er anvendt, mens FCR-værdien er henholdsvis 2,2 og 5,9. Den gennemsnitlige FCR-værdi på tørbasis er 2,8 (spredning: 1,4) og den gennemsnitlige FCR-værdi på vådbasis er 4,8 (spredning: 1,3), se FIGUR 9. For langt hovedparten af de gennemførte batchproduktioner er der dog opnået en FCR-værdi på tørstofbasis på mindre end 2,6.

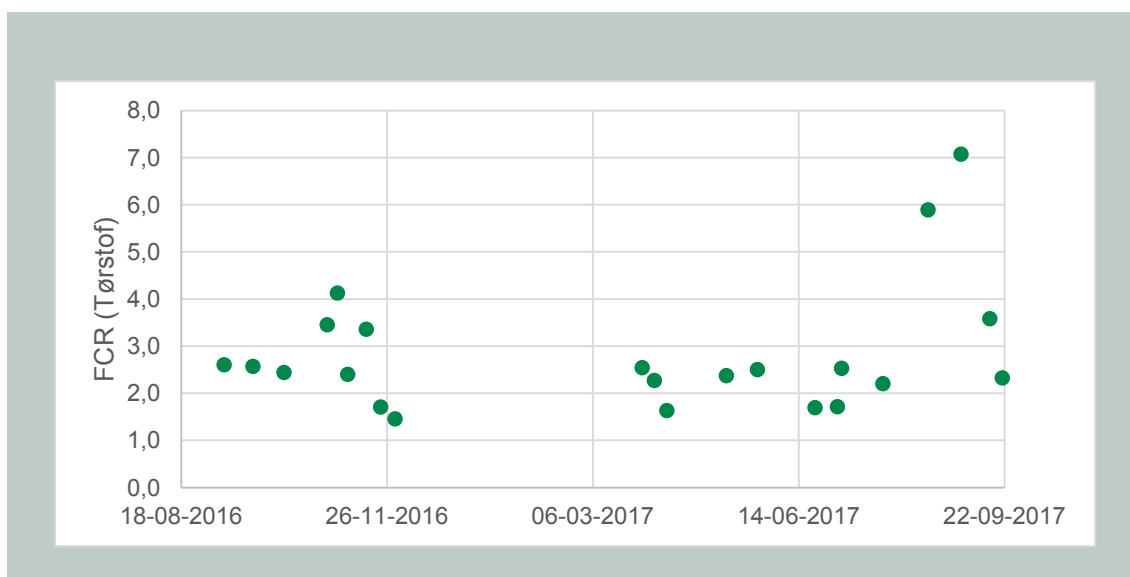
I forsøgene var den gennemsnitlige reduktion af biopulpen 85-86 %, dvs. at der kun var ca. 15 % tilbage i insektgødningen i forhold til den anvendte mængde biopulp. Volumen og mængden af affald reduceres altså kraftigt, hvilket er af stor betydning for en efterfølgende transport.

I nogle tilfælde opgøres FCR som forholdet mellem mængden af foder i tørstof og mængden af produceret biomasse opgjort på vådvægt. Avendes denne beregning, vil den gennemsnitlige FCR være på 0,95, hvilket er betydeligt bedre end for eksempelvis fjerkræ (FCR 1,6<sup>11</sup>) som p.t. er det landlevende produktionsdyr med lavest FCR.

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Feed\\_conversion\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Feed_conversion_ratio)



**FIGUR 9.** Gennemsnitlig FCR opgjort på våd- og tørstofbasis.



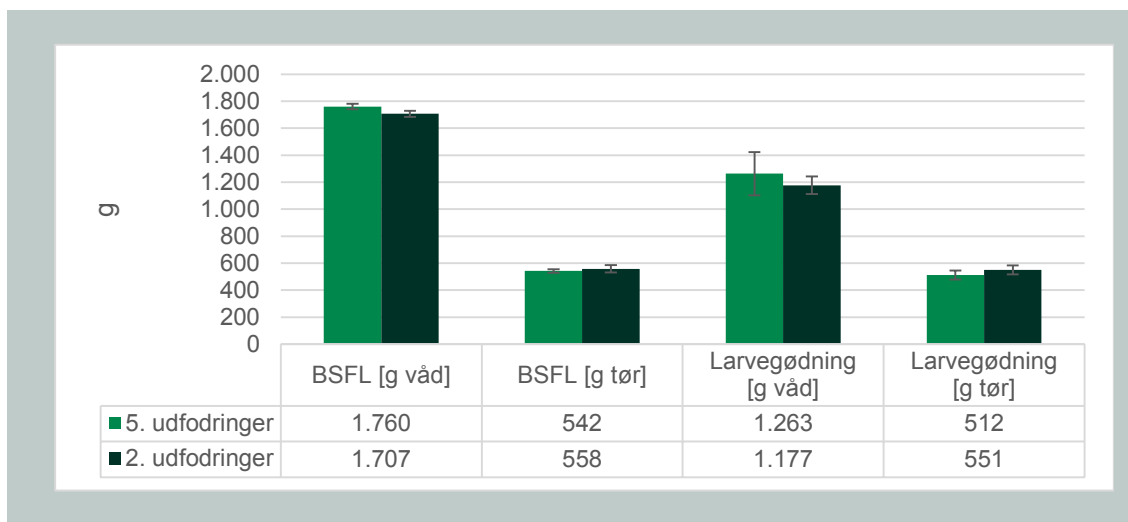
**FIGUR 10.** FRC på tørbasis angivet for hver af de 25 batchproduktioner.

## 7.2.2 Udvalgte batchproduktioner

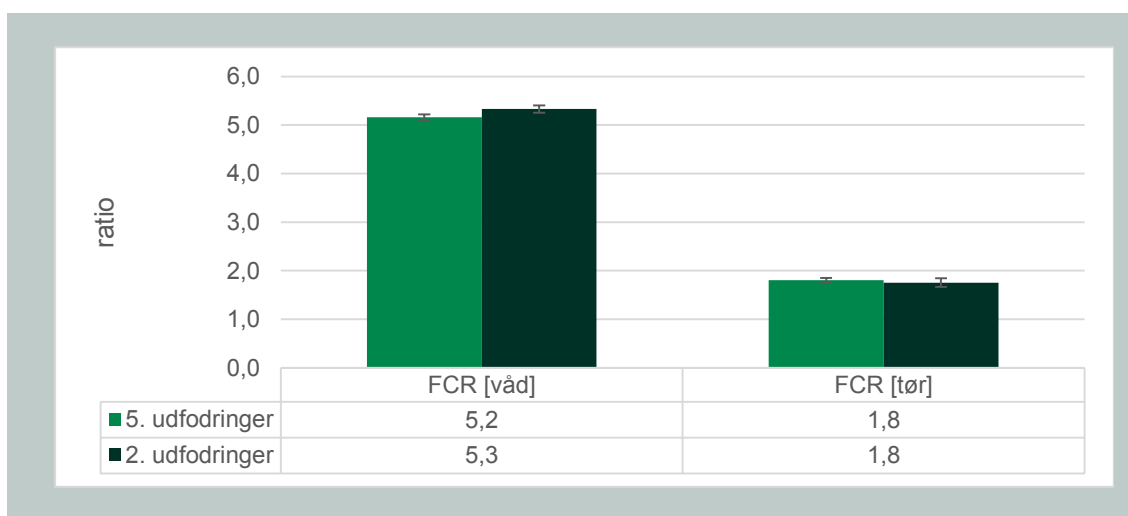
I løbet af pilotproduktionen blev der udvalgt et mindre antal batchproduktioner, hvor der i tillæg til ovenforstående værdier blev målt en række yderligere parametre for dermed at kunne estimere overlevelse af black soldier fly-larver, proteinudnyttelseseffektiviteten, indhold af fedt og protein i black soldier fly-larver samt den kemiske sammensætning af insektgødningen.

I det nedenstående præsenteres en af disse batchproduktioner (batch 16) - i denne er påvirkning af udfodringsfrekvensen undersøgt ift. produktionsudbyttet. Denne parameter er blevet undersøgt, idet den afgør antallet af håndteringstrin og derfor vil have stor betydning i en evt. storskalaproduktion, idet antallet af håndteringer har stor indvirkning på omkostningerne.

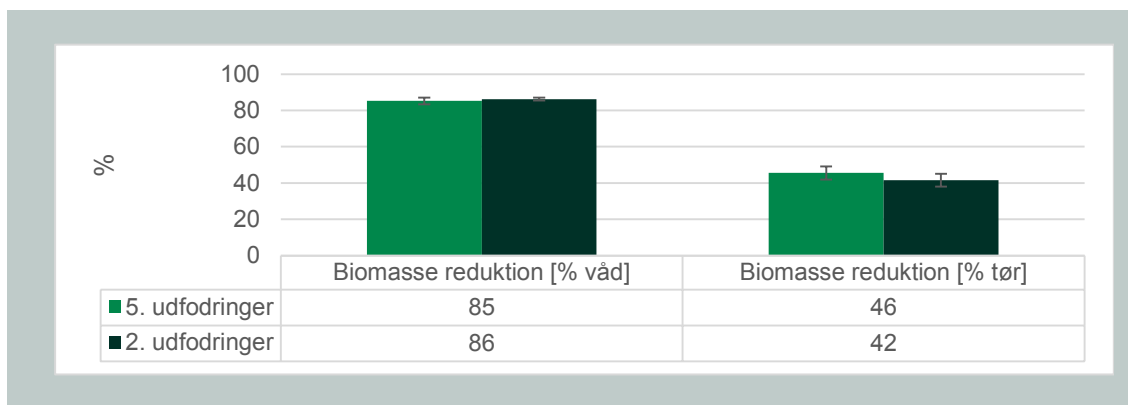
I FIGUR 11 er mængden af black soldier fly-larver og larvegødning vist. Som det fremgår af figuren, er der ikke nævneværdig forskel på at udfodre to eller fem gange i løbet af produktionen. Jf. FIGUR 12 ses der tilsvarende heller ikke forskel i foderkonverteringseffektiviteten (FCR, se afsnit 3.3 om definitioner) eller i reduktionen af biomasse (se FIGUR 13). I forsøget er der målt en biomassereduktion på 85-86 %, hvilket vil være af stor betydning ift. den efterfølgende transport. For begge behandlinger blev der målt en overlevelse på ca. 94 %. Målingen er dog forbundet med nogen usikkerhed, idet det er vanskeligt at kvantificere podelarverne præcist.



