



EXAMENSARBETE INOM ENERGI OCH MILJÖ, AVANCERAD NIVÅ,
30 HP

STOCKHOLM, SVERIGE 2019

Miljösystemanalys av amerikansk vapenflugor (Hermetia illucens) som fiskfoder

En studie av ett insektsbaserat fiskfoder i ett
akvaponiskt system

HANNA HAMMARSTEN



Miljösystemanalys av amerikansk vapenfluga (Hermetia illucens) som fiskfoder

En studie av ett insektsbaserat fiskfoder i ett akvaponiskt system

Hanna Hammarsten

Supervisor
Fredrik Gröndahl

Examiner
Fredrik Gröndahl

Supervisor at ECOLOOP
Simon Magnusson

ecoloop

Degree Project in Environmental technology and sustainable infrastructure
KTH Royal Institute of Technology
School of Architecture and Built Environment
Department of Sustainable Development, Environmental Science and Engineering
SE-100 44 Stockholm, Swed

Abstract

The United Nations foresees a global population increase of 2 billion people by 2050, corresponding to a total population of nearly 10 billion people. In addition, the increase is expected to be disproportionate over the earth and concentrated to parts of the world where food safety is low and production insufficient. The Food and agriculture organization of the United Nations (FAO) estimates that a production increase of 70% will be required to meet the food needs of the global population. Growing fish as an alternative to conventional fishing is an opportunity to meet the increasing demand for animal protein as the natural fish stocks decrease. Aquaponics is a combined cultivation system of hydroponic cultivation and aquaculture that reduces risks associated with eutrophication, invasive species and diffusion of antibiotics and chemicals. However, the consumption of feed fish is problematic in both traditional aquaculture and in aquaponic cultivation. Insects are one of many feed alternatives that are often referred to as a climate-smart solution since they are effective to grow from a land use perspective and have a high ability to convert biomass into high-quality protein. One species that has received extra attention in this area is the black soldier fly (*Hermetia illucens*).

The purpose of this study has been to investigate whether the implementation of an insect-based fish feed with black soldier fly larvae can reduce the environmental impacts of an aquaponic cultivation farm compared to using conventional fish feed based on ingredients from wild-caught sea fish. This has been done by carrying out a literature study of the conventional fish feed and a life cycle analysis of the influence of larva production within these four environmental impact indicators: total energy use, climate impact (GWP), feed fish consumption (FIFO) and acidification.

The results of this study showed that the main energy use for the production of larvae is energy for heating, ventilation and lighting of the production location. In addition, the processing of the larvae (drying) was showed to be an energy intensive process as well. From a climate perspective, it is the composting process carried out by the larvae that causes the largest individual emissions of greenhouse gases. The result also shows that the production of the black soldier fly larvae performs better within the four environmental impact indicators than the conventional fish feed and thus it has the potential as a more sustainable feed component. The case study shows that the analyzed aquaponic farm can reduce its impact in all studied impact categories compared to using conventional feed. However, the study's outcome depends on the current circumstances regarding geographical location of the production, the electricity mix used as well as the availability suitable substrates such as food waste.

Keywords: Fish feed, black soldier fly, fly larvae, fish farm, aquaculture, aquaponics

Sammanfattning

Förenta nationerna förutser en global befolkningsökning med 2 miljarder människor till 2050, vilket motsvara en total befolkningsmängd på nära 10 miljarder människor. Dessutom förväntas ökningen ske oproportionerligt över jorden och koncentreras i delar av världen där livsmedelssäkerheten är låg och produktionen otillräcklig. FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation (FAO) uppskattar att det kommer krävas en produktionsökning med 70% för att möta livsmedelsbehovet för den globala populationen. Att odla fisk som alternativ till konventionellt fiske är en möjlighet att möta den ökande efterfrågan på animaliskt protein då de naturliga fiskbestånden minskar. Akvaponiska odling är ett kombinerat odlingssystem av hydroponisk odling och vattenbruk som möjliggör minskade risker kopplade till övergödning och smitning. Dock är fiskodlingarnas konsumtion av foderfisk problematisk. Insekter är ett av många foderalternativ som ofta nämns som en klimatsmart lösning då insekter är platseffektiva att odla och har en hög förmåga att omvandla biomassa till högvärdigt protein. En art som fått extra mycket uppmärksamhet inom detta område är den amerikanska vaperflugan (*Hermetia illucens*). Syftet med denna studie var att undersöka om implementeringen av ett insektsbaserat fiskfoder med vaperflugelarver kan sänka klimat- och miljöpåverkan från en fiskodling jämfört med att använda ett konventionellt fiskfoder baserat på ingredienser från vildfångad havsfisk. Detta har gjorts genom utförandet av en litteraturstudie av det konventionella fiskfodret och en livscykelanalys av larvproduktionens påverkan inom dessa fyra miljöpåverkansindikatorer: total energianvändning, klimatpåverkan (GWP), foderfiskkonsumtion (FIFO) och förurning.

Resultatet av studien visade att det framförallt är lokalen för produktionen som konsumerar energi för uppvärmning, ventilation och belysning. Utöver detta visade sig bearbetning av larverna (torkning) vara en energiintensiv process. Från klimatperspektiv är det själva komposteringsprocessen som förorsakar de största enskilda utsläppen av växthusgaser. Resultatet visar vidare att produktionen av den amerikanska fluglarven presterar bättre för de studerade faktorerna än det konventionella fiskfodret och att den således har potential som foderkomponent. Fallstudien visar att den undersökta akvaponianläggningen kan minska sin påverkan inom samtliga effektkategorier jämfört med ett nyttjande av konventionellt foder. Dock är studiens utfall beroende av vilka förutsättningar som finns gällande produktionens geografiska placering och således vilken elmix som nyttjas samt vilken tillgången är på lämpliga substrat såsom matsvinn.

Nyckelord: Fiskfoder, amerikansk vaperfluga, fluglarv, fiskodling, vattenbruk, akvaponi

Förord

Den här studien är ett examensarbete inom avdelningen industriell ekologi vid Kungliga tekniska högskolan (KTH) i Stockholm. Studien fullbordar min civilingenjörsutbildning inom energi och miljö. Arbetet har utförts vid företaget Ecoloop AB i Stockholm.

Jag vill börja med att tacka min handledare på Ecoloop, Simon Magnusson som har varit ett fantastiskt stöd och bollplank under min tid med examensarbetet på Ecoloop och kommit med inspirerande förslag och feedback under de många diskussioner vi haft under vårterminen. Jag vill även ge stort och varm tack Ann Segerborg-Fick och Maria Johansson som också på olika sätt engagerat sig i mitt projekt. Ett stort tack också till företaget Ecoloop för att jag har fått möjligheten att utföra mitt examensarbete hos er och tack till alla trevliga och kloka medarbetare som bidragit med värdefulla kommentarer och kloka insikter till projektet. Jag vill också tacka Thomas Bjelkeman-Pettersson och alla på Johannas Stadsodlingar för att jag fått använda er anläggning som en fallstudie i mitt arbete och för all spännande information ni delat med er av och en härlig entusiasm för ämnet som verkligen smittat av sig på mig. Jag vill även tacka min handledare på KTH, Fredrik Gröndahl för vägledning och intressanta tankar under arbetets gång.

Slutligen vill jag även uttrycka min tacksamhet till de aktörer som bidragit med information till studien på olika sätt. Särskilt vill jag tacka Cecilia Lalander som bidragit med värdefull information om den amerikanska vapenflugan, viktig litteratur och ordnat så att jag fick besöka forskningsanläggningen för uppfödning av just amerikansk vapenfluga vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Stort tack!

Inte att förglömma är också mina exjobbskollegor på Ecoloop. Stort tack till er för trevliga luncher, fikapauser och ett fint stöd under arbetet med den här studien.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1 Syfte och mål	2
1.2 Avgränsningar	3
2. Bakgrund	4
2.1 Vattenbruk	4
2.2 Akvaponi	5
2.3 Fallstudie - Johannas stadsodlingar	6
3. Metod och tillvägagångssätt	7
3.1 Litteraturstudie som metod	7
3.2 Livscykelanalys (LCA) som metod	7
3.3 Genomförande av litteraturstudie	8
3.4 Genomförande av livscykelanalys	9
3.4.1 Mål och avgränsningar	9
3.4.1.1 Avgränsningar och systemgränser	11
3.4.1.2 Miljöindikatorer	12
3.4.2 Livscykelinventering	13
3.4.2.1 Uppfödning	14
3.4.2.2 Lokal och uppvärmning	16
3.4.2.3 Belysning	17
3.4.2.4 Bearbetning	17
3.4.2.5 Konventionellt foder	17
3.4.2.6 Indirekta effekter	18
3.4.3 Allokeringssystem	19
3.4.4 Beräkningar för Johannas stadodlingar	20
4. Litteraturstudie	21
4.1 Fiskfoder	21
4.2 Potential för amerikansk vapenfluga	22
5. Resultat	27

5.1 Framställning av larver	27
5.2 Kombinerat fiskfoder	28
5.2.1 Miljöpåverkansindikatorer	29
5.3 Potential för Johannas stadsodlingar	32
5.4 Indirekta konsekvenser	33
5.5 Känslighetsanalys	33
6. Diskussion	36
6.1 Resultat	36
6.3 Minskade emissioner	38
6.4 Invasiv art	38
6.5 Fiskfodrets framtid	39
6.7 Valet av fiskart	39
7. Slutsatser	41
8. Litteraturförteckning	42
Bilaga A. Sammanfattning av data använd för livscykelanalys	47

Figurförteckning

Figur 1. Det akvaponiska systemets livscykel. (Modifierad efter Kledal & Thorarinsdottir, 2018).	5
Figur 2. Idén bakom Johannas stadsodlingar. Bild kopierad med tillstånd från Thomas Bjerkeman-Pettersson	6
Figur 3. Diagram över foderinnehållet i de olika scenarierna undersökta	11
Figur 4. Flödesschema över framställning av fluglarver till fiskfoder	12
Figur 5. Bilder från anläggningen vid SLU. Upplyst rum för parning och äggkläckning i nätburar och vidare larvuppfödning i backar med organiskt substrat. Närbild av larver puppstadiet.	15
Figur 6. Flödesschema över framställning av fluglarver till fiskfoder men indirekta effekter inkluderade.....	19
Figur 7. Bild från SLU. Amerikanska vapenflugor och larvägg.....	24
Figur 8. Hierarkin över användningen av matsvinn baserad på baserad på amerikanska EPA's food waste hierarchy.	25
Figur 9. Diagram över energianvändning (tv) och GWP (th) för fluglarvsproduktionens olika processer.	28
Figur 10. Diagram över de olika foderkombinationernas totala energianvändning	30
Figur 11. De olika foderkombinationernas Global Warming Potential	31
Figur 12. Mängden foderfisk i olika foderkombinationer	31
Figur 13. Försurning förorsakad av de olika foderkombinationerna	32
Figur 14. Känslighetsanalys av tre parametrar	34
Figur 15. illustration över de olika foderkombinationernas GWP med Nederländsk elmix	35
Figur 16. De olika processernas utsläpp av växthusgaser om produktionen av fluglarver placeras i Nederländerna.....	35

Tabellförteckning

Tabell 1. Inventeringsdata för uppfödning av amerikansk vapenfluga.....	14
Tabell 2. Inventeringsdata för produktion av 1 ton konventionellt fiskfoder baserat på viltfångad havsfisk	18
Tabell 3. material-, energi- och emissionsflöden från framställningen av 1 ton torkade fluglarver	27
Tabell 4. In- och utflöden för 2 fiskfoderblandningar (scenario 1a, 1b och 2).....	29
Tabell 5. Potentialen för Johannas stadsodlingar att minska sin påverkan med olika foderkombinationer jämfört med 100% konventionellt foder	33

Ordlista

CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
FAO	Food and agriculture organization of the United Nations (sv. FN:s livsmedels- och jordbruksorganisation)
FCR	Feed conversion ratio (kg foder per kg kropps massa)
FIFO	Fish in fish out (kg foderfisk per kg odlad fisk)
GWP	Global warming potential (sv. Globaluppvärmningspotential)
kWh	kilowattimme
MJ	Mega joule
Prepuppa	Sista larvstadiet innan puppa
SO ₂ e	Svaveldioxidekvivalenter (enhet för försurning)
Substrat	Ett underlag som en växt eller ett djur lever på
TS	Torrsubstans

1. Inledning

Agenda 2030 och de 17 hållbarhetsmålen antogs 2015 av världens ledare med syftet att bidra till social, ekonomisk och miljömässigt hållbar utveckling för världens samhällen (Svenska FN-förbundet 2019). En omställning till en mer hållbar livsmedelsproduktion är av största vikt för att hållbarhetsmålet om bekämpning av klimatförändringar och deras konsekvenser ska kunna nås (Finansdepartementet, 2018). Idag står vi inför stora problem genererade av vår livsmedelsproduktion, till exempel gällande överfiske av världens fiskbestånd och ett växande hot mot biodiversiteten bland annat orsakat av det moderna jordbrukets odlingsmetoder. Samtidigt som flera av hållbarhetsmålen är beroende av att miljöpåverkan från mänskliga aktiviteter drastiskt minskar, innebär en växande befolkning att livsmedelsproduktionen fortsatt kommer att öka och en omställning till en mer hållbar produktion är således ett viktigt steg för en hållbar utveckling (FAO 2017; van Huis et al., 2013).

Generellt i världen har befolkningsökningen minskat stadigt de senaste femtio åren men trots detta beräknas den absoluta årliga tillväxten fortsatt ligga något under 80 miljoner människor per år. Förenta nationerna förutser en global befolkningsökning med 2 miljarder människor till 2050, vilket motsvarar en total befolkningsmängd på nära 10 miljarder människor. Dessutom förväntas ökningen ske oproportionerligt över jorden och koncentreras i delar av världen där livsmedelssäkerheten är låg och produktionen otillräcklig. FN:s jordbruks- och livsmedelsorganisation (FAO) uppskattar att det kommer att krävas en produktionsökning med 70% för att möta livsmedelsbehovet för den globala populationen. Samtidigt som behovet av näringsrik mat ökar tas allt mer jordbruksmark i besittning för odling av biomassa för produktion av biobränslen. Tillsammans med ökade inkomstnivåer konsumeras dessutom större mängder kött och fisk vilket också har resulterat i att mer jordbruksmark tas i besittning då produktionen av animalier, framförallt produktionen av foder, kräver stora arealer mark. För att lösa problematiken med ett ökat livsmedelsbehov behöver mer mat framställas på ett hållbart sätt samtidigt som mängden matsvinn måste minskas och utnyttjas på ett mer resurseffektivt sätt (FAO, 2017).

Att odla fisk (vattenbruk) som alternativ till konventionellt fiske har länge setts som en möjlighet att möta den ökande efterfrågan på animaliskt protein då de naturliga fiskbestånden minskar. Dock är fiskodlingarna inte helt oproblematiska utan har associerats med en rad miljöproblem. Främst är det problemen kring foderproduktionen, och den stora mängd fiskmjöl och fiskolja från vildfångad havsfisk som krävs för denna, som uppmärksammas. Idag beräknas ungefär en tredjedel av den totala fiskfångsten processas till fiskmjöl och fiskolja för boskaps- och fiskfoder (Lalander et al, 2019) Att undersöka nya potentiella foder för vattenbruket har således blivit särskilt intressant. Insekter är ett av många foderalternativ som ofta nämns som en klimatsmart lösning då insekter är platseffektiva att odla och har en hög förmåga att omvandla biomassa till

högvärdigt protein (Smetana et al, 2016). Odling av insekter kan också bidra till avfallshantering genom insekternas förmåga att kompostera olika typer av organiskt material och således kan avfallshantering ske samtidigt som en foderprodukt skapas. En art som fått extra mycket uppmärksamhet inom detta område är den amerikanska vapenflugan (*Hermetia illucens*), vars larver kan tillgodogöra sig näring från en bred variation av organiska substrat såsom hushållsavfall och hönsgödsel (Lalander et al, 2019).