**FIGUR 11.** Indvirkning af udfodringsfrekvens på black soldier fly-larver og larvegødning.

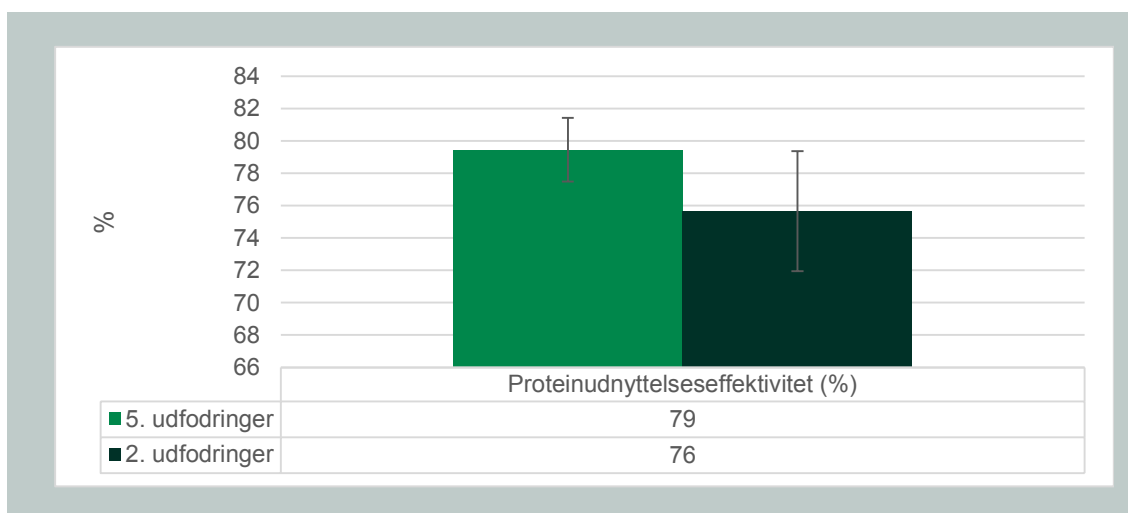


**FIGUR 12.** Indvirkning af udfodringsfrekvens på FCR.



**FIGUR 13.** Indvirkning af udfodringsfrekvens på biomassereduktionen.

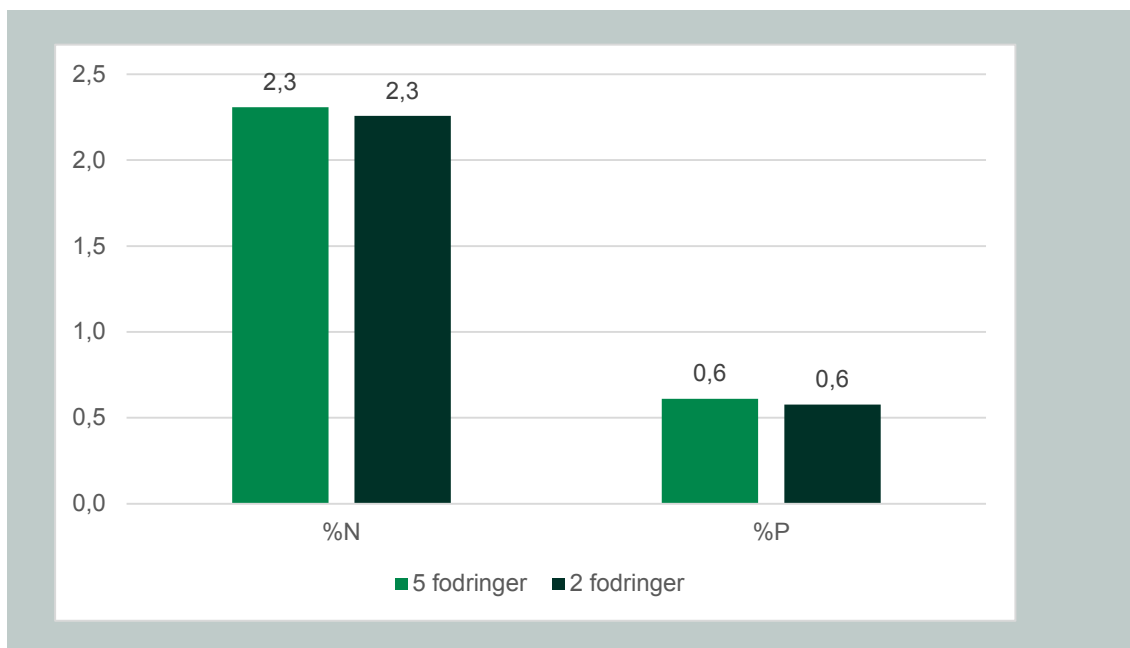
I FIGUR 14 er proteinudnyttelseseffektiviteten udregnet for forsøget. Som det fremgår af figuren, er udnyttelsen for begge behandlinger på henholdsvis 79 og 76 for fem og to udfodringer. Der er endnu en gang ikke signifikant forskel for de to behandlinger.



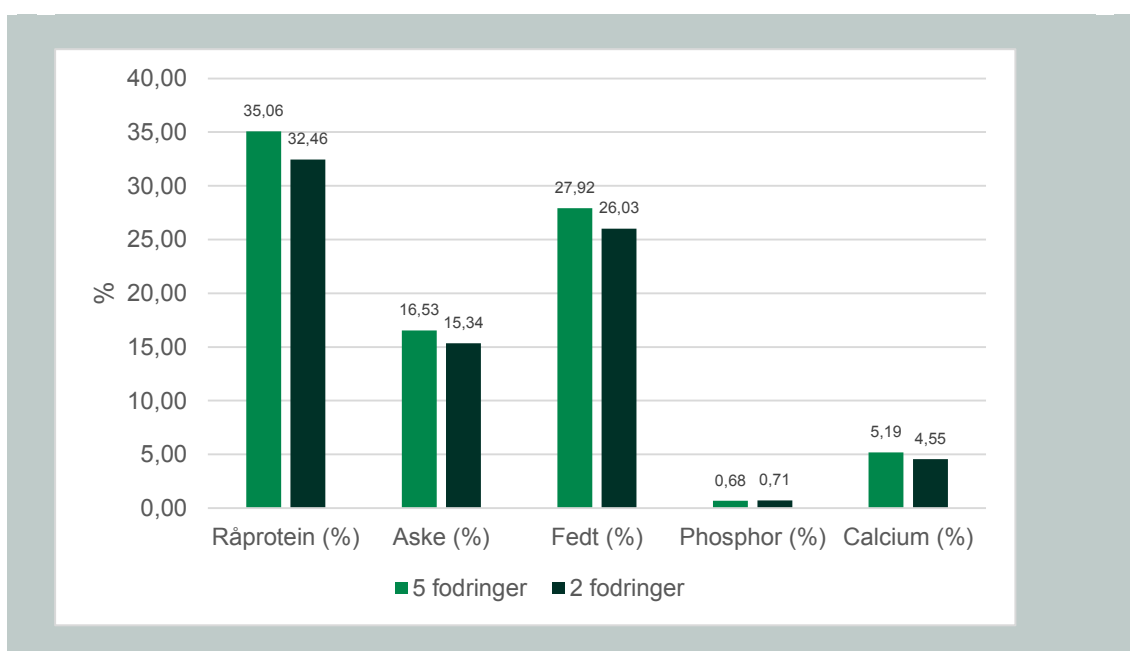
**FIGUR 14.** Indvirkning af udfodringsfrekvens på proteinudnyttelseseffektiviteten.

I forsøget blev den kemiske sammensætning af black soldier fly-larver for begge behandlinger målt. Således blev proteinindholdet bestemt til 32,4 % og 35,1 %, fedtindholdet til 26,5 % og 25,3 %, fosforindholdet til 0,7 % og 0,7 % samt calciumindholdet til 5,2 % og 4,6 % for henholdsvis udfodring fem gange og to gange (se FIGUR 16). Der observeres altså nogen forskel i den kemiske sammensætning, hvilket dog ikke skal tillægges alt for stor vægt, idet data baserer sig på en enkelt måling. Indholdet af fedt og protein er dog i god overensstemmelse med, hvad der tidligere er målt i litteraturen. Endvidere blev nitrogen- og fosforindholdet i larvegødningen bestemt, idet disse er vigtige parametre ift. at kunne vurdere gødningspotential. Indholdet er meget lig hinanden for de to behandlinger. Således blev nitrogenindholdet bestemt til 2,3 % og fosforindholdet til 0,6 % for begge behandlinger (se FIGUR 15).

Forsøget viser overordnet, at der ikke er nogen nævneværdig forskel på at udfodre to eller fem gange i forsøgsperioden.



**FIGUR 15.** Indvirkning af udfodringsfrekvens på larvegødningen.



**FIGUR 16.** Indvirkning af udfodringsfrekvens på den kemiske sammensætning af black soldier fly-larver.

Med udgangspunkt i kvælstofmassebalancen er det udregnet, hvor meget kvælstof der frigives til atmosfæren i løbet af produktionen. Det antages, at den overordnede kvælstofemission vil være i form af ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Beregningerne viser, at der frigives 0,04 g  $\text{NH}_3$  pr. g N i bi-opulpen. Emissionen fra anaerob omsætning af organisk affald er tidligere blevet bestemt til 0,03 g  $\text{NH}_3$  pr. g N affaldet. Altså er emission fra de to behandlingsmetoder i nogenlunde samme størrelsesorden. Det skal dog bemærkes, at beregningerne kun baserer sig på få målinger, hvorfor usikkerhederne for disse beregninger er betydelige.

# 8. Forundersøgelse vedr. fuldskalaproduktion

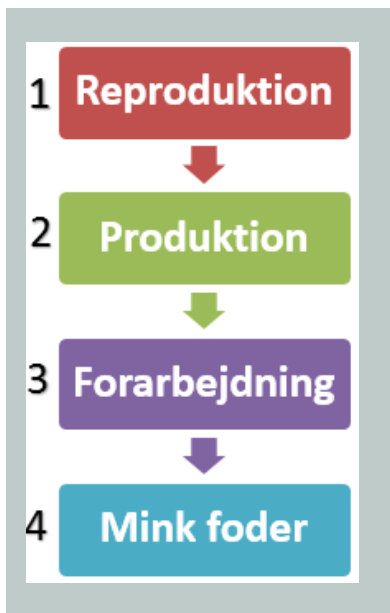
I dette kapitel præsenteres et koncept for produktionsanlægget, som varetager udviklingen fra små larver til høstklare larver. Afsnittet indeholder en kort beskrivelse af hele værdikæden samt en beskrivelse af produktionens flow. Yderligere præsenteres illustrationer af produktionsdesignet samt tilhørende forudsætninger der kræves i forbindelse med drift og tilhørende omkostninger ved etablering af anlægget.

Det er vigtigt at understrege, at en fuldskalaproduktion vil kunne designes på mange forskellige måder. Nærværende forundersøgelse tager udgangspunkt i de nuværende produktionsmetoder i insektindustrien og i den viden, som er blevet generet i løbet af projektet. Konceptet er udviklet med henblik på at dække de væsentligste etablerings- og produktionsomkostninger for en produktion på 1.000 tons pr. år.

## 8.1 Værdikæde - overblik

Som FIGUR 17 viser, består første trin i værdikæden af reproduktionsprocessen, som er den proces, hvor den voksne flue lægger sine æg, som senere bliver til larver. Æggene opholder sig mellem 7-10 dage i reproduktionstrinnet. Efter denne periode vil de klække og blive til små larver. Efter den indledende udviklingsperiode transporteres de små larver til et produktionsanlæg, hvor udviklingen fra små larver til høstklare larver foregår, hvilket typisk tager mellem otte og 10 dage. Herefter tages larverne ud af produktionen og bringes til forarbejdningstrinnet, som omfatter sortering, varmebehandling og afslutningsvis presning til insektpulp (en våd, blendet grød), som leveres til minkavlerne.

I forarbejdningstrinnet er der flere raffineringsfaktorer, som kan forårsage problemer, hvilket eksempelvis kan forekomme, hvis insektpulpen fremstilles for tidligt og når at oxidere, inden den bliver transporteret til minkfarmen og fodret til minkene. Derfor kræver dette trin ekstra opmærksomhed i den indledende produktionsplanlægning.



**FIGUR 17.** De fire hovedelementer i værdikæden for produktion af black soldier fly-larver. Reproduktionen omfatter æglægning samt udvikling til podelarver, som bringes til produktionen, hvor larverne dyrkes, indtil de separeres fra insektgødningen. Herefter forarbejdes black soldier fly-larver, hvilket indebærer sortering, varmebehandling og pulpning, hvorefter de vil være klar til at blive distribueret ud til minkfarmene.

## 8.2 Flowdiagram for produktionsanlægget

I det følgende afsnit præsenteres et flowdiagram for produktions- og forarbejdningsprocessen, som i dette forslag er samlet i ét anlæg. Produktions- og forarbejdningsprocessen kan varetages opdelt i to separate anlæg eller alternativt, som der foreslås her, samlet under ét tag. Produktionsprocessen for færdigudvikling af larven er, set ud fra et teknisk synspunkt, relativt simpel, hvilket bevirker, at der vil være flere løsningsmuligheder for, hvordan produktionsanlægget kan designes. I industrien produceres black soldier fly-larver overvejende i kasser. Kasserne kan være store såvel som små, og et fremtidigt setup, hvor det er nødvendigt at bruge trucks for at håndtere kasserne, er ikke utænkeligt. Alternativt kan man benytte mindre kasser, som kan håndteres manuelt af mennesker, eller benytte et automatisk højlagersystem, som beskrevet i de følgende afsnit.

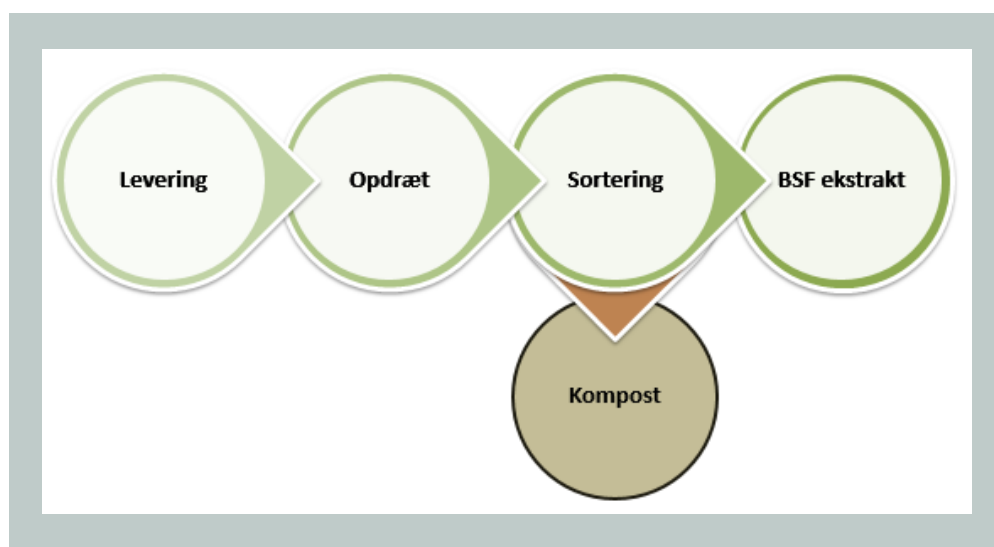
Valget af produktionsmetode har indflydelse på forretningscasen, og et automatisk højlager vil således kræve en stor etableringsinvestering, men have lave udgifter til ansatte. Omvendt vil et manuelt system have store udgifter til ansatte, men lave udgifter til etablering.

Forarbejdningsprocessen kan placeres enten i forlængelse af produktionsapparatet eller alternativt hos et andet selskab. Fordelen ved at placere produktions- og forarbejdningsprocessen samlet er en reduktion i transportomkostningerne og i antallet af håndteringer.

Flowet i produktionsanlægget starter med, at podelarverne bliver leveret, hvorefter de bliver distribueret ud i et antal kasser, som placeres på en palle. Pallen køres ind til en håndteringsrobot, der varetager placering af kassen i produktionssystemet, som består af et automatisk højlager, hvor larverne fodres to gange i løbet af processen. Efter 8-10 dage tages kasserne ud af det automatiske højlager, hvorefter de bliver leveret til en sorteringsmaskine, som separerer black soldier fly-larver fra insektgødningen. Insektgødningen er en blanding af ikke-omsat foder og larveafføring. Denne blanding opsamles automatisk i en silo og lagerføres. De udsorterede larver transporteres herefter til en pressemaskine, som processerer larverne til en insektpulp (BSF-ekstrakt), som er det færdige produkt i dette produktionsled. Pressemaskinen



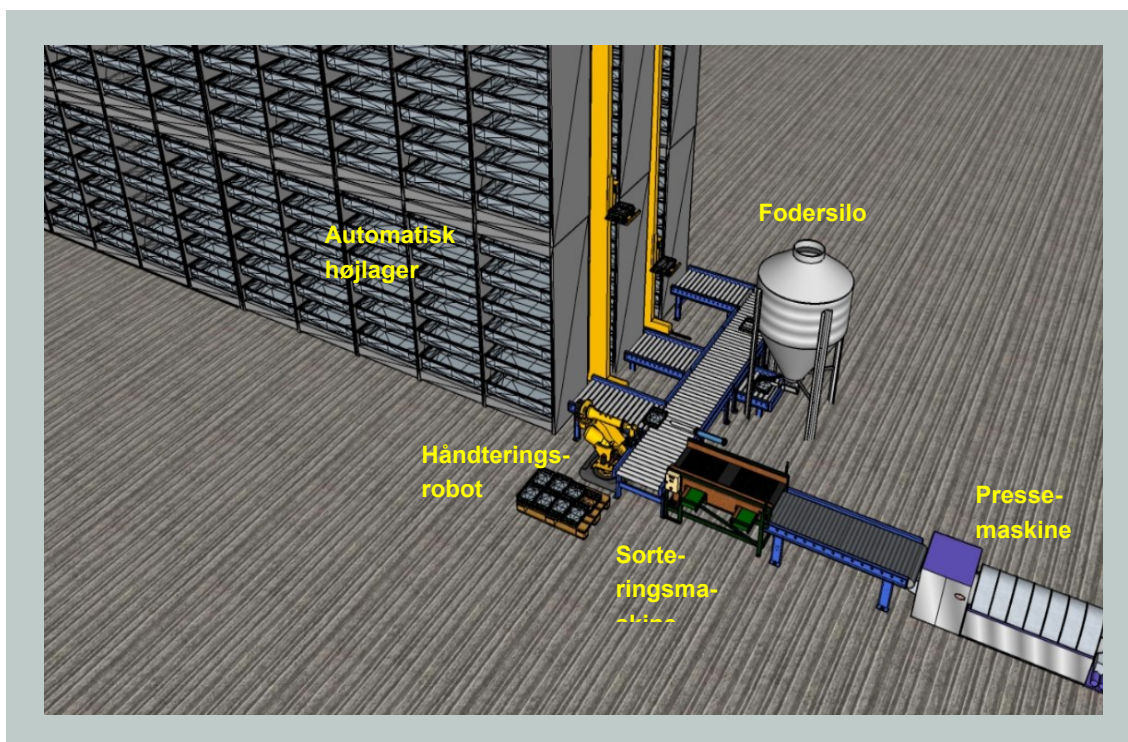
er for nærværende produktion også aflivningstrinnet, idet denne vurderes at være på højde med hakning, som er godkendt af Fødevarerstyrelsen som aflivningstrin.



**FIGUR 18.** Flow i produktionsanlægget. Indledningsvis bliver podelarverne distribueret ud i et antal kasser og bragt til opdræt i det automatiske højlager. Efter 8-10 dage udsorteres larverne fra insektgødningen. Larver bliver derefter presset til en insektpulp.