Vad gäller det moderna vattenbruket är även odlingens placering och kontakt med den naturliga miljön en riskfaktor då den direkta kontakten innebär risk för smitning och spridning av främmande arter och genetisk kontaminering samt spridning av sjukdomar vilket kan förorsaka utrotning av arter och hot mot biodiversiteten. Odlingarna kan även orsaka spridning av antibiotika och andra läkemedel som används i uppfödningen samt bidra till ekologiska förändringar av miljön, försämra vattenkvalitén och bidra till övergödning i närområdet orsakat till exempel av stora mängder foderrester (Salin et al, 2018). Slutna odlingssystem på land är således en möjlighet att minimera den här typen av problem. Akvaponi är ett landbaserat system vilket kombinerar fiskodling med grönsaksodling i vatten, där näringsrikt vatten cirkulerar från fiskodlingen till plantorna vilka genom sitt upptag av näringsresterna renar vattnet som kan cirkuleras tillbaka till fiskodlingen (Kledal & Thorarinsdottir, 2018). Akvaponi är även en möjlighet för ett land som Sverige att öka sin lokala matproduktion då en inomhusodling möjliggör odling oberoende av utomhustemperatur eller antal dagsljusstimmar. Valet av foder är likväl ändå en viktig aspekt även för akvaponisk odling och foderproduktionen har även i den här typen av anläggning visat sig vara en av de avgörande faktorerna för odlingens avtryck på miljö och klimat (Cohen et al, 2017).

1.1 Syfte och mål

För den här studien är en grundläggande hypotes att vildfångad havsfisk som huvudsaklig ingrediens i fiskfoder måste minska i framtiden till förmån för andra mer hållbart producerade proteinrika foderkomponenter. Avgörande för den fortsatta utvecklingen av fiskodling är således att gå över till alternativa foderkomponenter såsom till exempel fluglarver. Den här studien fokuserar på potentialen för att använda amerikansk vapenfluga som komponent i fiskfoder. Syftet med denna studie är därför att undersöka om implementeringen av en insektsbaserat fiskfoderkomponent av vapenfluglarver kan sänka klimat- och miljöpåverkan från en fiskodling jämfört med att använda ett konventionellt fiskfoder baserat på ingredienser från vildfångad havsfisk. Denna undersökning kommer att utföras genom en fallstudie av Johannas stadsodlingar - en akvaponianläggning under uppbyggnad i Vallentuna, Stockholm.

Målen med studien är därmed att

- Undersöka och beskriva problematiken med konventionellt fiskfoder utifrån ett miljöperspektiv samt undersöka och beskriva potentialen hos den amerikanska vapenflugan som ett komplement till det konventionella fiskfodret.

- Utföra en systemstudie med livscykelperspektiv för framställningen av den amerikanska fluglarven med syftet att redogöra för de olika processernas prestanda utifrån valda miljöpåverkansindikatorer.
- Utifrån ett livscykelperspektiv analysera skillnader i miljöpåverkan vid införande av larvbaserade foder i den studerade akvaponianläggningen jämfört med konventionellt foder

1.2 Avgränsningar

Den här studien är ett examensarbete vid Kungliga Tekniska högskolan, KTH och är därmed begränsad till 20 veckors arbete. Studien har delvis varit ett samarbete med Johannas Stadsodlingar vilket ligger till grund för valet av fallstudie och studiens fokus på just ett akvaponiskt system. Johannas Stadsodlingar har även uttryckt en vilja att undersöka potentialen hos ett insektsbaserat fiskfoder då de är intresserade av att implementera detta i sitt system och därigenom öka systemets cirkularitet.

Projektet har också avgränsats till att undersöka påverkan från framställningen av den amerikanska vapenflugan. Det finns visserligen andra insekter som har potential som fiskfoder men främst på grund av tidsbrist bestämdes att studien skulle avgränsas till den insektsort som efter litteraturstudien bedömdes vara bäst lämpad för fiskfoderproduktion. För att kunna jämföra det insektsbaserade fiskfodret med ett konventionellt fiskfoder har tidigare livscykelanalyser av konventionellt fiskfoder används. Valet att använda tidigare studier gjordes då det inte ansågs relevant eller rimligt att lägga tid på att utföra en ny studie av en produkt som redan undersökts i stor skala.

2. Bakgrund

Det här avsnittet syftar till att ge läsaren en god bakgrundsförståelse för ämnet fiskodling och akvaponisk odling och dess roll i den globala livsmedelsproduktionen. Kortfattat presenteras även problematiken med det konventionella vattenbruket och nyttjandet av foderfisk samt belyser möjligheterna och problemen med akvaponisk odling. I detta avsnitt presenteras även den akvaponianläggning vars miljöpåverkan från foderanvändning kommer att undersökas som fallstudie.

2.1 Vattenbruk

Fisk är en viktig proteinkälla bland dagens livsmedel, men det visar sig allt tydligare att havens resurser av fisk är begränsade och att dessa ekosystem är känsliga för en intensiv mänsklig påverkan. Idag beräknas över 50 % av världens fiskeresurser vara maximalt utnyttjade medan ytterligare 25% av resurserna bedöms vara överfiskade till den grad att fiskbeståndens återväxt är allvarligt hotad (FAO, 2012). Vattenbruk är odling av djur och växter i vatten. Den globala produktionen av fisk från vattenbruk har ökat under de senaste årtiondena och stod 2016 för ungefär 50% av den totala globala fiskproduktionen, vilket gör vattenbruket till den snabbast växande sektorn av animaliskt producerad mat (FAO, 2018; Hornborg et al, 2014). Sedan mitten av 1900-talet har den årliga globala fiskkonsumtionen varit dubbelt så hög som den motsvarande befolkningsökningen, statistik som tydligt demonstrerar vattenbrukets viktiga roll i arbetet för att möta det globala hållbarhetsmålet *Ingen hunger* (FAO, 2018).

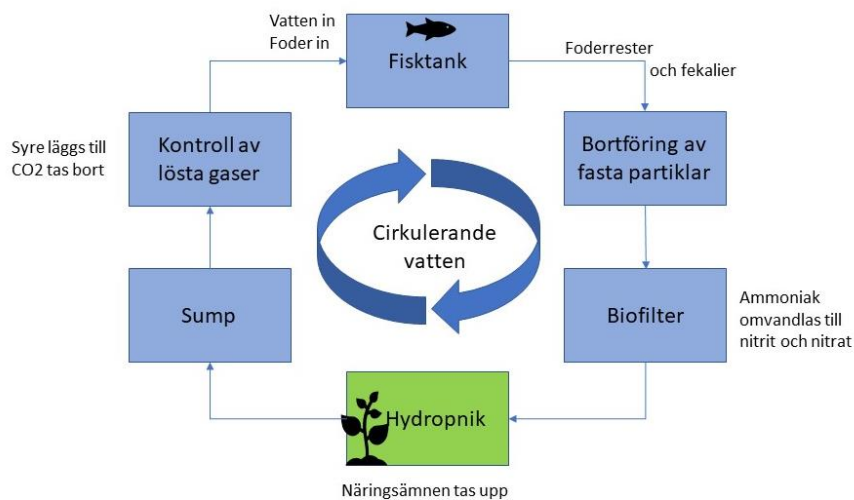
På grund av de redan hårt utnyttjade fiskresurserna i världens hav är det nödvändigt att produktionen av odlad fisk fortsätter att öka för att möta den ökade efterfrågan hos den växande populationen (Europeiska kommissionen, 2019). Idag importerar Sverige stora mängder av den fisk och de grönsaker som konsumeras inom landet och närmare 25% av den svenska importen av jordbruksprodukter och livsmedel utgörs av just fisk. Sedan 2003 har dock den svenska vattenbruksproduktionen av matfisk fördubblats och är idag värdemässigt viktigare än det traditionella fisket trots att vattenbruksproduktionen fortfarande är liten volymmässigt i jämförelse. Detta beror främst på att arterna som normalt odlas inom vattenbruket är exklusiva arter såsom lax och regnbåge (Davelid & Rosell & Burman 2014). Vattenbruken kan vara intensiva eller extensiva. Skillnaden mellan dessa två odlingsmetoder är att i ett intensivt vattenbruk utfodras fisken med torrfoder medan fisken i den extensiva odlingen lever av den föda som naturligt finns i vattnet (Jordbruksverket, 2019a). Dock kan tillväxten av vattenbruket innebära negativ påverkan på ekologi, vattenkvalitet och medföra genetisk påverkan av arter inom den naturliga vattenmiljön (Salin et al, 2018a).

En stor del av problematiken relaterat till dagens vattenbruk är kopplad till det fiskfoder som används inom odlingen (Nyström, 2015). Majoriteten av den europeiska fiskodlingen är baserad på produktion av köttätande fiskarter såsom lax och regnbåge. Detta leder till att foderindustrin till

stor del är beroende av fiskmjöl och fiskolja då dessa ingredienser bidrar med de nödvändiga näringsämnen vilka möjliggör en optimal tillväxt för den typ av fisk som används inom vattenbruket (Europeiska kommissionen, 2019). Dock växer medvetenheten allt mer för konsekvenserna av nyttjandet av dessa ingredienser och med en minskande tillgång på vildfångad foderfisk och ett fluktuerande pris har trenden att inkorporera protein från andra källor, såsom från växter och landlevande djur, tagit fart (Nyström, 2015; Salin et al., 2018b). Den amerikanska vapenflugan nämns ofta i dessa samband som ett animaliskt protein lämpligt för just fiskfoder.

2.2 Akvaponi

Akvaponi är ett system för att producera livsmedel på land där hydroponisk odling (odling i vatten utan jord) och fiskodling kombineras. Vattnet från fisktankarna innehåller fekalier från fiskarna och foderrester och är därför näringsrikt. Vattnet leds, efter det att de fasta partiklarna bortförts, till ett filter där mikroorganismer omvandlar ammonium till nitrit och sedan till nitrat och sedan vidare till de hydroponiska bäddarna där växternas rötter tar upp näringen. Den hydroponiska odlingen bidrar då också till att vattnet renas och således kan pumpas tillbaka till fisktankarna (Kledal & Thorarinsdottir, 2018). Systemet är illustrerat i Figur 1.



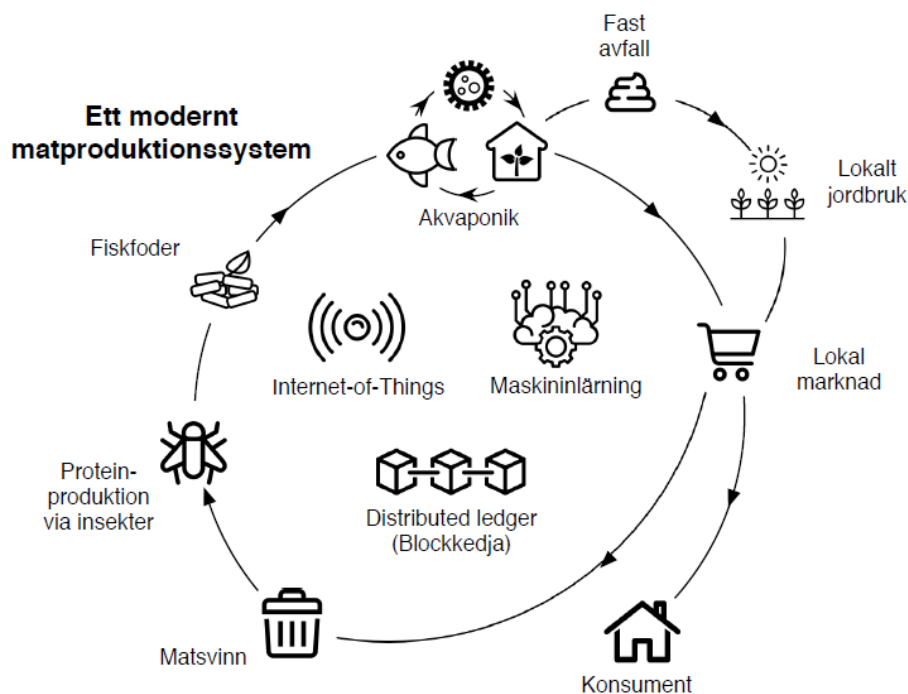
Figur 1. Det akvaponiska systemets livscykel. (Modifierad efter Kledal & Thorarinsdottir, 2018).

Tack vare att det akvaponiska systemet är ett cirkulärt produktionssystem och att fiskodlingen är placerad på land och således inte i kontakt med naturliga vattendrag har systemet potential att vara mindre resurskrävande då näringsflöden kan minskas, förorsaka låga utsläpp och ha hög resiliens samtidigt som systemet kan producera mat som har potential att vara ekonomiskt konkurrenskraftig (Kledal & Thorarinsdottir, 2018). Dessutom förorsakar inte systemet samma risk för naturliga ekosystem och bidrar inte till övergödda vattendrag som traditionell fiskodling

ofta associeras med genom sin direkta kontakt med insjöar eller kustvatten. Det huvudsakliga inflödet i systemet är, förutom energi i form av värme och ljus, just det foder som används för att göda fisken i systemets första anhalt. En viktig aspekt inom systemet gällande de slutgiltiga produktens klimat- och miljöpåverkan är således det avtryck som förorsakas av ingredienserna i fodret och dess framställningsprocess (Salin et al., 2018b).

2.3 Fallstudie - Johannas stadsodlingar

Johannas stadsodlingar är ett projekt för att producera närodlat mat med låg klimatpåverkan till den medvetna konsumenten i Stockholmsregionen. Det första steget i projektet är en pilotanläggning norr om Vallentuna utanför Stockholm vilken planeras vara i bruk under våren 2019. Syftet med pilotanläggningen är främst att skapa en plats där odlingstekniken och de producerade produkterna kan visas upp för intressenter, eventuella investerare och kunder. Anläggningen kommer omfatta en aktiv odlingsyta på knappa 100 m² för sallat och andra bladgrönsaker och örter, med tillhörande fisktankar där planen är att föda upp regnbåge för att förse hydroponiska odlingen med näringsrikt vatten. För den småskaliga produktionen för pilotanläggningen beräknas foderkonsumtionen landa på drygt 1,2 ton fiskfoder per år. Att inkorporera ett insektsbaserat fiskfoder inom Johannas stadsodlingar har potential att ytterligare förstärka produktionens cirkularitet genom att nyttja avfall och svinn från anläggningen och närområdet för uppfödningen av fluglarverna vilket illustreras i Figur 2.



Figur 2. Idén bakom Johannas stadsodlingar. Bild kopierad med tillstånd från Thomas Bjelkeman-Pettersson

3. Metod och tillvägagångssätt

I detta avsnitt presenteras de metoder som använts för utförandet av denna studie samt beskrivning av genomförandet. De vetenskapliga metoder som använts för att uppnå studiens syfte och mål är en litteraturstudie av konventionellt fiskfoder och potentialen hos den amerikanska vapenflugan som fiskfoder samt en livscykelanalys av en konceptuell larvproduktion där resultatet även jämförts med tidigare livscykelanalyser av konventionellt fiskfoder.

3.1 Litteraturstudie som metod

Litteraturstudie är en metod för att samla in för studien relevant information genom systematisk informationssökning och granskning av vetenskapliga rapporter, artiklar och avhandlingar. I en litteraturstudie söker man nå studiens syfte med hjälp av tidigare studier på samma tema. Litteraturen som används i studien ska framförallt bestå av originalartiklar från vetenskapliga tidskrifter. Utifrån studiens syfte bestäms således sökord som, genom att ringa in ämnesområdet, används vid sökning av relevant litteratur i olika databaser.

3.2 Livscykelanalys (LCA) som metod

Följande beskrivning av livscykelanalys som vetenskaplig metod är baserad på information från boken *Life Cycle Assessment Student Handbook* av Marry Ann Curran (2015).

Det finns flera olika typer av metoder för att analysera och beräkna miljöpåverkan, såsom miljökonsekvensbeskrivning (vanligt för enskilda projekt) och andra ekonomiska metoder såsom kostnads-nyttoanalys. Livscykelanalys (LCA) är även det ett verktyg för miljösystemanalys och används för att skapa en helhetsbild av den totala miljöpåverkan från en process eller produkt genom dess hela livscykel. Detta innebär att miljöpåverkan redovisas från "vaggan till graven" vilket inkluderar råvaruutvinning, tillverkningsprocess, användning och slutligen avfallshantering samt transporter och energiåtgång mellan alla dessa huvudsteg.

Syftet med metoden är dessutom att skapa en uppfattning över vilka resursflöden som förekommer inom livscykeln för att på så sätt enklare kunna se vilka möjligheter det finns att minska miljöpåverkan. En viktig aspekt av LCA är möjligheterna att identifiera potentiell överföring av miljöpåverkan mellan olika medium eller mellan olika faser av livscykeln. Det kan till exempel röra problem med att nya problem framkommer som ett resultat av en minskad påverkan i ett annat skede, vilket gör att överföringar som ligger utanför fokusområdet eller vad som normalt skulle omfattats av miljöbedömningen inkluderas tack vare att de fångas upp av livscykelanalysen. Genom att bredda fokusområdet och på det här sättet flytta systemgränserna kan LCA agera som ett hjälpmedel och vara ett underlag för att beslutsfattare ska kunna välja den produkt eller process som förorsakar minst total miljöpåverkan. Helhetssynen gör också att livscykelanalyser generellt leder till resultat som kan vara både oväntade och icke intuitiva.

Ramverket för metoden har utvecklats genom åren. Även om LCA som metod på ett eller annat sätt använts tidigare så var det först 1990 som metoden med namnet LCA myntades officiellt av SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). Originalramverket bestod då endast av tre komponenter, nämligen inventering, konsekvensanalys och förbättringsanalys. Dagens ramverk har definierats av den internationella standardiseringsorganisationen (ISO) vilka har producerat en serie av standarder och tekniska rapporter för LCA, publicerade under 14040 serien. Dessa standarder är organiserade efter de olika faserna i livscykelanalysen, beskrivna nedan.

1. *Mål och avgränsning*

I detta steg identifieras syftet bakom studien, systemgränser, antaganden och förväntade resultat.

2. *Livscykelinventering*

Nästa steg är en inventering av produkten eller processens miljöpåverkan där energianvändning, flöden av råmaterial och miljöutsläpp associerade till alla steg i den aktuella livscykeln kvantifieras.

3. *Konsekvensanalys*

Baserat på resultatet från inventeringen uppskattas sedan vilken påverkan detta kan komma att få på människa och miljö.

4. *Tolkning*

I detta sista steg analyseras och tolkas resultaten från studien och slutsatser dras och presenteras på ett transparent sätt.

3.3 Genomförande av litteraturstudie

Då det huvudsakliga fokuset för studien har varit utförandet av en livscykelanalys för fiskfoder baserat på fluglarver samt att analysera miljöpåverkan från ett sådant foder jämfört med andra foderalternativ, har litteraturstudien främst varit en metod för att samla bakgrundsinformation om fiskodling, akvaponi, konventionellt foder och information relaterad till produktion av amerikansk vapenfluga och dess potential som fiskfoder. I studien har informationen från litteraturstudien främst varit ett verktyg för att skapa bred bakgrundsförståelse för ämnet och bakomliggande faktorer vilka driver utvecklingen för alternativa fiskfoder och livsmedelsproducenter framåt. Litteraturstudien har även varit den huvudsakliga metoden för att samla in data om produktionen av konventionellt fiskfoder för att kunna utföra en jämförande studie av fiskfoder.

Informationssökningen i denna studie har främst gjorts via KTH:s bibliotekdatabas, KTH Primo, med sökorden Black soldier fly, Hermetia illucens, Fish feed, Insect production, Insect breeding, Insect feed, Rainbow trout, Aquaponics, Aquaculture samt deras svenska motsvarigheter. Informationssökningen har främst varit på engelska då detta visat sig ge flest relevanta träffar. Utifrån relevanta källors referenser har sedan fortsatt sökning skett. Vid granskning av litteratur

har ett kritiskt förhållningssätt till alla källor tillämpats och information utan tillräcklig tillförlitlighet har således försakats.

3.4 Genomförande av livscykelanalys

I detta avsnitt presenteras hur livscykelanalysen av foderkombinationen har genomförts. Detta innefattar analysens mål, avgränsningar och systemgränser, livscykelinventering, beskrivning av allokeringsproblem och beräkningar.

3.4.1 Mål och avgränsningar

Målet med denna systemstudie var att undersöka de olika faktorer under produktionen av fluglarver som har en möjlig påverkan på klimat och miljö. Detta innefattar transporter av matavfall till anläggningen, energianvändning vid anläggningen för uppvärmning av lokal, ventilation och belysning och utsläpp av växthusgaser och ammoniak från komposteringen samt energiförbrukning vid torkning av fluglarverna. Dessutom har indirekta faktorer av att matsvinn nyttjas som en resurs inom en ny industri och den påverkan detta får på biogasproduktionen undersökts och diskuterats. Analysen var således inte en renodlad LCA då det inte var möjligt eller relevant att studera och kvantifiera alla flöden associerade till fluglarvsproduktionen vilket mer utförligt har beskrivits under avsnitt 3.4.1.1 Avgränsningar och systemgränser. Detta minskar dock inte möjligheterna att nå studiens syfte.

För att kunna analysera potentialen att sänka miljöpåverkan från den akvaponiska anläggningen genom att inkorporera fluglarver som en foderkomponent för anläggningens fiskar, har resultatet av systemstudien av larvproduktionen jämförts med resultat från tidigare livscykelanalyser utförda för konventionellt foder. Detta gjordes genom att undersöka olika foderscenarier vilka innehöll en kombination av konventionellt foder och torkade fluglarver. Den funktionella enheten valdes således till 1 ton fiskfoder. Detta foder kunde antingen vara 1 ton fluglarver torkade till motsvarande fukthalt som det konventionella fodret eller en kombination av konventionellt foder och torkade fluglarver.

Målet med livscykelanalysen var att presentera tre olika foderscenarier som visar skillnaderna mellan olika foderkombinationers avtryck på klimat och miljö. För att detta skulle vara möjligt gjordes först och främst beräkningar för två basscenarier bestående av 1 ton torkade fluglarver och 1 ton konventionellt foder, vilka agerade utgångspunkt när övriga scenarier med olika inblandning av fluglarver sedan skapades. Framställningen av 1 ton torkade fluglarver analyserades också per framställningsprocess för att undersöka processernas påverkan inom de olika effektkategorierna. 1 ton konventionellt foder är det ursprungliga scenariot för Johannas stadsodlingar där 100% av foderbehovet täcks av konventionellt fiskfoder. Resultatet för detta scenario kommer främst från tre tidigare livscykelanalyser av fiskfoder (presenterat i avsnitt 3.4.2.5 *Konventionellt foder*).

Scenario 1a - torkade fluglarver ersätter 25% av det konventionella fiskfodret

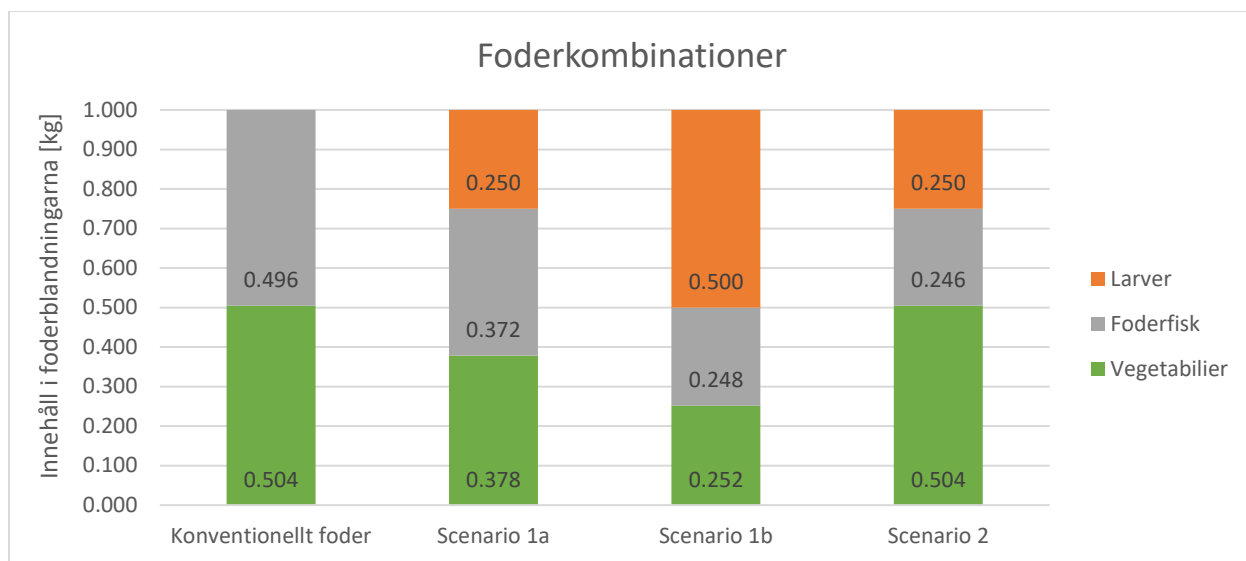
Det mest realistiska scenariot baserat på vad tidigare forskning har visat, är att 25% av det konventionella fiskfodret går att byta ut mot fluglarver utan att fiskarnas hälsa försämras eller deras tillväxt hämmas. Därför valdes detta scenario att undersökas. Att nyttja larverna i sitt färska tillstånd, eller möjligtvis färskfrusna, minskar visserligen bearbetningsprocesserna och har således potential att spara energi jämfört med att använda larver som torkat men på grund av de färska larvernas höga fukthalt (ca 75%) är de inte idealiska som fiskfoder i detta tillstånd och i denna analys valdes således torkade larver.

Scenario 1b - torkade fluglarver ersätter 50% av det konventionella fiskfodret

Då vissa studier visar på att höga halter av det konventionella fiskmjölet kan bytas ut mot insektsmjöl har även en kombination med 50% torkade fluglarver valts att undersökas. Detta för att undersöka om effekterna av en högre inblandning följer samma mönster som vid en lägre inblandning och om en högre inblandning kan vara relevant för Johannas stadsodlingar i framtiden. Detta scenario innehåller dock en del osäkerheter gällande den odlade fiskens tillväxt, vilket gör scenariot mer till en indikator för potentialen hos fluglarvsinblandning i konventionellt fiskfoder än en rekommenderad foderkombination.

Scenario 2 – torkade fluglarver ersätter 25% av det konventionella fiskfodret (endast fiskbaserade ingredienser)

Då det är just de fiskbaserade ingredienserna som anses vara mest problematiska undersöktes även om effekterna av att inkorporera torkade insekter blir större om endast de fiskbaserade ingredienserna byts ut i det konventionella fodret medan övriga ingredienser kvarstår. I scenario 2 ersattes 25% av det konventionella fodret vilket motsvarar cirka 50% av fiskmjölet i fodret. Detta innebär att fluglarverna blir inkorporerade i det pelleterade fodret i form av ett insektsmjöl vilket kräver att de torkade larverna genomgår ytterligare ett processteg (malning). Då de tidigare livscykelanalyserna för konventionellt foder inte är lika detaljerade som önskat, analyserades detta scenario bara för total energianvändning, utsläpp av växthusgaser (GWP) och konsumtion av foderfisk (FIFO). Se Figur 3 för illustration över de olika scenariernas uppbyggnad.



Figur 3. Diagram över foderinnehållet i de olika scenarierna undersökta

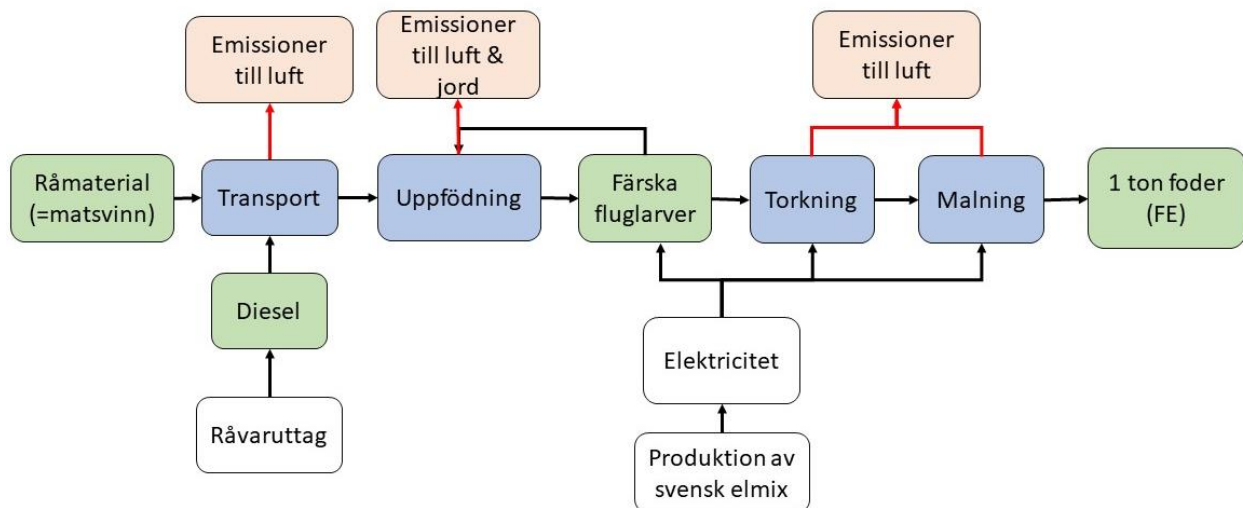
3.4.1.1 Avgränsningar och systemgränser

Den här studien har i första hand avgränsats geografiskt till Sverige och de svenska förhållandena gällande utomhustemperatur, produktion av elektricitet, framställning av biogas, val av transportmedel och avstånd mellan systemkomponenter samt gällande regelverket för insektsproduktion och användningen av insekter som foderkomponent. Undantaget är sammanställningen av det konventionella fodrets påverkan då detta bygger på studier gjorda av olika foder innehållande ingredienser med globalt utspridd härkomst. Avgränsningar har också gjorts angående fodrets utformande. I den här studien har endast insektsbaserat fiskfoder bestående av torkade larver undersökts. Detta innebär att pelleterat insektsfoder innehållande vegetabilier eller andra animaliska produkter inte har inkluderats i studien, trots att det är en av de vanligare formerna av insektsbaserat fiskfoder på marknaden.

Vidare har inte matavfallets livscykel inkluderats i livscykelanalysen för larvproduktionen då detta material behandlas som ett avfall och inte framställts med syftet att nyttjas som fluglarvsföda. All typ av förbehandling av de organiska substraten har också exkluderats från studien. Detta då det pågår mycket forskning kring olika förbehandlingsmetoder och dess effekter på substratets påverkan på larvernans tillväxt och hälsa, men det saknas fortfarande klara direktiv eller rekommendationer för sådan behandling.

Vad gäller vilka effektkategorier som undersökts har övergödning uteslutits ur studien trots att det är ett av de mer diskuterade problemen relaterade till fiskodling och utfodring. Denna avgränsning har gjorts då studiens fokus varit akvaponisk odling där systemet är slutet och vattnet renas av biofilter och näringsrester tas om hand av växterna. Övergödning diskuteras främst i fodersammanhang när fiskodlingen är placerad i direkt kontakt med naturliga vattenmiljöer, då

detta kan leda till att överblivna foderrester och näringsämnen från fiskarna metabolism läcker ut och göder vattendragen. Systemgränserna för studien kan ses i Figur 4.



Figur 4. Flödesschema över framställning av fluglarver till fiskfoder

3.4.1.2 Miljöindikatorer

Effektkategorier eller miljöpåverkansindikatorer är de kategorier vilka har används för att bedöma fodrets påverkan på miljön. De effektkategorier som bedömts och kvantifierats i studien är total energianvändning, klimatpåverkan, FIFO (fish in fish out) och förurning.

Total energiförbrukning

I beräkningarna för total energipåverkan har den primäre energi som behövs för att driva de olika processerna i systemet beräknats. Till exempel har framställningsprocesserna för elektricitet och diesel inkluderats i beräkningarna. Elektricitet nyttjas i foderproduktionen för uppvärmning, belysning och torkning av färska larver, diesel antas vara det aktuella drivmedlet för transport av organiska substrat till anläggningen. Den totala energiförbrukningen har angetts i enheten MJ.

Klimatpåverkan

Klimatpåverkan eller global warming potential (GWP) förorsakas av växthusgaser som släpps ut i atmosfären och resulterar i en temperaturstegring på jorden och ett förändrat klimat. Dessa gaser bidrar till klimatförändringarna genom den så kallade växthuseffekten där värmestrålning från jorden i för hög grad reflekteras tillbaka till jorden och värmer upp planeten. Utsläpp av växthusgaser är således ett globalt problem då utsläppen bidrar till global uppvärmning oavsett var på jorden utsläppen sker.