### 8.3 Produktionsanlægget

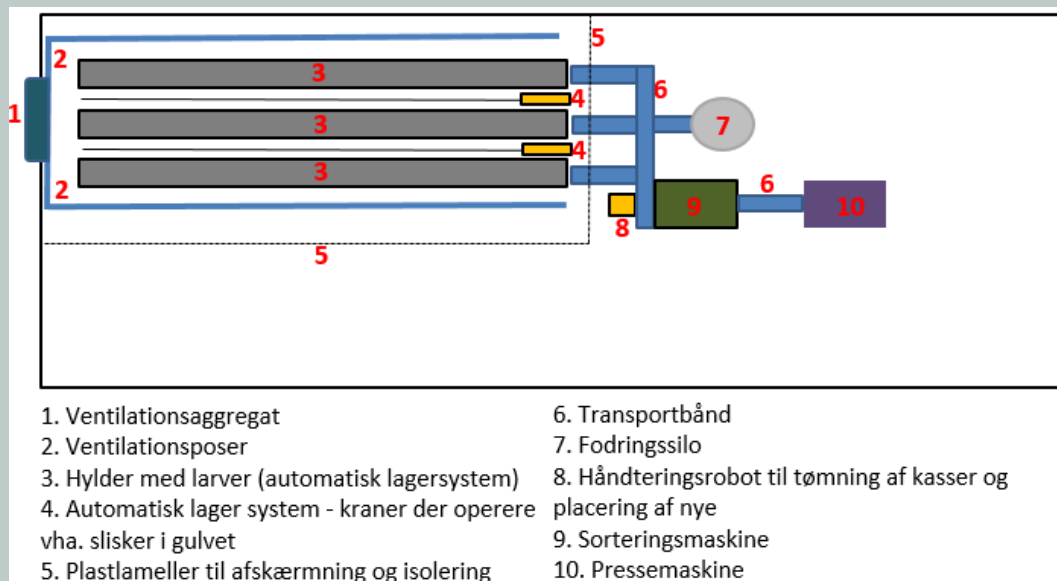
Ovenover blev flowet i produktionen kort skitseret. I det nedenstående præsenteres et oplæg i forhold til det overordnede produktionsdesign. I de følgende afsnit bliver de enkelte trin yderligere specificeret. En visualisering fremgår af FIGUR 18. Overordnet set består anlægget af et automatisk højlager, som omfatter den mest arbejdskrævende del af processen, nemlig at håndtere kasser med larver. Yderligere benytter det viste system sig af transportbånd og andet håndteringsmaskineri, som samlet set bevirker, at størstedelen af produktionen kører automatisk. Det vil dog stadig være nødvendigt manuelt at udføre opgaver, såsom at vaske kasser, klargøre nye kasser, levere foder til foderdistributionen, opsamle/lagerføre insektgødning samt generel rengøring. Disse opgaver kan også automatiseres, men i nærværende arbejde fokuseres der på automatisering af de mest arbejdskrævende processer - håndtering, fodring, og sortering.



**FIGUR 19.** Illustration af produktionsanlægget. På figuren ses i venstre side det automatiske højlager, som opererer ved hjælp af de to gule kraner. Kasserne transporteres via de blå transportbånd, enten til fodersiloen eller til håndteringsrobotten, som kan tømme kasserne over i sorteringsmaskinen. Efter sortering transporteres larverne til pressemaskinen som om-danner dem til pulp.

## 8.4 Produktionsanlæg layout

Produktionsanlægget, som er visualiseret ovenfor, bliver i det følgende afsnit præsenteret med en beskrivelse af layoutet samt flere detaljer for, hvordan anlægget håndterer produktions- og forarbejdningsprocessen. I den nedenstående figur vises et forslag til, hvordan layoutet for produktionsanlægget kan designes.



**FIGUR 20.** Forslag til, hvordan layoutet af produktionsanlægget kan designes, når det skal inkludere både produktions- og forarbejdningsprocessen.

### 8.4.1 Automatisk højlager

Det automatiske højlager er den centrale del af produktionen, hvor der anvendes kraner til at placere og hente kasserne med larver automatisk i lagersystemet. Der findes mange forskellige udformninger af højlayersystemer, men oftest anvendes der slisker/skinner, hvorpå kranen bevæger sig langs lagersystemet. Kranerne er styret af software, som programmeres til at placere og hente kasserne i det ønskede rækkefølge. Det vil sige, at programmet sørger for, at kasserne hentes og bringes til de rigtige destinationer, når der er tilført foder, eller når larverne skal udsorteres fra insektgødningen.

Selve lagersystemet består af hylder med kasser, som i dette tilfælde vil indeholde black soldier fly-larver. Kasserne er individuelt identificerbare ved hjælp af enten stregkoder eller RFID-tags, som kan læses af kranerne, hvilket sikrer, at systemet "husker", hvor kasserne er placeret, og muliggør sporing tilbage i systemet i tilfælde af sygdom eller lignende.

### 8.4.2 Maskiner & foderdistribution

Som anført i FIGUR 19, er der i layoutet inkluderet en fodringssilo, en håndteringsrobot, en sorteringsmaskine samt en pressemaskine. Fodringsiloen har naturligvis til formål at levere foder til kasserne, når de ankommer til siloen. Det sker ved, at de automatiske kraner henter kassen i lagersystemet, placerer den på transportbåndet, som leder ud til siloen, hvorefter kassen køres ud, bliver fodret, returneres via transportbåndet og efterfølgende genplaceres af kranerne. Fordelen ved at benytte et centraliseret foderdistributionssystem er en øget foderkontrol, hvor alternativet er rørføring i højlageret ud til hver enkelt kasse, eller at de automatiske kraner er monteret med en silo, som på den måde kan levere foderet til hver enkelt kasse. De sidstnævnte løsninger vil kræve mere rørføring og besværliggør rengøring, hvilket vil øge risikoen for kontaminering. Derfor er der valgt en fodersilo, som kasserne leveres til, og siloen får leveret foderet enten via et rørsystem eller alternativt bliver påfyldt direkte fra tankbiler, der levere fodret, som er flydende nok til, at det kan pumpes.

Layoutet ovenfor inkluderer også en håndteringsrobot, som sørger for at indføre de kasser med larver, som er klar til at blive udsorteret fra insektgødningen, til sorteringsmaskinen og

efterfølgende placere kasserne på en palle, således at de kan køres væk til rengøring. Yderligere har håndteringsrobotten til formål at indsætte de nye kasser med larver på transportbåndet, som kan transportere kasserne hen til kranerne. Sorteringsmaskinen adskiller som nævnt larver fra insektgødningen, hvorefter de vil være klar til at blive presset til pulp.

### 8.4.3 Ventilation

Det er nødvendigt at have et ventilationsanlæg, da larverne kræver en relativt høj omgivelsestemperatur (26-35 grader celsius) for at trives og vokse optimalt. Nærværende projekt viser dog med tydelighed, at der i den afsluttende del af vækstfasen skal fjernes en del varme fra systemet, idet larverne genererer en betydelig mængde metabolisk varme. I den indledende fase af produktionen vil det derimod være nødvendigt at tilføje varme til kasserne for at initiere væksten.

Således kan det vise sig, at ventilationen for produktionen kan være vanskelig at kontrollere, hvis den ikke er planlagt nøje i designfasen. En mulighed er at placere produktionskasser strategisk, således at kasser med podelarver kan modtage varme fra kasser, hvor der er stor varmeudvikling. Det præcise ventilationsbehov er på nuværende tidspunkt ukendt. For at kunne kontrollere produktionen nøje vil det dog være nødvendigt at kunne overvåge produktionen ift. varmeudvikling samt CO<sub>2</sub>. Overvågningen kan foregå ved hjælp af temperatursensorer eller termografering samt CO<sub>2</sub>-sensorer, som giver feedback til ventilationsaggregatet. Disse prober giver dermed mulighed for at kontrollere temperaturen og CO<sub>2</sub>-niveauet ved at justere indblæsningen efter behov.

Da det valgte produktionsanlæg benytter sig af et automatisk højlager, vil det være nødvendigt at have et ventilationssystem, som ikke kun sørger for en optimal rumtemperatur, men som er i stand til at fjerne varme direkte fra kasserne. Derfor er der indtegnet ventilationsposer (nr. 2 på FIGUR 20), som løber parallelt med lagersystemet, og som har poser hængende lodret ned med dyser pegende direkte ind imellem kasserne i lagersystemet, hvilket bidrager med en luftstrøm, der kan køle imellem kasserne. For at imødekomme varmeudviklingen set i et arbejdsmiljøperspektiv og som et led i at minimere rummet, hvori der er særlige krav til ventilation, er der tegnet plastiklamelafskærmning (nr. 5 på FIGUR 20) rundt om det automatiske højlager. Formålet med afskærmning er at begrænse varmeudviklingen i resten af produktionen. Årsagen til, at der vælges plastiklameller som afskærmning, er, at det skal være muligt at komme hele vejen rundt om produktionen, således at der kan rengøres mv. Larverne har tilbøjelighed til at "flygte" ud af kasserne, såfremt miljøet ikke er optimalt mht. foder og varme, hvorfor produktionsarealet skal være nemt tilgængelige ift. rengøring.

## 8.5 Nøgletal

For at kunne levere et årligt produktionsoutput på 1.000 tons præsenteres her en kort gennemgang af den nødvendige produktionskapacitet. I forbindelse med at udføre beregningerne er der antaget en dødelighed på 10 %. Det antages således, at 90 % af larverne i en kasse overlever og vokser til fuld størrelse. Yderligere antages det, at larverne har en synkroniseret vækstrate og vejer 175 mg efter 10 dage. Disse tal vil blive udfordret i praksis, hvor både udviklingstiden og spredningen på larvernes størrelse vil være afhængig af mange produktionsparametre, herunder temperatur og foderets ernæringskvalitet.

Der er taget udgangspunkt i kasser med størrelsen 60x40 cm (indre areal: 2000 cm<sup>2</sup>), dels fordi denne størrelse er almindelig i disse typer af automatiske lagersystemer, og dels fordi denne størrelse er anvendt i pilotskalaproduktionen. Antallet af larver pr. cm<sup>2</sup> var i pilotproduktionen 10, hvorfor dette antal anvendes som udgangspunkt. Anvendes ovenstående parametre, kan der produceres 3,15 kg black soldier fly-larver pr. kasse.

Det ønskede output fra produktionen er fastsat til 1.000 tons black soldier fly-larver årligt, hvilket svarer til et dagligt output på 2.740 kilo, som betyder, at 870 kasser hver dag skal være

klar med black soldier fly-larver til udsortering. Eftersom produktionscyklussen for larverne er 10 dage, kræver det, at det automatiske højlager kan varetage 8.700 kasser.