Växthusgaser släpps ut i flera av de olika processerna i foderframställningen, såsom produktion av elektricitet, transporter och kompostering. Gaserna har olika inverkan på jordens klimat

beroende på hur lång livslängd de har i atmosfären. Därför används ofta enheten GWP (global warming potential) vilket är en enhet som beskriver den effekt en viss massa av en gas har på klimatet, vilket gör det möjligt att jämföra effekterna de olika växthusgaser har på klimatet. GWP är således ett mått på hur mycket värme en gas kan hålla i atmosfären. Måttet är relativt och jämför gasers klimatpåverkan med effekten av samma mängd CO₂ vilket gör det möjligt att räkna om utsläppen av växthusgaser till koldioxidekvivalenter (CO₂e). GWP-värdet är beroende på hur effektivt gasen absorbera infraröd strålning, dess livslängd i atmosfären och i vilka delar av det infraröda våglängdsområdet som gasen absorberar strålning. Förutom dessa faktorer är gasens GWP-värde också beroende av den tidsrymd som beräkningarna avser. Ofta anges GWP för en hundraårsperiod, vilket anger hur stor påverkan på klimatet ett utsläpp av gasen får över hundra år. Ett utsläpp av metangas får till exempel, sammanräknat över hundra år, 25 gånger så stor inverkan på klimatet än ett utsläpp av koldioxid i motsvarande storlek medan värdet för dikvävemonoxid (lustgas) är 298 koldioxidekvivalenter (IPCC, 2014). På detta sätt kan utsläppen av växthusgaser beräknats i enheten CO₂e, vilket gjorts i denna studie.

FIFO

Baserat på den hypotes som delvis ligger bakom studien, att förbrukningen av foderfisk måste minska i framtiden, är det väsentligt att nya foder för odlad fisk bidrar till att behovet av foderfisk minskar inom industrin. FIFO (fish in fish out ratio) har beräknats som kg foderfisk per kg odlad fisk.

Försurning

Utsläpp av försurande gaser är ett erkänt problem i samband med kompostering och således ett relevant utsläpp att undersöka i samband med fluglarvsproduktion då larvernas konsumtion av de organiska substraten är en typ av larvkompostering. Dessutom är den största källan till försurning i Sverige orsakad av människans förbränning av fossila bränslen, vilket genom transporter förekommer i den aktuella livscykeln likväl som i framställandet av ett konventionellt fiskfoder. I denna studie har svaveldioxidekvivalenter (SO₂e) använts som gemensam måttenhet för utsläpp av försurande gaser.

3.4.2 Livscykelinventering

Insamlingen av data för livscykelanalysen av fluglarvsproduktionen har främst gjorts genom personlig kommunikation med experter. Detta har gjorts genom fysiska möten och samtal, telefonsamtal och kommunikation via e-post. Data gällande tekniska komponenter såsom torkning av larver och belysning av uppfödningssavdelningen har främst kommit från leverantörer och tillverkare av specifik utrustning med personlig erfarenhet av ämnet.

En stor del data har även samlats in under ett besök på Sveriges lantbruksuniversitets anläggning för forskning på amerikansk vapenfluga. Under detta besök gjordes observationer av anläggningens utförande, flugornas beteende och utseende och larvernas olika stadier. Övrig

information om anläggningen, så som kapacitet att bearbeta organiskt material, produktionsmängd avfluglarver, temperatur etcetera samlades in genom samtal med personalen på anläggningen.

Alla analyserade system för framställningen avfluglarver är i korthet beskrivna nedan. Antaganden med relevanta referenser är sammanfattade i Tabell 1. Inventeringen är gjord för en anläggning med kapaciteten att behandla 1 ton matsvinn per vecka. En sammanställning av all använd data kan ses i Bilaga A. Sammanfattning av data använd för livscykelanalys.

Tabell 1. Inventeringsdata för uppfödning av amerikansk vapenfluga

Produktionsanläggning avfluglarver	Antaganden för 1 ton matsvinn/vecka	Detaljer	Källa
Uppfödning	Uppvärmning: 132,8 kWh	Mängden energi för att värma upp en ekonomibygnad till 27 grader. Antaget U=0,3	Boverket, 2018
	Belysning: 60,48 kWh	Antar 2 st lampor à 180 W	Yang, 2019
	Direkta utsläpp: 45 CO ₂ e	Direkta gasutsläpp från larvkomposteringen	Erlöv, 2018; Mertenat 2019
	Markanvändning: 20 m ²	Faktiskt nyttjad yta för uppfödning och avel av amerikansk vapenfluga	SLU-observation, 2019
	Transport: 5 km	transport av matavfall från butik till anläggning	Uppskattning
	Diesel: 1,1 l	Transport av 1 ton matsvinn/vecka	Svensson, 2015
Bearbetning	Torkning: 208,75kWh	Baserat på uppskattningen att det krävs 835 kWh för att torka 1 ton larver	Max industrial microvawe, 2019

3.4.2.1 Uppfödning

Baserat på information från den produktionsanläggning (se Figur 5) som drivs av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) ur forskningssyfte, har omvandlingsförhållandet mellan foder och producerad larvmassa i den här studien uppskattats till 1 ton blött vegetabiliskt substrat (matavfall) för att producera 250 kg färska larver. Behandlingen av 1 ton matavfall och således produktionen av 250 kg larver beräknas ta ca 1 vecka i den aktuella anläggningen. Vidare antas att 2 % av larvmassan används för fortsatt uppfödning så att kolonins storlek behålls konstant. För denna studie har dessa förhållanden använts för att beräkna in- och utflöden till uppfödningen i fallstudien.



Figur 5. Bilder från anläggningen vid SLU. Upplyst rum för parning och äggkläckning i nätburar och vidare larvuppfödning i backar med organiskt substrat. Närbild av larver puppstadiet.

3.4.2.2 Lokal och uppvärmning

Produktionen av larver för foder och uppfödningen av kolonin antas vara placerad i en del av den redan existerande byggnad Johannas stadsodlingar har till förfogande för sin verksamhet. Då byggnaden redan finns på plats har material och energi för utformandet av lokalen inte tagits med i beräkningarna för produktionen av larvmassan. I den här studien har en yta på 20 kvm angivits för en produktion motsvarande storleken av att hantera 1 ton matavfall med fluglarvskompostering per vecka. Lokalens area har således använts i beräkningarna av larvmassans miljöpåverkan för att kunna beräkna vilket energibehov som finns för uppvärmning av anläggningen. Detta är baserat på den lokal som används vid larvkomposteringen vid SLU i Uppsala. Det är dock viktigt att konstatera att denna anläggning inte på något sätt är optimerad utifrån markanvändning och att ytan således skulle kunna vara betydligt mindre och ändå kunna producera samma larvmassa. Lokalen som används för larvproduktion och uppfödning bör hålla en temperatur mellan 27–30 °C, i denna studie har 27 °C valts vid beräkning av energibehovet för uppvärmning av lokalen. I beräkningarna har svensk elmix använts som antas förorsaka en relativt liten klimatpåverkan. I denna studie har en klimatpåverkan motsvarande på 50 gram CO₂e per kWh använts vilken har genererats från electricitymap.org (maj 2019). Elens klimatpåverkan är dock i realiteten inte statisk utan förändras med rådande förutsättningar.

För att kunna uppskatta energianvändningen för uppvärmning av lokalen beräknades transmissionsförlusterna för lokalen, det vill säga den värme som läcker ut från lokalen på grund av en svalare utomhustemperatur. Dessa förluster motsvarar den effekt som måste tillsättas till rummet i form av radiatorer eller dylikt för att behålla en konstant önskad inomhustemperatur. Transmissionsförlusterna för lokalen är beroende av differensen mellan utomhustemperaturen och den önskade inomhustemperaturen och lokalens storlek. Som beskrivits ovan har inomhustemperaturen satts till 27 °C för den här energiberäkningen och utomhustemperaturen har baserat på medelvärden från SMHI satts till 6,75 °C. Vilka förlusterna blir är därtill avhängigt av lokalens U-värde (tidigare kallat k-värde). U-värdet anger ett materials isoleringsförmåga och är ett mått på hur mycket värme som passerar en kvadratmeter av byggnadsmaterialet vid en temperaturskillnad på en grad mellan ute och inne. U-värdet är således beroende av materialets tjocklek och dess värmeledningsförmåga (Christensen, 2019). U-värdet för denna lokal har uppskattats till 0.33 W/m², °C, baserat på Boverkets energikrav (2018). Transmissionsförlusterna beräknades med följande ekvation:

$$P = U * A * (t_{inne} - t_{ute})$$

Där P=transmissionsförlusten (W)

U=isoleringsförmåga för lokalens väggar och tak (W/m², °C)

A=den yta genom vilken värme släpps ut, dvs arean av lokalens väggar och tak (m²)

t_{inne}=önskad temperatur inne i lokalen (°C)

t_{ute}=utomhustemperatur (°C)

Vidare har ventilationsbehovet för lokalen uppskattats till 1,5 kW/m³/s, baserat på boverkets energikrav (2018).

3.4.2.3 Belysning

Då lämpliga livsmiljöer för den amerikanska vapenflugan är i tropiska, subtropiska och varmttempererade regioner, är den i sin naturliga miljö beroende av direkt solljus för parning och lyckad utveckling. För småskalig uppfödning inomhus är det således viktigt att tillsätta artificiellt ljus för att uppfödning ska fungera (Heussler, 2018). Ljuset är en nödvändighet både för att flugorna ska se varandra vid parningen och för att äggen ska befruktas. Det går dock inte att använda vilken typ av artificiell belysning som helst utan det är viktigt att ljuset liknar solljus för att parningen ska triggas och äggen befruktas korrekt (Zhang et al, 2010). En tredjedel av lokalen har antagits nyttjas för uppfödning av nya larver och kommer därför att belysas med LED-lampor fästa i taket över de nätburar där flugorna parar sig och lägger ägg. I studien har det antagits att 150-watt LED för uppfödning används vilka kan belysa en yta upp till 10 m² från 1–3 meters höjd (Evoconsys.com, 2018). Belysningen ska spegla den naturliga miljön för flugan och bör således vara påslagen från soluppgång till solnedgång, många uppfödare nöjer sig dock med att belysa parningsburarna under 6 timmar per dag (Yang, 2019). I studien har det antagits att belysningen verkar under 8 timmar per dag.

3.4.2.4 Bearbetning

För att de färska larverna ska kunna jämföras med ett konventionellt foder krävs det att de torkas till en fukthalt liknande den hos det konventionella fiskfodret. Att ge fiskarna färska larver har visat sig vara problematiskt och under en kortare testperiod har dieten visat effekt på fiskarnas tillväxthastighet och hälsa. Detta tros bero på de färska larvernas höga fukthalt och att fisken således har svårt att få i sig tillräckligt mycket näring och energi vid konsumtion av färska fluglarver (Vidakovic, 2019). Färsklarver antas ha en fukthalt på ca 75% medan det konventionella fiskfodret har en fukthalt på ca 10%. Energi måste således tillsättas för att sänka larverna fukthalt. Larverna har antagits torkas med mikrovågor, en process på ca 10 minuter i en mikrovågsugn med en effekt upp till 180 kW. Enligt intervju med återförsäljaren ska detta motsvara en elanvändning av 835 kWh vilket motsvarar 3006 MJ för att torka 1 ton färsklarver (Yang, 2019).

För scenario 2 krävs också att de torkade fluglarverna mals till ett mjöl. För att malningsprocessen antas samma värde för fluglarverna som för övriga foder ingredienser i det konventionella fodret vilket motsvarar cirka 900 MJ per funktionell enhet (Pelletier et al., 2009).

3.4.2.5 Konventionellt foder

Analysen av det konventionella fodret är baserad på tre tidigare livscykelanalyser gjorda för olika fiskfoder vilka alla är baserade på vildfångad havsfisk. Resultaten från dessa analyser har sedan

omräknats till korrekt funktionell enhet och utifrån detta har medelvärden används i studien. Detta har gjorts för att få ett så representativt värde som möjligt för ett konventionellt foder med en så liten felmarginal som möjligt. Den data som använts för beräkningar av det konventionella fodret finns presenterad i Tabell 2 utifrån tillhörande studie.

Tabell 2. Inventeringsdata för produktion av 1 ton konventionellt fiskfoder baserat på viltfångad havsfisk

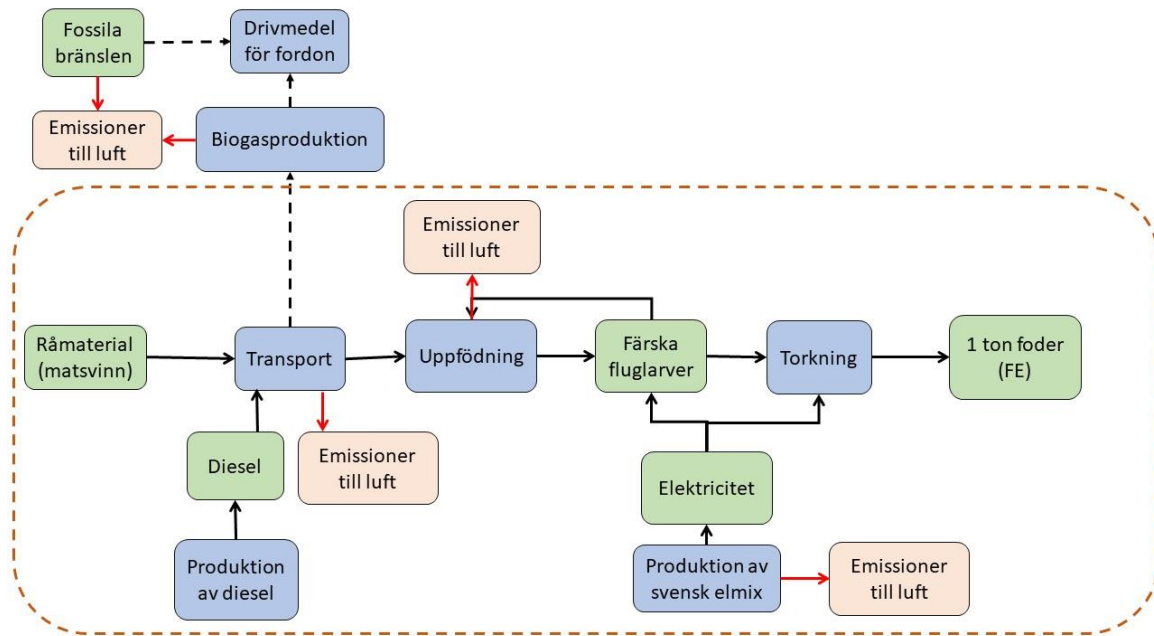
1 ton konventionellt fiskfoder

	Enhet	Biossy et al.	Pelletier et al.	Randau
Energianvändning	MJ	19 600	13 800	34 000
GWP	kg CO ₂ e	1 540	1 030	2 300
Fossil energi	MJ	13 968,5	-	-
Foderfisk	kg foderfisk	301	586	600
Markanvändning	m ²	1 618	-	-
Försurning	kg SO ₂ e	8.9	14,4	-

3.4.2.6 Indirekta effekter

En indirekt effekt av att återanvända delar av Stockholms matsvinn som foder till exempel inom produktionen av fluglarver, är att resurserna som tidigare gått till biogasproduktion minskar (se Figur 6). I den här fallstudien är produktionen så låg att resursutnyttjandet av matsvinn inte har någon som helst påverkan på Sveriges biogasproduktion. Om produktionen av fluglarver skulle komma att bli storskalig är det dock relevant att undersöka vilken indirekt påverkan ett sådant resursutnyttjande skulle komma att ha på biogasproduktionen.

För att kunna göra en överslagsberäkning av effekterna från en storskaligt fluglarvsproduktion i Sverige har det i den här studien antagits att 10 kg blandat matavfall genererar 0,7 kg biogas, vilket motsvarar mängden drivmedel av 1 liter bensin (Avfall Sverige, 2014).



Figur 6. Flödesschema över framställning av fluglarver till fiskfoder men indirekta effekter inkluderade

3.4.3 Allokeringssproblem

För att transportera matsvinnet från uppsamlingsplats till anläggning antogs en bil med kapacitet på 6–8 ton användas. Bilens bränsleförbrukning uppskattades till 1,6 l/km (Svensson, 2015). För att få ut en representativ bild av hur stor bränsleförbrukning som krävs för att transportera 1 ton matavfall 5 km har förbrukningen allokerats utifrån vikt. 1 ton matavfall ansvarar således för 1,14 liter diesel per transportsträcka (5 km).

Under produktionsprocessen av fluglarverna komposteras det organiska substratet och en näringsrik behandlingsrest återstår efter att larverna tillgodogjort sig all föda, cirka 200 kg kompost bildas per 1000 kg substrat som bearbetas av larverna. I normala fall skulle här uppstå ett allokeringssproblem då mer än en produkt tillverkas i samma system och således också bör tillskrivas delaktighet till verksamhetens resursutnyttjande och utsläpp. I detta fall har behandlingsresten visserligen goda kvaliteter som jordförbättrande medel men i dagsläget finns inte något reell lönsamhet för en sådan produkt på dagens marknad. Genom att allokera utifrån ekonomiskt värde kan restkomposten således inte beaktas som en produkt som är medskyldig till fluglarvsuppfödningens miljöpåverkan, utan all påverkan kopplas till larvproduktionen.

Det faktum att larvproduktion komposterar matavfall och därför är en typ av avfallshantering och således har en ytterligare funktion vid sidan av att producera fiskfoder, har inte heller tagits i beaktande som ett allokeringssproblem då det idag finns väl utvecklade system för att ta om hand matavfall som en resurs i den region där produktionen kommer att placeras. Om anläggningen skulle placeras någonstans där situationen markant skiljer sig gällande hanteringen av organiskt avfall bör denna avfallshanteringstjänst dock tas i beaktande.

3.4.4 Beräkningar för Johannas stadodlingar

Den funktionella enheten för den huvudsakliga studien är 1 ton fiskfoder, men för att få en övergripande bild för potentialen för Johannas stadsodlingar att minska sina utsläpp har resultatet även beräknats för den fodermängd anläggningen uppskattas konsumera.

Anläggningen i fallstudien kommer att ha en odlingsyta på knappt 100 m². Beräknat att relationen mellan fiskfoder och odlingsyta för ett kallvattensystem som detta är ca 35 g/m²/dag (King and Southern, 2017) innebär det att anläggningen beräknas konsumera 3,4 kg fiskfoder per dag vilket motsvarar cirka 1,25 ton per år, enligt följande beräkningar:

$$\frac{35 [kg \text{ foder}] * 98[m^2 \text{ odlingsyta}]}{1000} = 3,43 [kg \text{ foder/dag}]$$

4. Litteraturstudie

Detta avsnitt presenterar problematiken med konventionellt fiskfoder samt potentialen med insektsbaserade foderkomponenter och mer specifikt potentialen hos larven av den amerikanska vapenflugan som en fiskfoderkomponent.

4.1 Fiskfoder

Tidigare studier har visat att produktionen av fiskfoder är den del av den odlade fiskens livscykel som förorsakar störst utsläpp av växthusgaser och således störst påverkan på klimatet. Standardfodret för laxfiskar, såsom regnbåge, består idag av en uppsjö av vegetabiliska och animaliska ingredienser, vilka alla påverkar det slutgiltiga miljö- och klimatavtrycket från fodret. Ett vanligt fiskfoder består ofta av ingredienser som fiskmjöl, fiskolja, sojamjöl, ris, vete och raps, men kan även innehålla olika typer av skaldjur, såsom musselmjöl, slakterirester eller kycklingprodukter. Tidigare livscykelanalyser har visat att det är just det höga innehållet av vildfångad havsfisk som bidrar till det konventionella fiskfodrets stora avtryck (Pelletier et al, 2009; Boissy et al, 2011; Randau, 2012; Winther et al 2009). Studien av Pelletier et al (2009) redogör för resursanvändning och miljö- och klimatpåverkan för fiskfoder producerat i fyra olika länder, Norge, Chile, Storbritannien och Kanada. Generellt inom alla dessa länder är det fiskprodukterna i fodret, och processerna inblandade i framställningen av dessa, som förorsakar störst enskild påverkan på fodrets utsläpp av växthusgaser. Vid framställningen av 1 ton normalt fiskfoder är den beräknade genomsnittliga klimatpåverkan från fiskprodukterna i fodret (fiskmjöl och fiskolja) närmare 1 ton koldioxidkvivalenter. Något högre är dessa siffror för klimatpåverkan från fiskmjöl och olja i det norska fodret och i fodret framställt i Storbritannien, medan utsläppen är lägre i Kanada och Chile. Resultatet från studien visar också att det är framställningen av fiskmjöl och fiskolja som mest av alla processer vid foderproduktionen bidrar till försurning, i genomsnitt över 7 kg SO₂e per ton fiskfoder. Denna livscykelanalys visar vidare att dessa produkter även är de mest energikrävande att producera och bearbeta av alla ingredienser i fodret. Av analysen att döma är det även tydligt att det är den faktiska produktionen av foder ingredienserna som påverkar de olika effektkategorierna mest medan transporter och bearbetning av ingredienser förorsakar en lägre påverkan. Ett undantag från denna trend finns dock gällande den totala energianvändningen där bearbetning av foderfiskingredienser generellt har en likvärdig påverkan som produktionen, i vissa fall även större. För framställningen av vegetabiliska ingredienser syns ett liknande mönster där energianvändningen för bearbetning och transport av vegetabilier i princip är likställd den energianvändning som krävs för själva produktionen (Pelletier et al., 2009).

Odlade karnivorerna (fisk som naturligt har fisk i sin diet) har ett FCR-värde (feed conversion ratio) på cirka 1,2 vilket innebär att de behöver äta denna mängd foder för att producera 1 kg kroppsmassa. Fiskens foderbehov är visserligen lågt jämfört med andra köttdjur såsom gris (2,6) och får (6,3) (Skretting, n.d) men med det höga innehållet av vildfångad fisk är nettotillskottet av

animaliskt protein lågt. I vissa fall går mer animalier in i produktionen än vad som kommer ut i form av odlad fisk. Vidare är den fisk som används i foderframställningen, ofta anchoveta eller liknande arter fiskad utanför Peru och Chiles kust, sällan fiskad på ett hållbart sätt i relation till fiskbeståndens roll i ekosystemen. Bestånden som nyttjas kan visserligen vara livskraftiga men då fiskbestånden är viktiga komponenter för flera delar i ekosystemet, så som mat åt fåglar, rovfiskar och andra däggdjur, är det också väsentligt att bestånden behåller en tillräcklig storlek. Ett högt tryck på den här typen av vild fisk är därför inte bara ett hot mot den efterfrågade arten utan riskerar också att påverka andra delar av det berörda ekosystemet. Det finns även risk att fisket av foderfisk kan påverka livsmedelsförsörjningen för människor som lever i och av dessa naturområden (Bruno, 2014).

Som ett resultat av de ovan nämnda problemen relaterade till innehållet av vildfångad fisk i foder för odlad fisk pågår mycket forskning och utveckling kring hur fiskproteinet i allt högre grad kan bytas ut mot protein från vegetabiliska källor (Salin et al., 2018b). I bland annat Sverige och Norge ersätts numera delar av fiskingredienserna i fodret med vegetabilier (Bruno, 2014). Det finns dock risk att denna förändring leder till försämrade smak och näringsinnehåll hos den odlade fisken (Salin et al., 2018b). Vidare är det inte heller självklart att ett vegetabiliskt protein innebär ett mindre avtryck på miljö- och klimat. Några av de vanliga vegetabiliska foderkomponenterna som förekommer i fiskfoder är baserat på soja och ris som enligt tidigare studier är kemikalieintensiva grödor med relativt hög klimatpåverkan (Randau, 2012).

4.2 Potential för amerikansk vapenfluga

Konsumtion av insekter som livsmedel, även känt som etnomofagi, har praktiserats över hela världen genom historien (Wang et al., 2017) och uppskattningsvis är insekter i dagsläget en del av den traditionella matkulturen för minst 2 miljarder människor. Relationen till insekter som föda är dock starkt influerad av kultur och religion och länge har etnomofagi associerats med primitiva beteenden och äckel i många västerländska kulturer. Det är först på senare tid och i samband med en stegrande klimatdebatt som insekter har fått ökad uppmärksamhet och medvetenheten om många insekters ätbarhet och goda fördelar framför andra animaliska livsmedel har börjat växa globalt (van Huis et al., 2013). Förutom att insekter är goda proteinkällor och rika på bra fetter, mineralier och vitaminer har de generellt en hög foderomvandlingseffektivitet vilket innebär att de kräver mindre foder för varje ökat kilo kroppsmassa jämfört med andra köttproducenter (van Huis et al., 2013). Insekter har dessutom förmågan att tillgodogöra sig näring och energi ur en uppsjö av olika typer av organiskt material som idag figurerar som sido- och avfallsströmmar i samhället (van Huis et al., 2013; Lalander, 2019). Jämfört med konventionella produktionsdjur för köttproduktion, såsom gris och nötkreatur, förorsakar insekter generellt lägre utsläpp av ammoniak och växthusgaser (van Huis et al., 2013) och forskningen har också visat att vattenkonsumtionen samt markanvändningen för produktion av insekter är lägre än för konventionell boskapsproduktion (Wang, 2017).

Även om acceptansen för etnomofagi fortfarande är relativt låg ser den ut att öka med en ökande kunskap gällande insekters goda egenskaper. Vidare har det även visat sig vara lättare för människor att konsumera insekter om de inte är intakta, till exempel inblandade som ett insektsmjöl i bröd, och om lukten och smaken av livsmedlet är normal utan påverkan från insekterna (Fridell, 2017). Denna tes skulle kunna tala för insekters framgång som proteinrikt foder för andra produktionsdjur som redan normalt konsumeras av människor. Uppfödning och användning av insekter som foder är en fråga som vuxit de senaste åren och inom EU pågår idag mycket forskning på ämnet och arbete för att driva utvecklingen framåt (Jordbruksverket, 2019b). Den amerikanska vapenflugan är en av de mest diskuterade insekterna i fodersammanhang, detta på grund av dess goda egenskaper vad gäller uppfödning och dess höga proteininnehåll.

Tidigare forskningsstudier har visat att det finns god potential att byta ut delar av det konventionella fiskfodret mot insektsbaserade ingredienser för flertalet fiskarter (van Huis et al., 2013). Insekterna saknar visserligen vissa viktiga substanser för att kunna fungera som ett enskilt fullgott fiskfoder för karnivora fiskarter såsom lax och regnbåge (Bruni et al 2018). Dock har det som komplement till konventionellt foder visat sig fungera väl utan märkbar effekt på fiskarnas hälsa eller tillväxt (Bruni et al 2018; Vidacovic 2019). Under försök där larver från amerikansk vapenfluga har inkluderats som en foderkomponent, i form av ett insektsmjöl, i foder till regnbåge har fisken fortsatt växa normal och kunnat bryta ned fodret på ett tillfredställande sätt. Även när larverna gavs hela och torkade som en separat foderkomponent var acceptansen hos fiskarna hög. (Vidacovic, 2019). Det finns dock indikationer på att en diet på endast färska fluglarver kan påverka fiskarnas tillväxt negativt. Dock visar flera studier liknande positiva resultat gällande insektsmjöl där insektsmjöl från larver av amerikansk vapenfluga kan ersätta upp till 50% av det fiskmjöl som används i fiskfoder för regnbåge, utan någon påverkan på organstorlek eller generell avkastning av fiskfilé (Bruni et al 2018). Liknande resultat har även setts i studier av karp som matats med foder där en viss mängd av fiskmjölet ersatts av insektsmjöl från amerikansk vapenfluga. Även för karporna visade det sig att ett utbyte på upp till 50% av fiskmjölet kunde göras utan någon märkbar effekt på fiskarnas hälsa (Li et al, 2017). Larvernas potential som fiskfoder är också beroende av vilka substrat som de ätit under produktionen, till exempel har koncentrationen av omega-3 fettsyror visats öka i larvmassa från larver som matats med biprodukter från fiskproduktion. Detta resultat antyder att även andra näringsämnen skulle kunna regleras genom ett anpassat födointag hos larverna (Sheppard et al, 2007).

Den amerikanska vapenflugan återfinns naturligt på alla kontinenter utom Antarktis och finns i överflöd i tempererade och tropiska delar av världen. Arten är som mest aktiv i temperaturer runt 30°C och är inte hårdig i kallare klimat vilket kraftigt reducerar risken för en eventuell invasion av arten i samband med produktion i ett land som Sverige (Sheppard et al, 2007; Lalander, 2019). Vidare har flugan visat sig vara ointresserad av mänsklig kontakt, de verken sticks eller bits och har inte heller associerats med någon typ av sjukdomsspridning. Fluglarverna kan tillgodogöra sig föda från en uppsjö av olika organiska material, vilket även gör den intressant ur

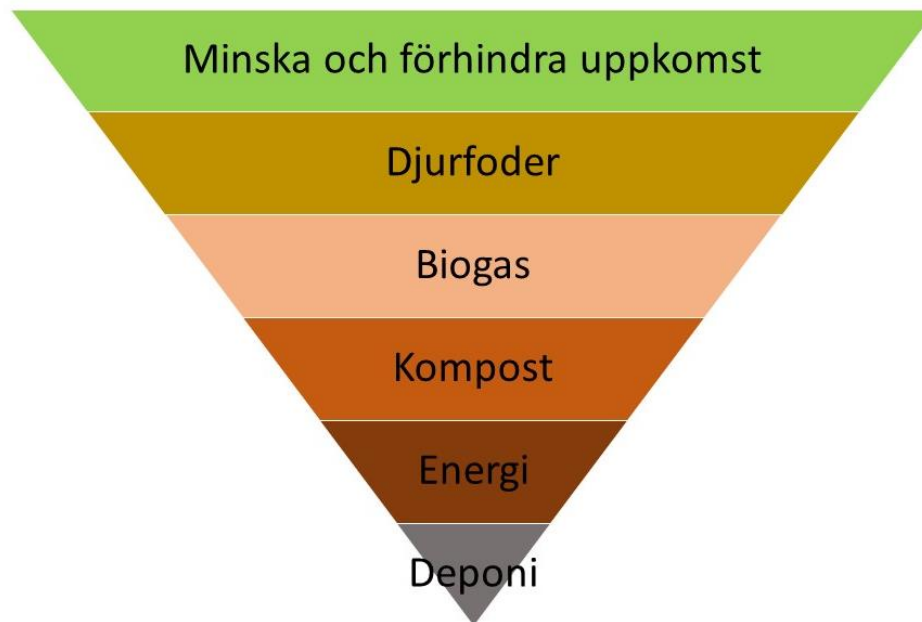
avfallshanteringssynpunkt (Lalander, 2019). Förutom att denna art kan processa en enorm bredd av substrat har den även en tillväxthastighet som gör den till en av de mest effektiva av insekter. Efter en kläckningstid på ca 10 dagar har larverna nått en synlig storlek och kan börja kompostera matavfall. Med en lämplig föda tar det i snitt 3 veckor för larverna att utvecklas från ägg till prepuppa, vilket är det vanligaste stadiet att skörda larverna för användning inom foderproduktion (Yang, 2017). I det sista larvstadiet konsumerar larven ingen föda utan ackumulerar istället lipider (fetter) vilket sedan nyttjas som en energiresurs av den fullt utvecklade flugan. Den fullvuxna flugan ses i Figur 7 tillsammans med fluglarvsägg innan kläckning. Förutom att den amerikanska vapenflugan inte har associerats till smittspridning av sjukdomar eller annan skadegörelse och således inte klassas som ett skadedjur för människan har det även visat sig att vapenflugan har förmågan att reducera patogener i avfall och genom det bland annat reducera salmonellaspridning från smittade köttprodukter. (Lalander, 2019).



Figur 7. Bild från SLU. Amerikanska vapenflugor och larvvägg.

Utöver en växande population och ett ökat livsmedelsbehov beräknas en tredjedel av all den mat som produceras gå till spillo. Matsvinn uppstår längs med hela livsmedelskedjan, i allt från produktionen till konsumtionen vilket också inkluderar varuhandeln och det spill som uppstår i våra matbutiker och under transport (FAO, 2017). I låginkomstländer är skälen till det stora matsvinnet ofta kopplat till bristande infrastruktur medan det är konsumenterna som slänger den mesta av maten i höginkomstländer (Parfitt et al., 2010). Det genererade matavfallet i EU uppskattas till cirka 88 miljoner ton varje år, med hushållen som den absolut största bidragande faktorn (Stenmarck et al, 2016). Det mest effektiva sättet att attackera problemet är att minska och bekämpa uppkomsten av matavfallet. När detta inte är möjligt eller inte fungerar tillräckligt effektivt är nästa steg, med avfallshierarkin som utgångspunkt (se Figur 8,) att ta om hand avfallet och återanvända det som djurfoder. Att nyttja avfallet som djurfoder anses alltså vara mer resurseffektivt än att återvinna matavfallet inom biogasproduktion eller för kompostering (van Huis et al., 2013). Historiskt sett är det i huvudsak gris och till viss del höns som matats med matavfall

men en allt mer intressant kandidat är just insekter, både ur avfallshanteringssynpunkt och proteinproduktion. Insekter är effektiva att föda upp och kan tillgodogöra sig näringsämnen från blandat matavfall på ett effektivt sätt jämfört med de flesta andra djur som föds upp för köttkonsumtion. Utifrån dagens regelverk är det tillåtet att utfodra fisk med foder baserat på insekter och intresset för den amerikanska vepenflugan har därför blivit allt större just för dess potential som ingrediens i foder för odlad fisk och för dess goda egenskaper för uppfödning.