Omsætningshastigheden i anlægget beregnes ud fra antallet af kasser, som skal ind og ud i produktionen, samt antallet af kasser der skal fodres. Dagligt skal der være 870 kasser med høstklare larver, som tages ud af produktionen, og samme antal skal indsættes med unge larver. Derfor kræver det, at håndteringsrobotten dagligt håndtere 1.740 kasser. Yderligere skal kasserne fodres 2 gange på 10 dage, det vil sige ved ankomst og midt i vækstperioden, hvilket med 8.700 kasser kræver, at højlageret kan klare håndtering af yderligere 870 kasser dagligt. Samlet set vil den daglige omsætningshastighed i højlageret være 2.610 kasser på 24 timer, hvilket er 33 sekunders håndtering af hver kasse. Idet kranen kan håndtere to kasser af gangen, vil der derfor være 66 sekunder til at transportere kasserne fra lager til fodersilo og tilbage igen, hvilket vurderes at være realistisk uden at indholdet fra kasserne spildes under transport.

I beregningerne er der antaget en FCR på 4 på vådbasis samt en pris på biopulpen på 0,25 kr. pr. kilo.

**TABEL 10.** Oversigt over de centrale nøgletal for produktionsoutputtet.

<b>BSF produktionsdata</b>		
Densitet	10	Larver pr cm <sup>2</sup>
Vægt pr. larve	175	mg
Ønsket output pr. år (ton)	1.000	Ton våd larve pr. år
Ønsket output pr. dag (kg)	2.470	Kg våd larve pr. dag
Udviklingstid	10	Dage
FCR (våd)	4	Kg våd foder pr. kilogram larve
FCR (tør)	3	Kg tør foder pr. kilogram larve
<b>Produktionsoutput</b>		
Indre areal af kasse (60x40 cm)	2.000	cm <sup>2</sup>
Antal larver pr. kasse	20.000	Larver pr. kasse (densitet x areal)
Antal kilo pr. kasse	3,15	Kg pr. kasse (larve pr. kasse/vægt)
Antal kasser pr. 2740 kilo	870	Det daglige antal høstklare kasser
Total antal kasser i produktion	8.700	Cyklus på 10 dage
Omsætningshastighed	66	Sekunder pr. kasse

### 8.5.1 Estimerede priser og Return on Investment (ROI)

I TABEL 11 vises de estimerede priser for omkostningerne forbundet med etablering og drift af anlægget, hvilket inkluderer udstyr og maskineri samt foder og indkøb af podelarver. Yderligere vises de forventede salgsindtægter, som til sidst sammenfattes i en beregning af, hvor lang tid det tager, før investeringen er tilbagebetalt (ROI).

**TABEL 11.** Overblik over økonomien bag forretningscasen.

<b>Etableringsomkostninger</b>		<b>Kr.</b>
Automatisk højlager		3.000.000
Håndteringsrobot		1.000.000
Forarbejdningsmaskiner		400.000
Fodringssilo		200.000
Transportbånd		100.000
Styring		500.000
Ventilationsanlæg		750.000
<b>Total</b>		<b>5.950.000</b>
<b>Driftsomkostninger (årligt)</b>		
Podelarver	634.920	6,3 milliarder podelarver a 100 kr. pr. million podelarver
Foder	1.000.000	4500 tons a 250 kr./ton
Drift og vedligehold	446.250	7,5 % af anlægspris
Ansatte	500.000	
<b>Total</b>	<b>2.581.170</b>	
<b>Indtægter (årligt)</b>		
Salg af BSF-ekstrakt	3.000.000	3 kr. pr. ton insektpulp
Salg af insektgødning til biogas	200.000	675 tons a 0,3kr/kg
<b>Total</b>	<b>3.200.000</b>	
<b>Return on Investment</b>		
Indtægter (årligt)	+3.200.000	
Driftsomkostninger (årligt)	-2.581.170	
Difference	+618.830	
Etableringsomkostninger	5.950.000	
<b>Tilbagebetalingstid (år)</b>	<b>10</b>	

De samlede etableringsomkostninger beløber sig til 5.950.000 kr. og inkluderer de væsentligste udgifter til maskiner og højlager m.m. De årlige driftsomkostninger inkluderer indkøb af podelarver, biopulp, drift og vedligehold samt løn. Indkøbsprisen for podelarverne er baseret på en indledende dialog med en kinesisk leverandør.

I beregningerne af udgifterne til biopulp er der antaget en FCR på vådbasis på 4, hvilket er den gennemsnitlige værdi fra pilotproduktionen, når batchproduktionerne med meget lavt udbytte er taget ud, og en pris på biopulp på 250 kr./ton. Det forventes, at de årlige drifts- og vedligeholdningsomkostninger vil være på 7,5 % af etableringsomkostningerne.

I forhold til indtægter er værdien af insektpulpen fastsat til 3 kroner pr. kg, som årligt giver en indtægt på 3.000.000 kr., og som sammen med salg af insektgødningen giver en årligt indtægt

på 3.200.000 kr. Den årlige indtægt trækkes fra de årlige udgifter, hvilket giver en positiv indtægt på 618.830 kr. årligt, hvilket resulterer i en tilbagebetalingstid på anlægget på 10 år. Etableringsomkostningerne for et større anlæg skaleres dog ikke lineært, hvorfor tilbagebetalingstiden kan reduceres markant. Dog er beregningerne forbundet med nogen usikkerhed. Stiger OPEX med blot 10 %, eller reduceres værdien af insektpulpen med blot 10 % vil tilbagebetalingstiden stige til henholdsvis 27 år og 31 år.

## 8.6 Arbejdsmiljø

I forbindelse med indsamling, oparbejdning og anden håndtering af kildesorteret, organisk husholdningsaffald fra private husstande skal man være særlig opmærksom på de biologiske agenser, som kan forekomme ved arbejde med større mængder af husholdningsaffald eller andet organisk materiale. Biologiske agenser er mikroorganismer, som kan fremkalde infektionssygdomme, allergi eller forgiftning<sup>12</sup>.

Der er endvidere mulighed for, at der kan dannes aerosoler (små, luftbårne partikler eller dråber), som med overvejende sandsynlighed indeholder biologiske agenser, samt en markant lugt af affald eller forrådnelse.

På grundlag af ovennævnte er det således meget vigtigt, at der holdes fokus på at holde en høj hygiejne. Desuden bør de involverede medarbejdere i så stor udstrækning som mulig undgå direkte kontakt med affaldet i de forskellige håndteringsled. Det er derfor vigtigt, at ovennævnte indtænkes i designet af en produktion, ligesom det er blevet gjort i andre håndteringsled i værdikæden (indsamlingsleddet, omlastning, transport, oparbejdning, m.m.).

---

<sup>12</sup> <https://arbejdstilsynet.dk/da/regler/at-vejledninger/r/1-10-1-raadgivningspaabud-om-alvorlige-komplekse-problemer/6-udsattelse-for-biologiske-agenser-organisk-materiale>

# 9. Produktvalidering

I dette kapitel gennemgås de forskellige produktvalideringstest, som er blevet udført på henholdsvis soldaterfluelaverne og insektgødningen.

## 9.1 Væksttest med mink

### 9.1.1 Forsøgsbetingelser og databehandling

Forsøgsbetingelserne, databehandlingen og produktvurdering (minkpelsen) er beskrevet kort i de nedenstående afsnit.

#### Holdopdeling

Hvalpene i produktionsgruppen af brune mink blev fordelt tilfældigt i vækstperiode-holdene, dog således at der var lige mange hvalpe fra store og små kuld, samt lige mange fra tidligt og sent fødte hvalpe i holdene. Der var ingen helsøskende i holdene. De tre hold der indgår i væksttesten er kontrolgruppen (KON) samt to hold som har fået hhv. 2,5% (FI 2,5) og 5% (FI 5) fluelarvemel i foderet.

#### Vejninger

Hvalpene blev vejlet ved start af forsøget, medio august, sidst i september og til pelsning. I tabellerne er vist holdenes gennemsnitsvægte og spredning ved de forskellige vejninger.

#### Statistik til vejninger

Beregningerne er foretaget mellem de forskellige hold i en forsøgsserie. Ingen bogstaver i kolonnen angiver, at der ingen statistisk sikker forskel er. Forskellige bogstaver angiver, at der er statistisk sikker forskel mellem holdene.

De statistiske beregninger blev udført med statistikprogrammet SAS. Proceduren PROC GLM blev anvendt med 5 % som signifikansniveau ved beregninger af vægteforskelle.

#### Pelsning

Minkene blev pelset medio november. På samme dag blev der pelset lige mange mink fra hver hold i en forsøgsserie, således at der ikke er forskel i pelsningstidspunktet mellem holdene.

#### Fodring

Overgangen fra fodercentralfoder til forsøgsfoder foregik over nogle dage, så dyrene kunne tilvænne sig den eventuelle ændrede smag af foderet.

Foderet blev tilsat en vitaminblanding (DPF), med den anbefalede tilsætning på 0,20 % på vægtbasis. Vitamintilsætningen til foderet blev justeret efter energiindholdet i foderet samt i henhold til forsøgsplanen.

#### Foderkontrol

Forsøgsholdenes fodersammensætninger blev kontrolleret ved analyse af protein, fedt, tørstof og aske ved forsøgets start samt én gang pr. måned. Derudover blev råvarerne (fiskeafskær, industrifisk, fiskeensilage og fjerkræafskær) kontrolleret hver gang, der kom et nyt parti hjem. Hvis råvarerne afveg væsentligt fra tabelværdierne, blev analyseværdierne anvendt.

#### Skindsortering

Skindsortering af hanskindene blev foretaget som en samsortering på Kopenhagen Fur i Glostrup hvor kvalitet, silkethed og uld blev vurderet.



## Statistik til skindsortering

Beregningerne er foretaget mellem de forskellige forsøgshold i en forsøgsserie.

Ingen bogstav angiver, at der ingen statistisk forskel er. Forskellige bogstaver angiver, at der er statistisk forskel mellem holdene.

Der er beregnet statistik på skindlængde, skindkvalitet, silkethed og flade/fyldige skind. Skindlængden er medtaget som kovariat ved de statistiske analyser af skindkvalitet.

De statistiske beregninger er udført ved hjælp af statistikprogrammet SAS. Proceduren GLM (ss4), LSMEANS / PDIF anvendt med 5% som signifikansniveau. Silkethed og fyldighed er analyseret med proceduren PROBIT eller  $X^2$ .

## Karakterskala

Bedømmelserne af kvalitet, farve og renhed tilstræbtes normalfordelt. Hele karakterskalaen (1-12, hvor 12 er højest) blev brugt, således at de fleste skind fik bedømmelser i midten af karakterskalaen, færre skind fik høje henholdsvis lave bedømmelser. Ønsket om en normalfordeling måtte ikke forhindre, at dommerne følte, der var en naturlig adskillelse mellem karakterskalaernes enkelte trin.