Figur 8. Hierarkin över användningen av matsvinn baserad på baserad på amerikanska EPA's food waste hierarchy.

Även om den amerikanska vepenflugan, och insekter generellt, kan tyckas skilja sig markant från andra djur som nyttjas inom jordbruk och livsmedelsindustrin utifrån flera aspekter, anses även den vara ett produktionsdjur inom den europeiska lagstiftningen. EU förordning 1069/2009 reglerar användningen av animaliska biprodukter och matavfall för uppfödning av produktionsdjur, där insekter således inkluderas. Från och med 2017 är det tillåtet med användning av vissa insekter som ingredienser i foder åt fisk som enda tillåtna livsmedelsproducerande djur, vilket gör utvecklingen av resursen mer intressant. Dock räknas insekter som föds upp som produktionsdjur, vilket innebär att foderregler gällande insekter är desamma som för andra produktionsdjur vilket bland annat reglerar och begränsar vilka animaliska produkter som får användas vid utfodring av insekter (Jordbruksverket, 2019b).

Uppfödningen av larverna är en typ av komposteringsprocess i och med att larverna genom sin metabolism bryter ned det organiska materialet. Vad gäller växthusgaser produceras koldioxid, metangas och dikväveoxid (lustgas) under nedbrytningen av organiskt avfall. Gasutsläpp

från komposteringsprocessen påverkas av hur blött materialet är, dess pH och temperatur. Tidigare studier har dock visat att växthusgasutsläppen från en fluglarvskompost i regel är lägre än utsläppen från en traditionell kompost och befinner sig i regionen av 35–55 kg CO₂ ekvivalenter per ton organiskt material (torrvikt). Anledningen till att fluglarvskomposten genererar lägre utsläpp av växthusgaser tros bero på att larvernas aktivitet i det organiska substratet bidrar till att mer kväve stannar kvar i själva substratet och i larverna medan högre halter ammoniak släpps ut till den omringande luften vid traditionell kompostering. Liknande resultat har iakttagits vid kompostering med dagmaskar (Mertenat, 2019; Erlöv, 2018).

5. Resultat

Resultatet av denna studie är uppdelat i två separata delar. Först presenteras fluglarvsproduktionens avtryck inom de olika miljöpåverkansindikatorerna och de olika framställningsprocessernas individuella påverkan. Efter detta presenteras resultatet från analysen av de olika kombinerade fodrens prestanda inom de olika miljöpåverkansindikatorerna. Resultatet innehåller även en kort konsekvensanalys för de effekter som kan uppstå vid en övergång till ett larvbaserat foder och vid en uppskalning av denna produktion.

5.1 Framställning av larver

Produktionen av torkade fluglarver innehåller, som beskrivits ovan, tre huvudsakliga processer: Transport av matavfall, uppfödning avflugor och larver och bearbetning (torkning) av fluglarver. Dessa processer bidrar alla på olika sätt och på olika nivå till påverkan på de aktuella effektkategorierna vilket presenteras i Tabell 3.

Tabell 3. material-, energi- och emissionsflöden från framställningen av 1 ton torkade fluglarver

INFLÖDEN

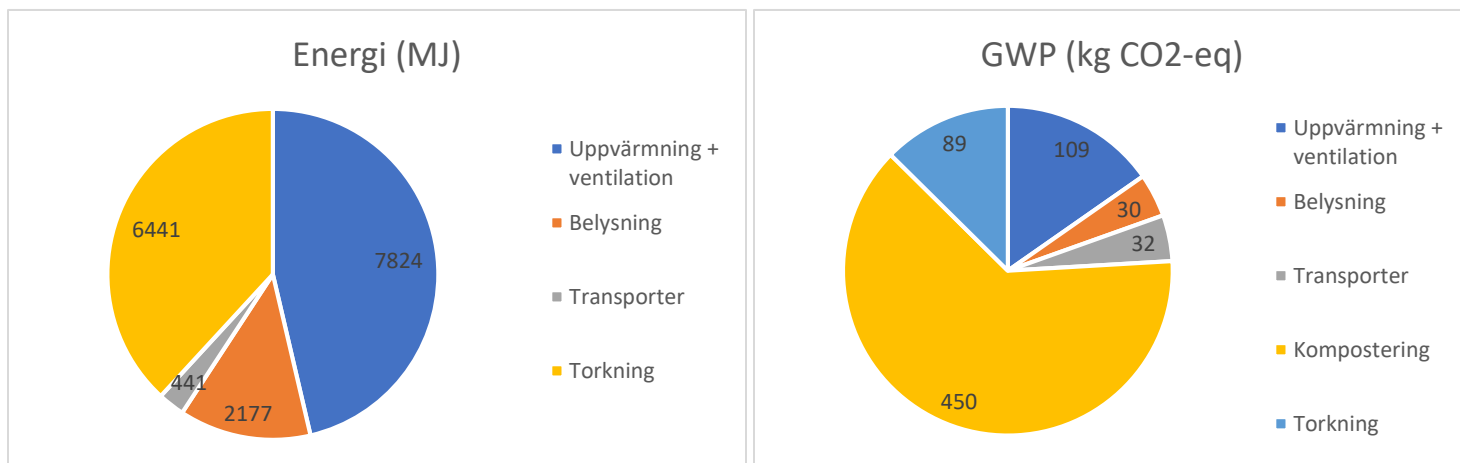
<i>Material</i>	Enhet	1 ton torkade fluglarver
Färsk fluglarv	kg	2 500
<i>Energi</i>		
Total energi	MJ	10 054

UTFLÖDEN

Torkad fluglarv	kg	1 000
<i>Emissioner till luft</i>		
GWP	kg CO ₂ e	680
Förurning	kg SO ₂ e	0,3

Vad gäller den totala energianvändningen för framställandet av ett ton torkade fluglarver kommer den största konsumtionen från bearbetningsprocessen av de färska larverna. De färska larverna innehåller, som beskrivits i avsnitt 3.4.2.4 *Bearbetning*, mycket fukt vilket gör den mindre lämpad som fiskfoder. För att torka larverna till en fukthalt liknande den av konventionellt foder krävs en energiåtgång på över 6400 MJ per torkat ton eller närmare 1800 kWh. Uppvärmning av lokalen är den näst största energikonsumenten följt av belysning och sist transport av organiskt substrat (se Figur 9). I stora drag följer utsläppen av växthusgaser samma mönster, en större energianvändning

ger i regel processen ett högre GWP. Gällande GWP är dock själva komposteringsprocessen ett undantag då det är denna process som har det klart högsta GWP-värdet. Trots att larvkompostering har visat sig vara mer effektiv än traditionell kompostering med lägre utsläpp av växthusgaser, så är det fortfarande den process inom fluglarvsproduktionen som genererar högst utsläpp (se Figur 9).



Figur 9. Diagram över energianvändning (tv) och GWP (th) för fluglarvsproduktionens olika processer.

Det är även under nedbrytningen av det organiska materialet som utsläpp av ammoniak sker. Mängden ammoniakgas som bildas under komposteringen är dock relativt låg, 132 g vid framställningen av 1 ton torkade larver (2,5 ton färska) vilket motsvarar 0,3 kg SO₂-eq.

5.2 Kombinerat fiskfoder

I den här studien har 3 huvudscenarier undersökts där torkade fluglarver ersatt en viss procent och komponenter av det konventionella fiskfodret. Alla scenarierna innehåller 1 ton fiskfoder, scenario 1 med 25% utbyte av konventionellt foder mot fluglarver, scenario 1b med 50% utbyte av konventionellt foder mot fluglarver och scenario 2 med 25% inblandning av fluglarvsmjöl vilket motsvarar ett utbyte av 50% av de fiskbaserade ingredienserna. In- och utflöden av material, energi och emissioner finns presenterat i

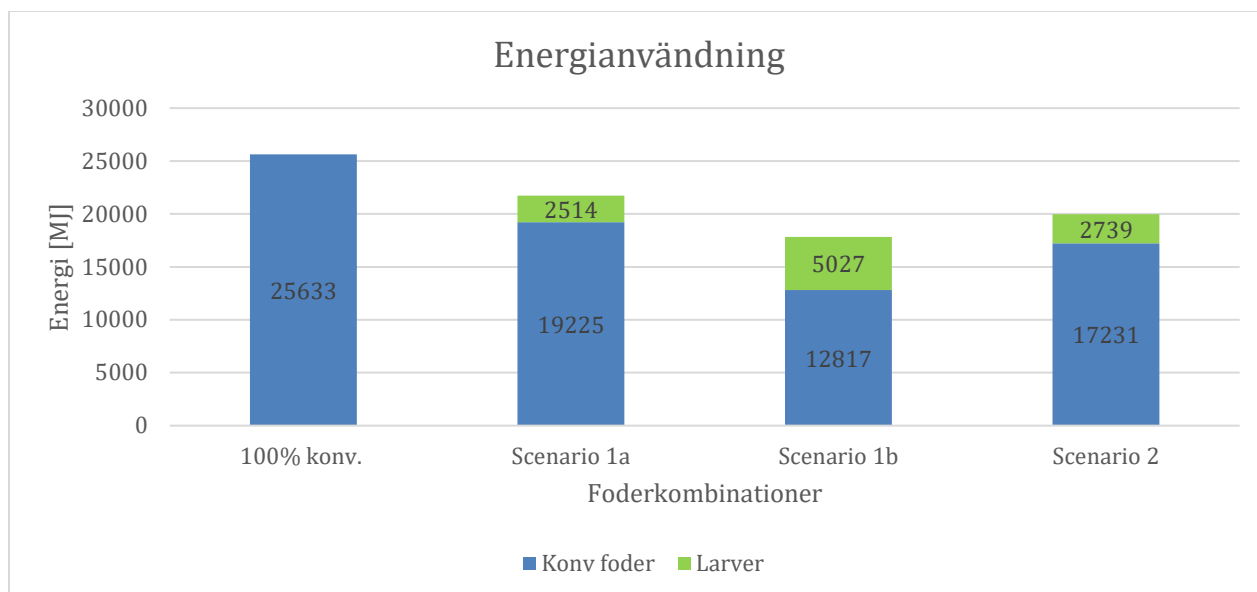
Tabell 4.

Tabell 4. In- och utflöden för 2 fiskfoderblandningar (scenario 1a, 1b och 2)

INFLÖDEN				
<i>Material</i>	Enhet	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2
Foderfisk	kg	372	248	246
Färsk fluglarv	kg	625	1 250	625
<i>Energi</i>				
Total energi	MJ	21 739	17 844	19 969
UTFLÖDEN				
Foder	kg	1 000	1 000	1 000
<i>Emissioner till luft</i>				
GWP	kg CO ₂ e	1 358	1 132	1 192
Förurning	kg SO ₂ e	8,8	6,0	-

5.2.1 Miljöpåverkansindikatorer

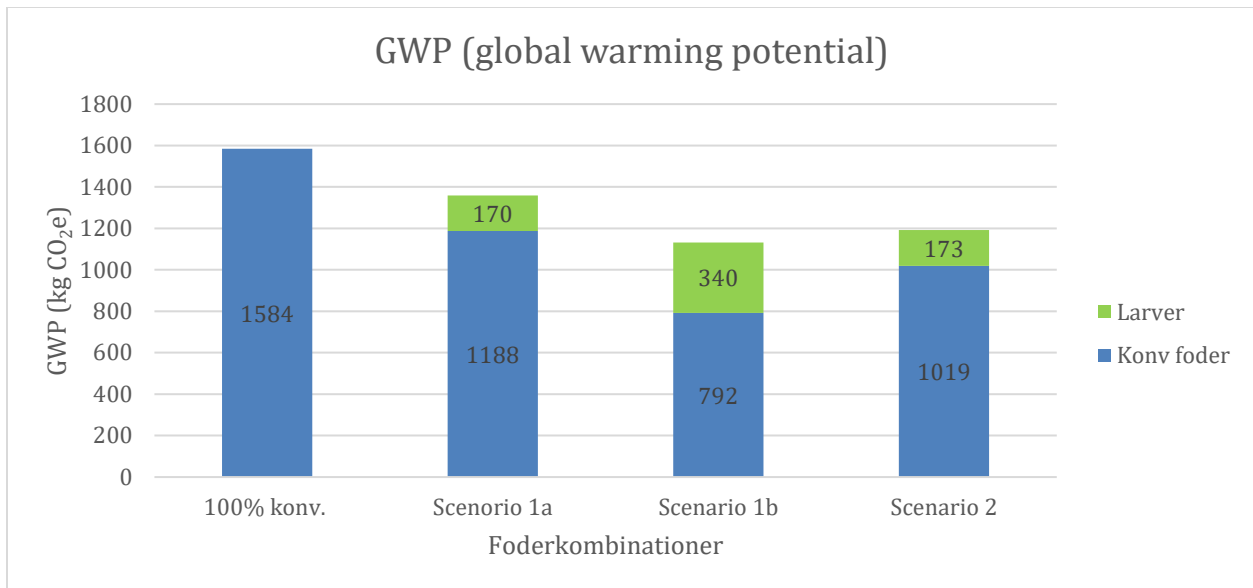
Scenario 1a har högst påverkan på miljöpåverkansindikatorn total energianvändning följt av Scenario 2, vilket illustreras i Figur 10. Scenario 1b, där den största andelen av det konventionella fodret har bytts ut, har lägst energianvändning. Resultatet för den totala energianvändningen visar en tydlig korrelation till andelen inblandade fluglarver i foderkombinationen. En större inblandning av fluglarver ger en lägre energianvändning. Detta beror till stor del på den höga energianvändningen genererad från de fiskbaserade ingredienserna i det konventionella fodret. Utöver detta bidrar larvproduktionen endast till få och korta transporter jämfört med produktionen av konventionellt foder som innehåller en kombination av många olika ingredienser producerade och processade på vitt skilda platser.



Figur 10. Diagram över de olika foderkombinationernas totala energianvändning

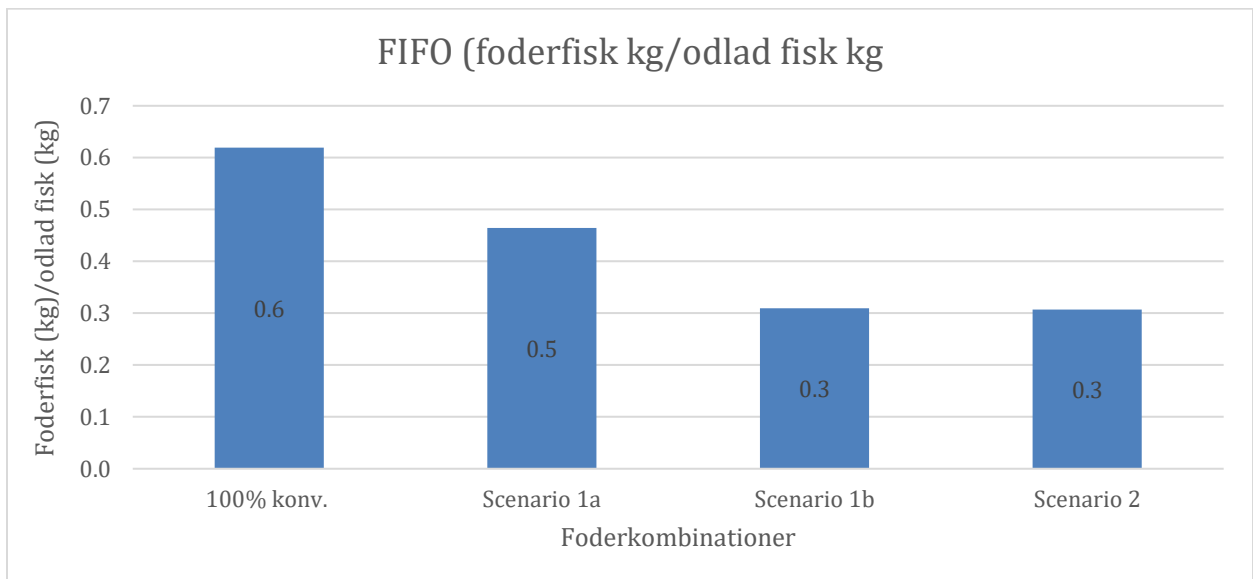
Scenario 1a och Scenario 2 innehåller samma mängd fluglarver men har trots detta olika energianvändning. Detta beror på att det endast är fiskmjöl som bytts ut mot insektsmjöl i Scenario 2, medan övriga ingredienser i det konventionella fodret bevarats. Då det krävs fler processer för att inkorporera de torkade larverna i det pelleterade fodret blir dock inte skillnaden mellan de två scenarierna större än knappt 1800 MJ per ton foder.

Vad gäller klimatpåverkan från fodret är korrelationen mellan fluglarvsinblandning och GWP också tydlig (se Figur 11 för illustration över GWP), dock är differensen inte bara beroende av mängden energi som konsumeras utan också vilken typ av energi som används. Inom fluglarvsproduktionen är majoriteten av den konsumerade energin elektricitet vilket i Sverige innebär framförallt vattenkraft och kärnkraft med relativt låg koldioxidintensitet. Produktionen av konventionellt fiskfoder innebär emellertid en betydligt större användning av fossila bränslen vilket förhöjer dess koldioxidintensitet. Att skillnaden mellan de olika foderblandningarnas GWP trots allt inte blir större påverkas av de direkta utsläppen från komposteringen, vilka inte uppkommer vid framställningen av ett konventionellt foder.



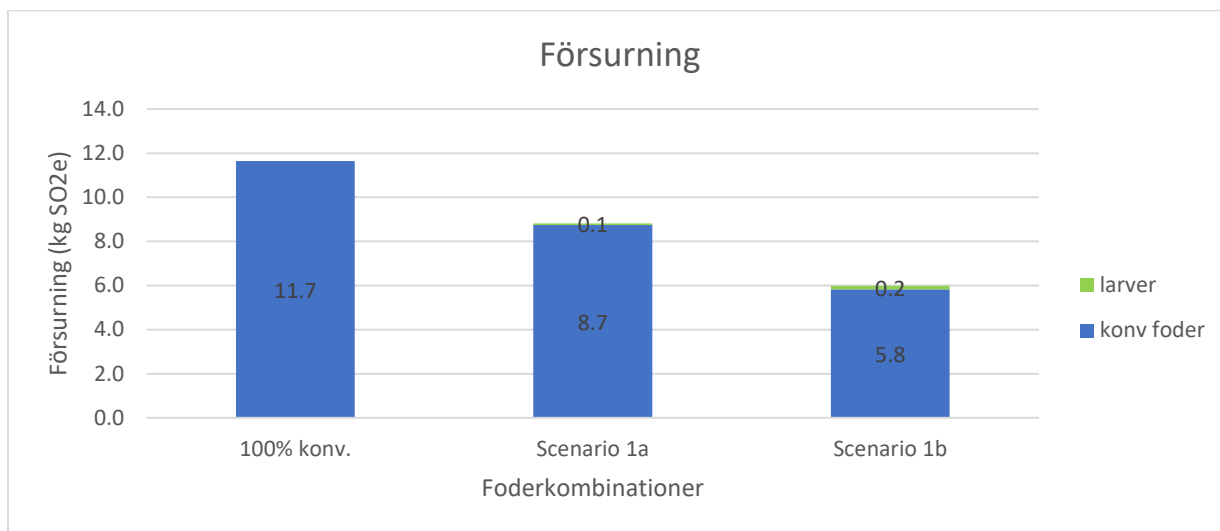
Figur 11. De olika foderkombinationernas Global Warming Potential

Då larvproduktionen inte är beroende av någon foderfisk innebär en högre inblandning av fluglarver ett lägre FIFO-värde för foderkombinationen. Resultatet visar lägst FIFO-värde för Scenario 1b och Scenario 2, då dessa innebär störst utbyte av fiskbaserade ingredienser medan Scenario 1a byter ut en mix av fiskbaserade- och vegetabiliebaserade foderkomponenter och således kräver en högre inblandning av foderfisk (se Figur 12).



Figur 12. Mängden foderfisk i olika foderkombinationer

För försurning syns samma mönster som övriga effektkategorier, ju högre andel fluglarver desto lägre försurningspåverkan från fodret vilket visas i Figur 13. Vad som syns tydligt i denna kategori är också att det är i princip bara det konventionella fodret som förorsakar utsläppen av till exempel ammoniak (som orsakar försurning) medan påverkan från larvproduktioner är minimal. Som beskrivits tidigare kunde försurning inte undersökas för scenario 2 på grund av bristande tillgång av data gällande fiskprodukternas enskilda försurande utsläpp.



Figur 13. Försurning förorsakad av de olika foderkombinationerna

5.3 Potential för Johannas stadsodlingar

Johannas stadsodlingars pilotanläggning antas, utifrån beräkningar i avsnitt 3.4.4 *Beräkningar för Johannas stadodlingar*, konsumera runt 1,2 ton fiskfoder per år. Vid inblandning av torkade larver från amerikansk vapenfluga har de potential att sänka sin påverkan på de studerade effektkategorierna i enlighet med Tabell 5 nedan. Den största potentialen finns för minskat behov av foderfisk. Detta är såklart ett väntat resultat då produktionen av fluglarver helt är frånkopplad från fiskbehov och inte bidrar till konsumtionen av fisk på något sätt. Försurning är den kategori med näst störst potential till minskad påverkan följt av total energianvändning och slutligen GWP. Att GWP minskar minst var också väntat då larvproduktionen innebär nya processer vilka tillför växthusgasutsläpp till foderproduktionen.

Tabell 5. Potentialen för Johannas stadsodlingar att minska sin påverkan med olika foderkombinationer jämfört med 100% konventionellt foder

	Enhet	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 2
Energi	MJ (%)	3 895 (15)	7 790 (30)	5 664 (22)
GWP	CO ₂ e (%)	226 (14)	452 (29)	393 (25)
Foderfisk	Kg (%)	124 (25)	248 (50)	250 (50)
Förurning	SO ₂ e (%)	2 (25)	4 (50)	-

5.4 Indirekta konsekvenser

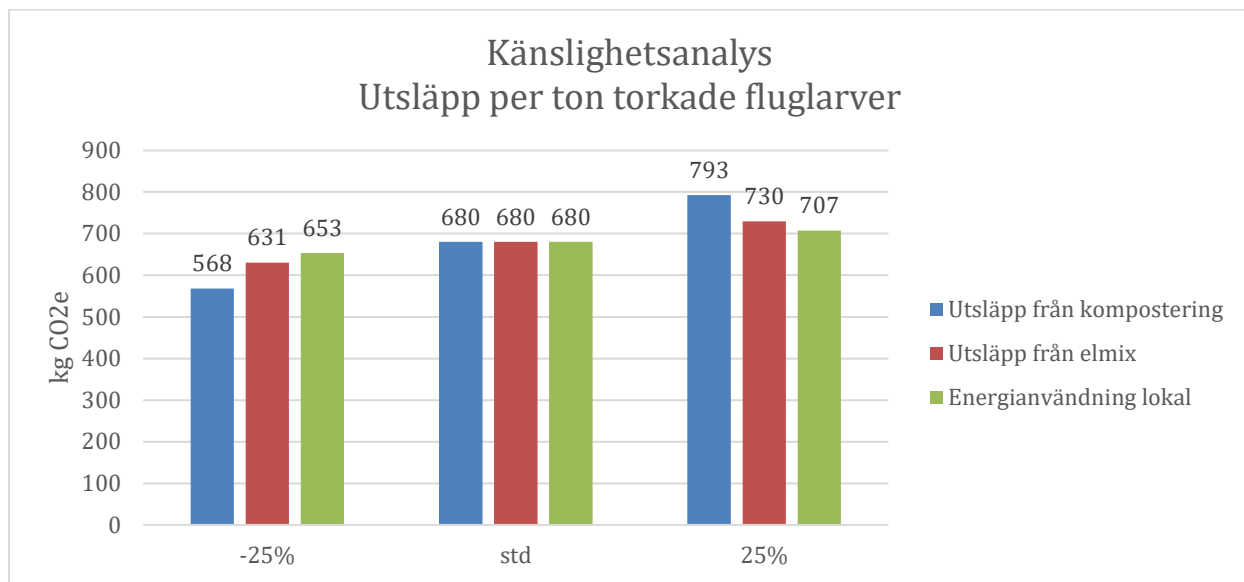
I den här studien har matsvinn antagits som den enda foderkomponenten för uppfödningen av fluglarver. Matsvinnet har antagits vara en resurs som inte inneburit någon direkt kostnad eller förtjänst för larvuppfödningen att nyttja, utöver transport. Matsvinn är dock en komplex resurs i dagens samhälle och kan idag beaktas som en resurs i det avseende att den nyttjas bland annat för framställning av biogas.

I Sverige odlas årligen 12 000 ton fisk vilket motsvarar ett foderbehov på ca 15 000 ton. Om denna totala fodermängd skulle komma att ersättas av den här typen av fiskfoder, bestående av 50% torkade fluglarver, skulle larvproduktionen komma att konsumera omkring 75 000 ton matavfall per år. I Sverige producerades 2017 2,1 TWh biogas vilket i runda slängar kräver drygt 800 000 ton matavfall för att framställas. Utifrån dessa antagandet motsvarar således det matsvinn som krävs för larvfoderproduktionen cirka 9% av den årliga biogasproduktionen i Sverige. Således skulle dessa procent behöva ersättas av ett annat likvärdigt drivmedel så som bensin eller diesel, vilket skulle motsvara drygt 7 000 liter bensin.

5.5 Känslighetsanalys

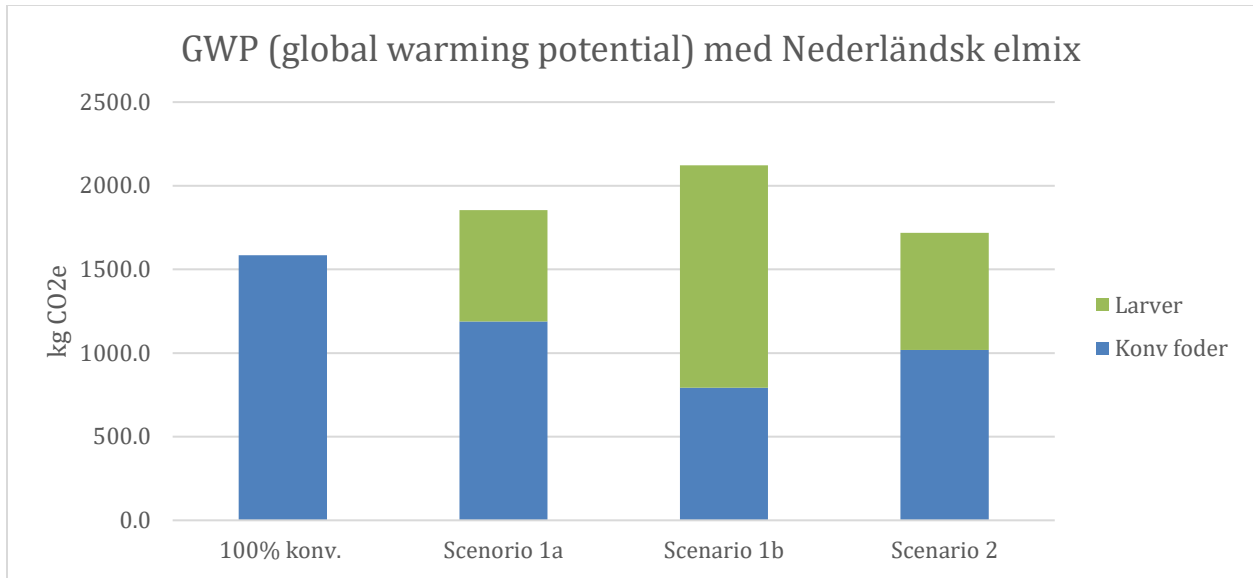
Som resultatet visar är det främst komposteringsprocessen och uppvärmningen av lokalen som bidrar till larvproduktionens utsläpp av växthusgaser. Resultaten av den här typen av studie kan dock vara känsliga för ändrade förutsättningar. För att undersöka detta närmare gjordes en känslighetsanalys där 3 parametrar som berör produktionens utsläpp av växthusgaser, nämligen utsläpp från komposteringen, utsläpp genererade av elproduktionen och lokalens energianvändning, ökades och minskades med 25%. Resultatet av denna analys visar att en förändring på 25% får störst effekt på produktionens totala växthusgasutsläpp om komposteringsprocessen påverkas medan lokalens energianvändning knappt påverkar de totala utsläppen alls. Vilken typ av el som används får också relativt stora konsekvenser för

fluglarvsproduktionens utsläpp. Om alla 3 parametrar ökar med 25% motsvarar det en ökning på ungefär 190 kg CO₂e/per ton torkade fluglarver vilket motsvarar en ökning med 28% av de totala utsläppen från produktionen. Se Figur 14 för illustration av systemets känslighet.



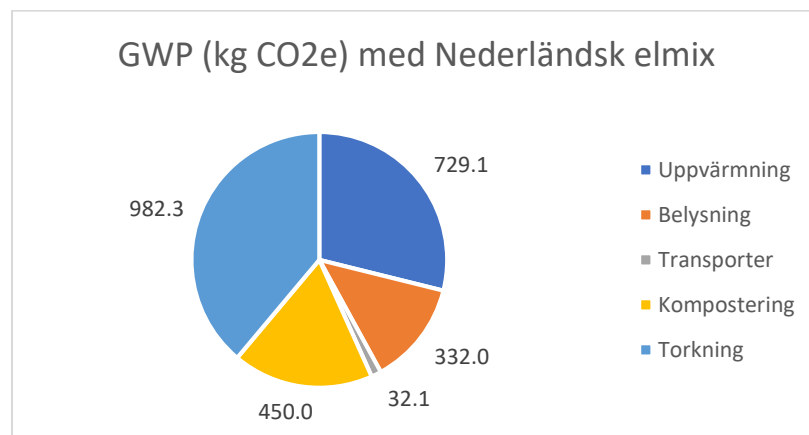
Figur 14. Känslighetsanalys av tre parametrar

Som beskrivits ovan har en viktig aspekt i denna studie varit användningen av elektricitet och dess påverkan på den studerade miljöpåverkansindikatorn GWP. I den här studien har svensk elmix antagits då den studerade fallstudien geografiskt är placerad i detta område. Svensk elmix innehåller dock en hög andel förnyelsebar energi och kärnkraft medan andelen fossil energi är mycket låg. Detta gör att den svenska elmixen har en relativt låg klimatpåverkan jämfört med många andra länder, cirka 50 g CO₂e per kWh (electricitymap.org). Om fluglarverna istället skulle ha producerats i ett land som Nederländerna skulle studiens resultat sett annorlunda ut då Nederländernas elmix främst är baserad på primärenergi från fossila källor såsom olja, kol och naturgas. Endast 20% av denna elmix framställs av förnyelsebara källor (Kwant et al., 2018). Den Nederländska elmixen beräknas vid känslighetsanalysens utförande ha ett avtryck på ca 550 g CO₂e per kWh. Denna förändring av elektricitetens GWP innebär således en betydligt större ökning av utsläppen än de 25% som undersökts ovan och får således en större påverkan på larvproduktionens totala utsläpp av växthusgaser. En illustration över hur bytet av elmix slår på de olika foderkombinationerna finns att se i Figur 15.



Figur 15. illustration över de olika foderkombinationernas GWP med Nederländsk elmix

Figur 16 visar de olika framställningsprocessernas GWP om anläggningen skulle nyttja Nederländsk elmix. Förutom att de totala utsläppen ökar kraftigt, minskar också andelen av de totala utsläppen förorsakade av själva komposteringsprocessen. I originalfallet med Svensk elmix var komposteringens bidrag för produktionens GWP över 80% av de totala utsläppen men dess bidrag minskar till endast 18% i fallet då produktionen nyttjar Nederländsk elmix. Detta är ett direkt resultat av att övriga processers påverkan ökar drastiskt med den nya elmixen medan avtrycket från komposteringen är opåverkat av elens avtryck.