## Dommere

Avlere udpeget af Landsdelens skindudvalg, en sorterer fra KF og driftlederen. Forsøgsfarmens personale i Holstebro har længdemålt skindene. Skindene sorteres på Kopenhagen Fur, Glostrup.

### 9.1.2 Forsøgsresultater

Som det fremgår nedenfor af TABEL 12, er vægten ved pelsning (Pelsvægt 1/11) lavere for de to grupper, der har fået hhv. 2,5% (FI 2,5) og 5% (FI 5) fluelarvemel i foderet. Der er ikke signifikant forskel på tilvækst fra udsætning til vejning i august, mens tilvæksten fra august til september (Tilva\_sep) er signifikant lavere for FI 2,5 og FI 5, og ligeledes også signifikant forskel, når der ses på hele perioden fra udsætning til pelsning (Tilv u\_p) (se TABEL 13).

**TABEL 12.** Vægtudvikling gennem vækstperioden (gram)

Hold	Udsætnings vægt 14/7	augustvægt 10/8	September vægt 20/9	Pelsvægt 1/11
Kon (30)	1214 (200)	2105 (259)	3142 (446)	3676 (472) a
FI 2,5 (31)	1206 (229)	2125 (258)	3044 (426)	3547 (509) b
FI 5 (32)	1188 (238)	2056 (280)	3030 (442)	3506 (539) b
	NS	NS	NS (0,08)	0,03

- Tallene i parentes er spredningen. NS angiver at der ikke er signifikant forskel mellem holdene

**TABEL 13.** Tilvækst gennem vækstperioden (gram)

Hold	Tilvu_aug	Tilva_sep	Tilv u_p
Kon (30)	878 (141)	1051 (202) a	2444 (415) a
FI 2,5 (31)	898 (146)	918 (235) b	2322 (440) b
FI 5 (32)	858 (136)	969 (238) b	2307 (427) b
	NS (0,08)	< 0,0001	0,02

Af TABEL 14 ses en numerisk faldende skindlængde, med stigende iblanding af fluelarvemel, men forskellene er ikke signifikant forskellige fra kontrolgruppen. For skindkvalitet ses derimod

en signifikant negativ effekt, når der fodres med fluelarvemel i foderet. Der ses ikke signifikant negativ effekt på silkethed af at have fluelarvemel i foderet, men skindene får generelt en mindre fyldig uld med stigende iblanding af fluelarvemel i foderet (se TABEL 15). I holdene med fluelarvemel har der været færre døde mink, men forskellen er ikke signifikant (se TABEL 16).

**TABEL 14.** Skindkvalitet og længde

Hold	Skindlængde, cm	Kvalitet, 1-12 #
Kon (30)	97,3 (5,0)	7,1 (2,5) a
Fl 2,5 (31)	96,5 (5,2)	6,6 (2,6) b
Fl 5 (32)	96,0 (6,1)	6,4 (2,4) b
	NS	0,007

# kvalitet er vurderet på en skala fra 1 – 12 med 12 som bedst; Tallene i parentes er spredningen. NS angiver at der ikke er signifikant forskel mellem holdene, forskellige bogstaver i en kolonne angiver at der er forskel.

**TABEL 15.** Frekvensen af silkede, flade og fyldige skind, samt skind med våd bug

Hold	Silket, %	Uld, %			p
		Flade	Normale	Fyldige	
Kon (30)	52,0	5,8	71,9	22,3	a
Fl 2,5 (31)	41,0	11,8	70,9	17,3	ab
Fl 5 (32)	45,0	13,2	75,2	11,6	b
	NS			0,02	

- Tallene i parentes er spredningen. NS angiver at der ikke er signifikant forskel mellem holdene

**TABEL 16.** Frekvensen af døde dyr (hanner og tæver) i holdene

	pct døde
Kon (30)	4,4
Fl 2,5 (31)	3,3
Fl 5 (32)	3,4
	NS

- NS angiver at der ikke er signifikant forskel mellem holdene

## 9.2 Plantetest: Vækstpotentiale og biologisk bekæmpelsespotentiale af insektgødning

For at undersøge kvaliteten af insektgødningen som vækstmedium/næringsstofftilskud blev der gennemført en plantetest med vårbyg i væksthuse efter OECD's guideline for spiring og vækst<sup>13</sup> udført som underleverance af Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. I forlængelse af denne test blev der desuden gennemført en korttidstest samt en langtidstest til modenhed af kornet. For at undersøge om insektgødningen kan have en biosanerende effekt i forhold til infektion med svampe, blev både kort- og langtidstest gennemført på ikke-smittede byg og byg inokuleret med to arter af Fusarium, *F. culmorum* og *F. graminearum*, der giver den udbredte sygdom aksfusarium hos bl.a. byg. Til testen blev der anvendt en Fusarium-følsom sort, Quench.

<sup>13</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) 2006. OECD Test guideline 208: Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and seedling Growth Test, Paris, France

Den biosanerede effekt blev undersøgt, idet tidligere studier indikerer, at regnormekomposteret materiale har en positiv indvirkning ift. beskyttelse<sup>14</sup> - en eventuelt biosanerede effekt vil have en direkte indflydelse på prissætningen af insektgødningen.

## 9.2.1 Materialer og metoder

### Forberedelse af vækstmedium: jord og insektgødning

Til testen blev der anvendt en harpet bakkemuld (leveret fra grusdirekte.dk i bigbag). Forud for forsøget blev jorden tørret i et døgn og sigtet gennem en 4 mm sigte, og insektgødningen blev opbevaret på frost. Efter optøning blev insektgødningen blandet i jorden i en cementblander, således at blandingen var så ensartet som muligt. Jord og insektgødning blev blandet i fem forskellige blandingsforhold (insektgødning:jord) på volumenbasis (100 liter): 0:100; 5:95; 15:85; 25:75 og 33,3:66,7. Blandingen insektgødning/jord blev overført til 3-liters rosenpotter, med 2,5 l blanding pr. potte.

### Byg og inokulering med aksfusarium (*F. culmorum* og *F. graminearum*)

Bygsorten Quench, der er følsom overfor aksfusarium, blev indkøbt hos Danish Agro. Kulturer af *F. culmorum* og *F. graminearum*, der voksede på agar, blev leveret af Lise Nistrup Jørgen, Aarhus Universitet, Agroøkologi. Inokulering af bygkerner med svampen skete ved, at bygkernerne lå i det inficerede agarmateriale, som var opslæmmet i vand og omrystet i bluecap-flaske, i 40 min, hvorefter kernerne blev spredt ud på filterpapir og lufttørret. Den 27. marts 2017 blev der sået byg i potterne, med 5 frø pr. potte og 6 replikater af hver behandling (ikke-smittet, *F. culmorum* inokuleret, *F. graminearum* inokuleret) til hhv. korttids- og langtidsforsøg. Den ikke-smittede behandling blev placeret i én celle i væksthuset og de to Fusarium-smittede på hver sit pottebord i en anden celle. Efter såning blev alle potter vandet op til ensartet fugtighed, og potten blev dækket med plasticpose for at fremme spiringen.

### Klimaforhold og vanding under forsøget

De første fire døgn, 27. til 30. marts, var lufttemperaturen 15 °C, og der blev åbnet for ventilation ved 18 °C. Da spiringen var kommet i gang, fire dage efter såning, blev plastikposen over potterne fjernet og temperaturen hævet til 18 °C, og ventilationen blev åbnet ved 20 °C. Den automatiske vanding af pottebordene var afkoblet, da vandet i dette tilfælde ville indeholde næringsstoffer, og gødningseffekten af insektgødningen derfor ikke kunne undersøges. Vanding blev etableret med rent vand, der blev pumpet op på bordene, enkeltvis fra en tønde med en dykpumpe og returløb dels for at undgå tilførsel af næringsstoffer, og dels for at undgå kontaminering af vandet med svampesporer. Vanding foregik i forbindelse med daglige tilsyn ved at starte pumpen via timer sat til 2 min.

### Registrering af spiring og vækst (korttidstest)

Spiring blev tjekket dagligt frem til den dato (3. april), hvor spiringsprocenten i kontrolpotterne (dvs. potter uden insektgødning og uden svamp) var 50 %, hvilket ifølge OECD-guideline angiver starttidspunktet på korttidstest. Efter 17 dage (21. april 2017) blev alle planter i potter i korttidstesten høstet (klippet ved jordoverfladen) og tørret ved 60 °C i 24 timer, hvorefter tørvægten blev bestemt.

### Langtidstest

Der var tydelig forskel på modningen af kornet ved de forskellige behandlinger. Tre måneder efter såning, 28. juni 2017, blev potterne uden insektgødning og med de laveste mængder insektgødning (5 og 15 vol.-%) høstet (klippet ved jordoverfladen) og tørret ved 60° i 24 timer, hvorefter tørvægten blev bestemt, dels for hele planten inkl. aks, dels for aks (inkl. stak). I

<sup>14</sup> <https://urbanwormcompany.com/wp-content/uploads/2014/09/THE-SCIENCE-OF-VERMICULTURE-Edwards-Arancon.pdf>

langtidsforsøget blev antal strå pr. plante talt, og det længste strå blev målt. Tre uger senere, 18. juli 2017, blev potterne med de øvrige to insektgødningsmængder (25 og 33 vol.-%) høstet, tørret ved 60 °C i 24 timer og vejlet.

### Statistik

Data blev fitted til lineære modeller (R package), og effekten af behandlinger (insektgødning, svamp) og interaktioner mellem disse efterfølgende testet som ANOVA (Type II test). Spiring (procent), tørvægt og plantehøjde blev forud for analysen log-transformeret for at sikre normalfordeling.

## 9.2.2 Resultater

### Kortidsforsøg

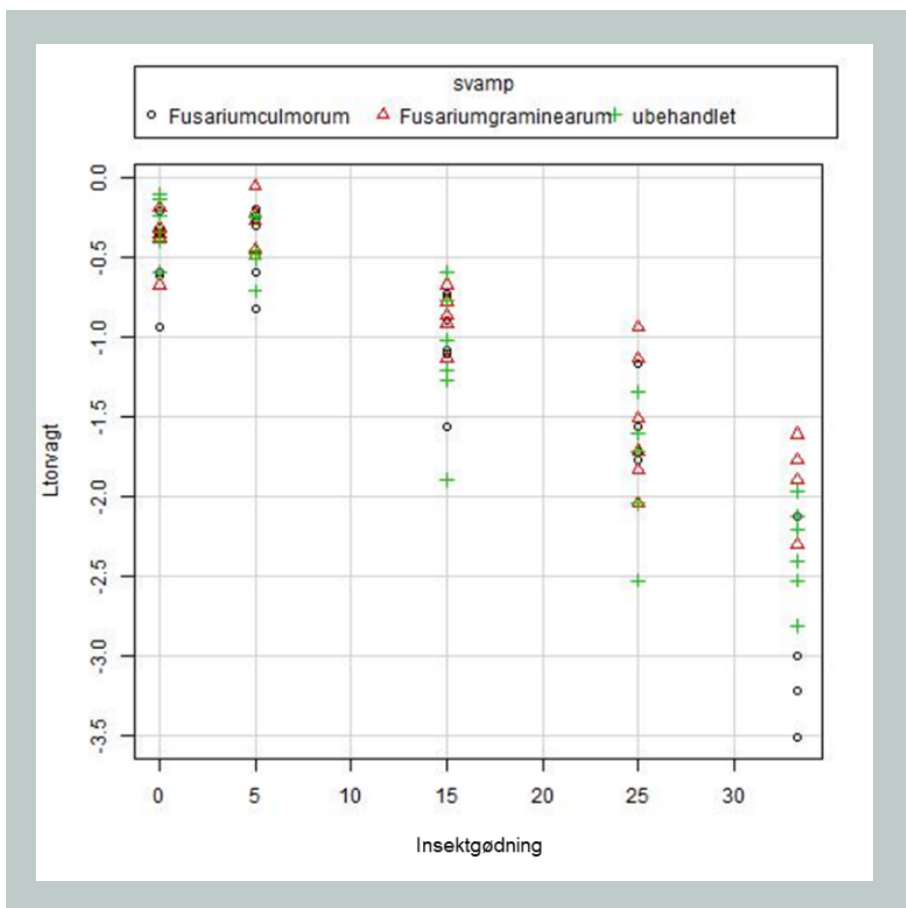
Spring og overlevelse gennem forsøgsperioden (17 dage) var generelt høj uanset behandling (TABEL 17) dog var der signifikant negativ effekt af insektgødning ( $p=0,041$ , TABEL 18), hvilket primært skyldes behandlingen med højest indhold af insektgødning (33 vol.-%). Modellen forklarer dog en meget begrænset del af variationen i overlevelsen ( $R^2 = 0,09$ ). Kortidstesten viste en signifikant og negativ effekt af insektgødning ( $p<2e^{-16}$ ), svamp ( $p=0,0097$ ) og interaktion mellem svamp og insektgødning ( $p=0,0307$ ) på væksten (tørvægt) af planterne (FIGUR 21, TABEL 19).

**TABEL 17.** Gennemsnitlig spiring og overlevelse (procent) ( $\pm$  s.d.) ved fem insektgødningsbehandlinger for ubehandlet byg og byg inokuleret med hhv. *Fusarium culmorum* og *Fusarium graminearum* beregnet 21 dage efter såning.

	Ikke-smittet byg	Byg smittet m. <i>F. culmorum</i>	Byg smittet m. <i>F. graminearum</i>
Ingen insektgødning	86,7 $\pm$ 16,3	86,7 $\pm$ 16,3	96,7 $\pm$ 8,1
insektgødning, 5 vol.-%	96,7 $\pm$ 8,2	86,7 $\pm$ 16,3	93,3 $\pm$ 10,3
insektgødning, 15 vol.-%	93,3 $\pm$ 10,3	90 $\pm$ 10,9	86,7 $\pm$ 10,3
insektgødning, 25 vol.-%	86,7 $\pm$ 16,3	90 $\pm$ 10,9	100 $\pm$ 0
insektgødning, 33 vol.-%	83,3 $\pm$ 15,0	73,3 $\pm$ 24,2	83,3 $\pm$ 8,2

**TABEL 18.** ANOVA-tabel (Type II test) for betydningen af insektgødning- og svampebehandlinger for spiring og overlevelse i kortidstest.

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Insektgødning	0,12737	1	4,3041	0,04108*
Svamp	0,12657	2	2,1386	0,12419
Insektgødning*svamp	0,00793	2	0,1340	0,87481



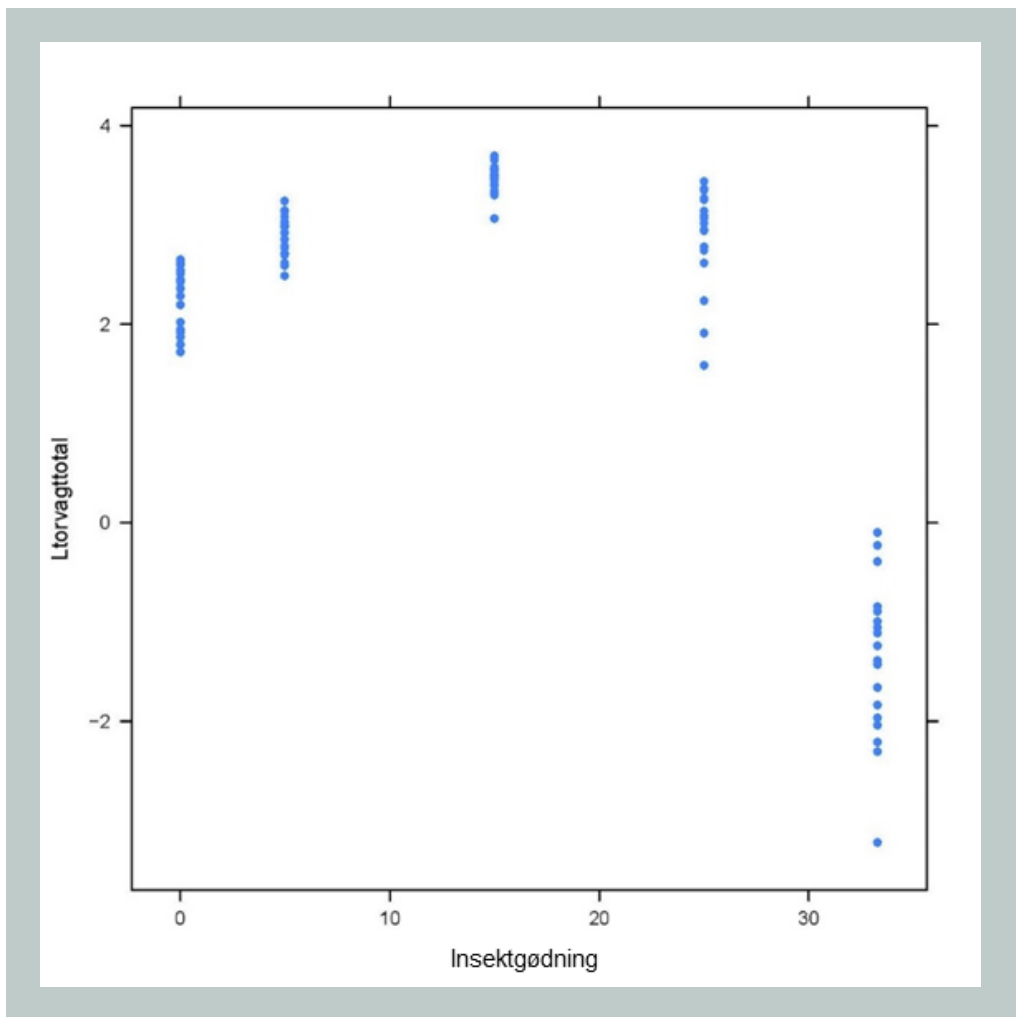
**FIGUR 21.** Den samlede biomasse, g tørvægt pr. potte (overjordiske plantedele), som funktion af insektgødningsbehandlingen for ubehandlet byg og byg inokuleret med hhv. *Fusarium culmorum* og *Fusarium graminearum* ved afslutning af korttidstest, dvs. 17 dage efter teststart (spiringsprocent på 50 % for kontrolplanter, dvs. ingen insektgødning og ingen svamp).

**TABEL 19.** ANOVA-tabel (Type II test) for betydningen af insektgødning- og svampebehandlinger for biomassen i korttidstest.

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Insektgødning	51,786	1	393,1239	<2e-16***
Svamp	1,291	2	4,9011	0,0097**
Insektgødning*svamp	0,957	2	3,6320	0,0307*

### Langtidsforsøg

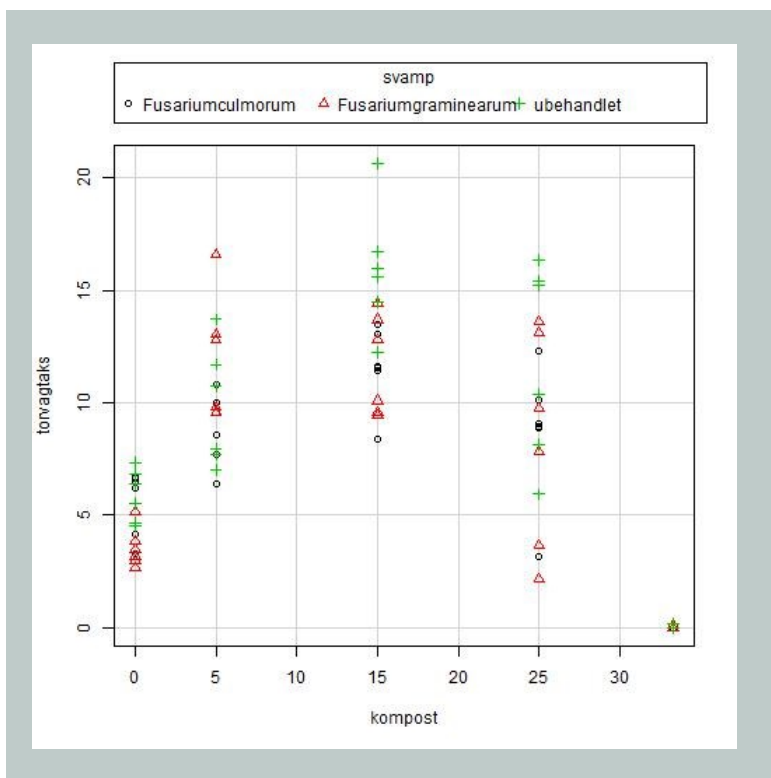
Langtidsforsøget viste en betydelig anderledes og positiv effekt af insektgødningsbehandling på den samlede biomasse uanset behandlingen med svamp (FIGUR 22, TABEL 20). Der blev fundet signifikant ( $p < 2e-16$ ) effekt af insektgødningsbehandlingen på den samlede biomasse, med et optimum omkring insektgødning ved 15 vol.-%, men ingen effekt af svampebehandlingen og heller ikke interaktion mellem behandlingerne. Ved højere indhold faldt biomassen, og især den højeste koncentration (33 vol.-%) reducerede den samlede biomasse, og ved denne behandling blev der stort set ikke produceret aks (FIGUR 23). Således er den højeste koncentration udeladt ved den videre databehandling. Tilsvarende den samlede biomasse, var biomassen af aks signifikant påvirket af insektgødningsbehandlingen ( $p = 3,727e^{-11}$ ) og havde et optimum omkring 15 vol.-%. For aks-biomassen blev der også fundet en signifikant effekt ( $P = 0,02647$ ) af svamp, men ingen interaktion mellem behandlingerne.



**FIGUR 22.** Den samlede biomasse, g tørvægt pr. potte (overjordiske plantedele), af byg som funktion af insektgødningsbehandlingen for langtidstest, hvor planterne høstes ved modenhed. Ligningen  $y = 1,96 (0,305x - 0,0119x^2)$  gav det bedste modelfit,  $R^2 = 0,8807$ .

**TABEL 20.** ANOVA-tabel (Type II test) for betydningen af insektgødning- og svampebehandlinger for den samlede biomasse i langtidstest

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Insektgødning	86,861	1	211,7273	<2e-16***
Insektgødning*insektgødning	154,120	1	375,6719	<2e-16***
Svamp	0,785	2	0,9563	0,3885



**FIGUR 23.** Biomasse af aks, g tørvægt pr. potte (overjordiske plantedele), for ubehandlet byg og byg inokuleret med hhv. *Fusarium culmorum* og *Fusarium graminearum* som funktion af insektgødningsbehandlingen for langtidstest, hvor planterne høstes ved modenhed. Ligningen  $y = 1,61 (0,132x - 0,0046x^2)$  gav det bedste modelfit,  $R^2 = 0,545$ .

**TABEL 21.** ANOVA-tabel (Type II test) for betydningen af insektgødning- og svampebehandlinger for aks-biomasse i langtidstest

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Insektgødning	8,2720	1	63,0469	3,727e-11***
Insektgødning*insektgødning	6,4911	1	49,4733	<1,512e-9***
Svamp	1,0083	2	3,8423	0,02647*

### 9.2.3 Diskussion

I forhold til forståelsen af betydningen af insektgødning som vækstmedie og næringsstofftilskud har det vist sig særdeles relevant ikke udelukkende at basere konklusionen på korttids standardtest, men at gennemføre testen til modning. Hvor korttidstesten viser signifikant negativ effekt af insektgødning, svamp og interaktion mellem svamp og insektgødning på væksten (biomassen), er konklusionen af langtidstesten, at intermediære koncentrationer med optimum omkring et insektgødningsindhold på ca. 15 vol.-% har signifikant positiv effekt på biomassen af såvel hele planten som af akset. Det væsentligste resultat af korttidstesten er dermed indikationen af den begrænsede negative effekt af høje koncentrationer af insektgødning på spirring og overlevelse.

Den positive effekt af insektgødning på såvel total biomasse som aksbiomassen indikerer, at insektgødningen fremadrettet har et potentiale som næringsmedie. Indholdet af makro- såvel som mikronæringsstoffer i insektgødningen bør dog undersøges i større detaljegråd således at behovet for eventuel tilskudsgødsning kan afdækkes. Desuden bør der gennemføres mark-

forsøg med henblik på at undersøge potentialet under mere realistiske betingelser, ligesom andre afgrøder end byg bør testes.

Der blev i forsøget ikke fundet nogen biosanerende effekt af insektgødningen i forhold til plantesygdommen aksfusarium på byg. Ud fra testen kan imidlertid udelukkende konkluderes vedrørende betydningen i forhold til de to testede Fusarium-arter og afgrøden byg.

### 9.3 Biogastest: Vurdering af insektgødning til bioforgasning

I projektet er der gennemført en række biogastest på den anvendte biopulp og på insektgødningen fra pilotskalaforsøgene for herigennem at vurdere egnetheden af insektgødningen til biogasproduktion.

#### 9.3.1 Fremgangsmåde

Biogaspotentialet af pulpen og insektgødningen er blevet bestemt ved brug af bioprocess control-udstyr. Bestemmelsen er blevet gennemført ved 42 °C (mesofil). Der er ved nærværende test benyttet følgende fremgangsmåde:

- Der er anvendt dobbeltbestemmelse af prøverne, en referenceprøve samt to blindprøver.
- Tørstofbestemmelse: 105 °C, 48 timer.
- Askeindhold: 550 °C, 24 timer.
- Prøver er tilsat i en koncentration på 6,5 gVS/l (VS = organisk stof på tørstofbasis).
- Data for akkumuleret metanproduktion er angivet som målt værdi i Nml CH<sub>4</sub>/gVS.

Prøverne blev ikke forbehandlet på nogen vis, inden testene blev igangsat, ud over at prøverne blev opbevaret i fryser inden forsøgsstart.

#### 9.3.2 Resultater

Udrådningen blev afsluttet efter ca. 42 dage, hvor det akkumulerede metanudbytte var konstant. Resultat for akkumuleret metanproduktion efter 42 dage er vist i nedenstående tabel. Metanproduktionen er vist som normal ml metan/g VS svarende til nm<sup>3</sup>/kg VS. Endvidere er beregnet metanproduktion pr. ton frisk vægt.

**TABEL 22.** Metanudbytte af biopulp og insektgødning efter 42 dage.

	Nm <sup>3</sup> metan/ton VS	Nm <sup>3</sup> metan/ton frisk vægt
Biopulp	485	52
Insektgødning (batch 16)	213	62
Insektgødning (batch 17)	294	91

#### 9.3.3 Diskussion

Som det fremgår af ovenstående data, er udbyttet af det organiske materiale ca. det halve i insektgødningen i forhold til biopulpen. Dog er vandindholdet af insektgødningen langt lavere end biopulpen, hvilket bevirker, at udbyttet opgjort i frisk vægt er 10-75 % højere for insektgødningen.

I det forrige kapitel blev det antaget, at prisen for biopulp er 0,25 kr. pr. kilo. I det biogasudbyttet er betragteligt højere pr. frisk vægt, er det i de økonomiske beregninger antaget, at prisen for insektgødningen er 0,3 kr. pr. kilo. Dog er det vigtigt at holde sig for øje, at mængden af insektgødning kun udgør 5-35 % af den indgående biopulp, hvorfor det samlede biogasudbytte af insektgødningen udgør 0,5-26 % af biopulpen.



Rent teknisk har insektgødningen en form, hvorpå den kan anvendes direkte i et biogasanlæg uden yderligere forbehandling. Insektgødningen er i en form, hvor den ligner biomasser, som allerede nu anvendes i danske anlæg.

## 9.4 Økonomisk perspektivering

De overordnede økonomiske beregninger for drift og udbyttet samt udgifter til etablering af en storskala insektproduktion er belyst i afsnit 8.5. Beregningerne viser, at en produktion på 1000 tons larver resulterer i en tilbagebetalingstid på 10 år, hvilket i de fleste investeringssammenhænge ikke umiddelbart er attraktivt. Dog indgår der mange antagelser i beregningerne, herunder fx prissætning af larverne som foder, prisen for podelarver samt elforbrug. Derudover er det sandsynligt, at en projektering af et større produktionsfacilitet vil have en kortere tilbagebetalingstid pga. stordriftsfordele.

Endvidere er der, en række forhold som vil kunne ændre forudsætningerne for en mere økonomisk rentabel produktion. Tre af de mest udslagsgivende parametre er:

- Prisen på biopulp: Denne er afhængig af prisen på biogas, som på nuværende tidspunkt qua subsidier gør prisen høj pr. kilo tørstof.
- Prisen for sammenlignelige proteinkilder som anvendes til mink: Efterspørgslen for foder til produktionsdyr og fødevarer er stigende, hvilket forventes at påvirke den fremtidige prissætning i markedet.
- Prisen af insektgødning: På nuværende tidspunkt foreligger der ikke meget viden om gødnings reelle værdi eller funktionalitet. Biopulp indeholder i dag fysiske urenheder (fx emballage af plast og glas) uagtet om biopulpen overholder fastsatte grænseværdier. Da urenhederne ikke umiddelbart kan fjernes, vil disse blive udlagt på landbrugsjord efter afgang i biogasanlægget. Gennem biokonverteringen af biopulpen faciliterer larverne en opkoncentrering (faktor 5-7) af de fysiske urenheder, samtidig med at affaldsmængden reduceres kraftigt og 'afvandes'. Dette muliggør at de fysiske urenheder vil kunne frasorteres, under forudsætning af at der udvikles udstyr hertil, hvorfor biokonverteret biopulp vil indeholde færre fysiske urenheder og dermed sikre mindre forurening af landbrugsjord.





### **WICE – Waste, Insects and Circular Economy**

Projektets formål var at etablere og drive pilotanlæg til produktion af protein- og fedtholdige insektlarver på basis af organisk husholdningsaffald. Insektlarvernes anvendelighed som minkfoder blev testet, og insektgødning (restproduktet) fra processen blev testet i forhold til biogas- og planteproduktion. I projektet var der som udgangspunkt inkluderet to insektarter: den sorte soldaterflue (Black Soldier Fly (BSF)) og kæmpemelormen. Tidligt i projektet blev det dog besluttet at fokusere det videre arbejde på den sorte soldaterflue, idet kæmpemelormen ikke var i stand til at omsætte det organiske affald. Projektets resultater viser, at oparbejdet, kildesorteret organisk affald er et meget potent substrat til dyrkning af soldaterfluelarver. Med udgangspunkt i resultaterne fra projektet anslås det, at der årligt vil kunne produceres ca. 150.000 tons soldaterfluelarver, som svarer til 50.000 tons på tørstofbasis. På baggrund af de gennemførte vækstforsøg og fordøjelighedsforsøg med mink vil denne mængde kunne afsættes til minkindustrien og dermed substituere anden foder, som dermed kunne være brugt til andre formål.



Miljøstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)