Figur 16. De olika processernas utsläpp av växthusgaser om produktionen av fluglarver placeras i Nederländerna

Det är således viktigt att göra denna typ av jämförelse då produktionens geografiska placering drastiskt kan påverka dess prestanda utifrån valde effektkategorier.

6. Diskussion

I det här avsnittet diskuteras studiens resultat ur ett bredare perspektiv och de faktorer som ligger bakom resultatet och påverkar studiens utfall. Resultatet jämförs med tidigare studier, osäkerheter diskuteras och studiens känslighet till förändringar i indata exemplifieras. Vidare diskuteras behovet av framtida studier och potentialen för den amerikanska fluglarven som en foderkomponent och möjligheter till förbättringar diskuteras.

6.1 Resultat

Utifrån resultatet av denna studie är det tydligt att den anläggning som studerats i fallstudien eller liknande kan sänka sin påverkan inom de valda miljöpåverkansindikatorerna genom att inkorporera larver från amerikansk vapenfluga i sitt fiskfoder. Störst inverkan hade larvfodret på anläggningens FIFO-värde, det vill säga dess behov av foderfisk, detta då denna kategori direkt påverkas av ett minskat nyttjande av konventionellt foder. Således resulterar Scenario 2 (utbyte av endast fiskbaserade ingredienser) i ett mindre behov av foderfisk än Scenario 1a då det senare även byter ut vegetabiliska ingredienser från det konventionella fodret. Energianvändning och GWP minskade också med en tydlig marginal för alla scenarier, även om minskningen procentuellt var lägre än för FIFO. Detta beror på att larvproduktionen kräver energi för uppvärmning, ventilation, transporter och belysning samt genererar utsläpp av växthusgaser både genom energianvändningen och genom komposteringsprocessen.

Tidigare studier av amerikansk vapenfluga har främst varit fokuserade på avfallshantering eller fiskhälsa och tillväxt vilket gör jämförelse med den här studiens resultat svår. Dessa tidigare studier indikerar emellertid att det finns potential hos amerikansk vapenfluga som en komponent i fiskfoder för karnivora fiskarter, såsom regnbåge, även om detta ofta setts som en sidoverksamhet och inte av huvudsakligt syfte för produktionen. Resultaten från dessa tidigare studier är dock i linje med resultatet från denna studie som visar en tydlig potential för en anläggning som Johannas stadsodlingar att minska sin miljö- och klimatpåverkan genom att inkludera torkade fluglarver i fiskarnas diet. Ett examensarbete av Hexeberg Rustad (2016) är den studie med mest likheter till den här studien baserat på syfte och fokusområde. Jämfört med livscykelanalysen av Hexeberg Rustad visar den här studie betydligt större avtryck från framställningen av den amerikanska vapenflugan. Detta trots att den tidigare analysen av Hexeberg Rustad inkluderat separation av mjöl och olja som ett processteg, vilket inte gjorts i den här studien. Anledningen till att resultaten skiljer sig så pass mycket kan dock vara flera. Studien av Hexeberg Rustad är utförd utifrån ett norskt perspektiv med lite annorlunda fokus och systemgränser. I den här studien har energibehovet för den specifika anläggningen undersökts medan den tidigare studien använt ett generellt värde för vad en genomsnittlig lätt industri i Norge bör konsumera per år. Vidare är en stor skillnad mellan studierna de utsläpp av växthusgaser som genereras från larvkomposteringsprocessen. I den här studien är denna process den enskilt största faktorn vad

gäller GWP medan utsläpp från komposteringsprocessen ej inkluderats i studien av Hexeberg Rustad.

Utöver elektricitetens miljöpåverkan är även lokalen en osäkerhet som påverkat resultatet av den här studien. Först och främst har inte påverkan från lokal och utrustning tagits i beaktande. Denna avgränsning gjordes då det finns en lämplig lokal att tillgå för den aktuella fallstudien och att det således inte var aktuellt att framföra en ny byggnad för att producera fluglarver. Denna avgränsning kan dock påverka produktionens prestanda inom de studerade miljöpåverkansindikatorerna om produktionen antas placeras på en plats där en ny lokal behöver byggas. Det faktum att lokalen som används i studien är en befintlig byggnad har även påverkat energianvändningen för produktionen. En ny byggnad skulle kunna optimeras med val av material och isolering för att minska uppvärmningsbehovet och således energianvändningen vilket skulle påverka fluglarvernas slutgiltiga avtryck. Anläggningen på SLU som ligger till grund för mycket av den data som används i livscykelanalysen är inte heller optimerad för att minska produktionens miljöavtryck, utan är placerad i ett befintligt växthus. Detta har förmodligen också påverkat studiens resultat på så sätt att fluglarvsproduktionen fått ett större avtryck gällande energianvändning och GWP än absolut nödvändigt. Produktionen skulle förmodligen kunna rymmas på en betydligt mindre yta och därigenom vara mer energieffektiv.

Temperatur och ventilation är generellt en osäkerhet för denna studie. Behovet av uppvärmning har beräknats utifrån att anläggningen ska hålla en konstant lägsta temperatur på 27 °C och att det totala värmebehovet täcks med direktverkande elektricitet. På grund av bristande data har således inte värmealstring från komposteringsprocesser och maskiner tagits med i beräkningarna vilket med största sannolikhet skulle minskat lokalens uppvärmningsbehov ytterligare. Installation av luftvärmepump eller dylikt skulle också kunna sänka elanvändningen för anläggningens uppvärmning, något som inte undersökts i studien.

Utsläppen från komposteringen medför även den vissa osäkerheter då dessa utsläpp påverkas av en rad olika faktorer såsom materialets vattenhalt, kompostens temperatur och surhet, graden av uttorkning i slutskedet etcetera (Ermolaev, 2015). Detta tyder på att utsläppen av växthusgaser från larvkomposten skulle kunna minska med en medveten skötsel. Då utsläppen från komposteringen är den största enskilda utsläppskällan från larvproduktionen är vidare studier med detta fokus viktigt för bedömningen av den amerikanska vaperfluglarvens potential som fiskfoderkomponent.

En annan viktig aspekt gällande studiens resultat är kopplat till systemets uppbyggnad. I den här studien har en lokal produktion och bearbetning av fluglarver antagits i alla scenarier. Detta innebär att en storskalig produktion placerad längre bort innebär andra behov av transporter och paketering vilket kommer att påverka det slutliga resultatet. Vidare har denna studie inte tagit hänsyn till pelletering av fluglarverna för scenario 2 då detta processteg innehöll stora osäkerheter och bristande data. Malning till insektsmjöl har dock inkorporerats i detta scenario vilket är en

energikrävande process som krävs för att larverna ska kunna processas och ingå som en komponent i ett pelleterat foder.

Slutligen är det konventionella fiskfodrets prestanda inom de undersökta miljöpåverkansindikatorerna en viktig aspekt för denna studie då det är detta som delvis avgör vilken potential fluglarverna har som ett alternativt animaliskt protein i fiskfoder. I denna studie har tre livscykelanalyser för konventionellt fiskfoder använts för att utvärdera fiskfodrets miljö och klimatpåverkan. Dessa studier omfattar tillsammans flera olika konventionella fiskfoder med olika ingredienser och geografisk placering för produktion och bearbetning av råvaror och samansättning av foder. målet varit att minska osäkerheterna och felkällorna och ge en realistisk bild för det konventionella fiskfodrets prestanda inom de olika miljöpåverkansindikatorerna. Detta har gjorts genom att ta i beaktande analysernas olikheter gällande avgränsningar och allokeringmetoder och efter justeringar beräkna medelvärden från dessa livscykelanalyser för att på så sätt uttrycka den konventionella fodrets avtryck.

6.3 Minskade emissioner

Den här studien har fokuserat på de undvikna utsläppen från foderutbytet av fiskmjöl, men potentialen för undvikta utsläpp relaterade till transport och användning av kompost har inte analyserats. Fluglarvernas restkompostering har i tidigare studier beräknats generera hälften av den mängd kompost som antas genereras från en konventionell kompostering med färsk biomassa. Även gödningsmedlets substitutionsvärde för kvävegödsel har potential att ge ett negativt bidrag till larvproduktionens GWP (Salomone et al. 2017 se Mertenat et al., 2019). För att ge en helt rättvis bild över larvproduktionens utsläpp av växthusgaser skulle dessa undvikta utsläpp kunna beräknas och inkluderas i studien för att undersöka deras potential att negativt bidra till de totala utsläppen från produktionen.

6.4 Invasiv art

Det faktum att den amerikanska vapenflugan verken anses vara ett skadedjur eller en vektor för sjukdomsspridning används ofta som ett argument för dess lämplighet för uppfödning och storskalig produktion. Det är dock inte endast arter som är direkt skadliga för människan som bör hanteras med försiktighet. Definitionen av en invasiv art är en icke inhemska art som stör eller ersätter inhemska arter. Utifrån den svenska kontexten är den amerikanska vapenflugan visserligen en icke inhemska art då den inte finns naturligt vid dessa breddgrader men det är dock otroligt att vapenflugan skulle sprida sig och agera som en invasiv art i Sverige på grund av de svenska förutsättningarna gällande klimat. Som beskrivits i avsnitt 4.2 *Potential för amerikansk vapenfluga* kräver vapenflugan en jämn temperatur på 27–30 C för god tillväxt och framgångsrik fortplantning och blir slö och långsam i kallare temperaturer.

Utifrån denna bakgrund bör det kunna anses relativt osannolikt att vapenflugan skulle kunna sprida sig och bli invasiv i ett land som Sverige i dagsläget. Det är dock viktigt att också hantera eventuella framtida förändringar i klimatet som kan komma att påverka riskbilden för en spridning av den amerikanska vapenflugan. Vad som ofta används som ett motargument för vapenflugans lämplighet är just att dess överlevnadschanser och risk för spridning skulle öka i Sverige med ett varmare klimat. Vid ett förändrat klimat i Sverige är dock sannolikheten stor att flugan naturligt kommer sprida sig till dessa regioner från Sydeuropa och en eventuell spridning från en produktion kan således komma att ses som ett mindre problem sett ur ett helhetsperspektiv.

6.5 Fiskfodrets framtid

Enligt resultatet av denna studie är det tydligt att implementeringen av amerikansk vapenfluga inom produktion av fiskfoder kan minska fiskfodrets negativa påverkan på miljön samt minska fiskodlingens behov av foderfisk. Dock visar tidigare forskning att fluglarverna inte är ett fullgott protein för att helt ersätta foderfisken i fiskfodret då larverna inte innehåller alla de ämnen fisken behöver för en hälsosam tillväxt. Fluglarverna skulle dock kunna vara ett gott komplement till andra alternativa ingredienser såsom musselmjöl som redan används i stor utsträckning i fiskfoder. Detta har inte kunnat undersökas detaljerat i denna studie då ordentliga studier på musslor för foderproduktion saknas. Studien av Randau (2012) indikerar dock att utsläppen från musselmjöl ligger mellan 0,5–1 kg CO₂e per kg och således bidrar med liknande mängd utsläpp av växthusgaser som produktionen av vapenflugan. För vidare studier vore det således relevant att undersöka om fiskfoder med fluglarvsinblandning presterar likvärdigt gällande fiskarnas hälsa och tillväxt om andra alternativ såsom just musslor, inkorporeras i fodret istället för fiskmjöl, och om detta kan bidra till minskad påverkan inom de olika miljöpåverkansindikatorerna.

Resultatet av denna studie visar också att det är mer lönsamt, utifrån ett miljöperspektiv, att byta ut de fiskbaserade ingredienserna i det konventionella fodret än att byta ut en kombination av vegetabiliska och fiskbaserade ingredienser. Vad som inte undersökts i denna studie är dock hur väl vapenflugan står sig jämfört med just de vegetabiliska ingredienserna och om ett större utbyte av dessa komponenter också kan påverka fodret positivt. Flera av de vegetabiliska ingredienser som används i fiskfodret idag har en hög påverkan på flera av de undersökta effektkategorierna enligt de studier som ligger till grund för denna livscykelanalys. Dessutom finns problematiken med övergödning hos flera av dessa ingredienser. Gällande GWP är det särskilt ris och soja som sticker ut med höga utsläpp liknande dem förorsakade av fiskmjölsproduktionen. För framtida studier vore det således intressant att undersöka om fluglarver även kan vara fördelaktiga att använda för att minska mängden av dessa vegetabilier i fiskfodret.

6.7 Valet av fiskart

En annan aspekt att överväga är möjligheterna att minska miljöpåverkan från fiskfodret och behovet av foderfisk genom att välja andra fiskarter till det akvaponiska systemet som inte kräver

den typ av proteinrikt foder baserat på stora delar animalier. Detta är en parantes som sällan diskuteras i litteraturen kring problematiken kring fiskfoder. Det finns flera fiskarter, till exempel Tilapia-arter, som är allätare och således inte behöver foderfisk i sin diet och som fungerar bra i akvaponiska system (Tilapia-farmning.com, 2013). Men med en låg efterfrågan på denna typ av fisk i Sverige blir lönsamheten och incitamentet för att använda den också låg. Internationellt är Tilapia dock den näst mest odlade fiskarten och är en populär matfisk i flera afrikanska länder, USA och Kina, för att nämna några.

7. Slutsatser

Utifrån den utförda litteraturstudien kan slutsats dras att ett av de främsta problemen relaterat till konventionellt fiskfoder är dess innehåll av foderfisk vilket bidrar till fiskodlingarnas låga nettotillskott av animaliskt protein. Nyttjandet av vildfångad havsfisk bidrar således till problematiken med överfiskandet av världens fiskbestånd. Vidare innebär produktionen av de konventionella fiskfodren hög energianvändning och utsläpp av växthusgaser, två parametrar som är särskilt kopplade till just de fiskbaserade foderingredienserna och produktion och bearbetning av dessa. För att uppnå ett miljömässigt mer hållbart fiskfoder är det således av intresse att användningen av dessa ingredienser minskar och ersätts med alternativ som presterar bättre ur ett miljöperspektiv. Denna studie visar att larven av den amerikanska vapenflugan kan vara just ett sådant alternativ med potential att minska fiskfodrets miljöpåverkan. Litteraturstudien visar att upp till 50% av fiskmjölet i det konventionella fodret kan bytas ut mot insektsmjöl baserat på larver från den amerikanska vapenflugan utan påverkan på fiskarnas hälsa eller tillväxt.

Livscykelanalysen för de olika foderkombinationerna visar att den högsta inblandningen av fluglarver ger störst negativt bidrag till fodrets totala energianvändning, utsläpp av växthusgaser, konsumtion av foderfisk samt försurande effekt. Livscykelanalysen visar också att inkorporeringen av fluglarver får störst effekt då det är fiskbaserade ingredienser som byts ut medan effekten blir mindre när utbytet är jämnt fördelat mellan det konventionella fiskfodrets olika ingredienser. Detta trots att ett specificerat utbyte av endast fiskbaserade ingredienser innebär att larverna måste inkorporeras som en foderingrediens i det pelleterade fodret vilket förutsätter att larverna först mals till ett mjöl.

Slutligen kan konstateras, utifrån studiens resultat, att Johannas stadsodlingar kan minska avtrycket från den aktuella akvaponianläggningen inom samtliga studerade miljöpåverkansindikatorer genom att inkorporera fluglarver av amerikansk vapenfluga som en foderkomponent. Det är dock inte en slutsats som är överförbar till alla akvaponiska system oberoende av dess geografiska placering och situation, utan fluglarvsproduktionens miljöpåverkan är helt avgörande av vilka förutsättningar som finns gällande elektricitet och tillgång till matavfall eller andra lämpliga sidoströmmar.

8. Litteraturförteckning

Avfall Sverige, 2014. *Nyckeltal för kommunikationsinsatser inom matavfall, biogödsel och biogas*. Rapport U2014:14. ISSN 1103-4092.

Boissy, J., Aubin, J., Drissi, A., van der Werf, H.M., Bell, G.J. and Kaushik, S.J., 2011. *Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales*. *Aquaculture* 321: 61-70

Boverket, 2018. *Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd*, BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2018:4.

Bruni, L., Pastorelli, R., Viti, C., Gasco, L., Parisi, G., 2018. *Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source*. *Aquaculture* 487, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.006>

Bruno, 2014. *Miljöanpassat vattenbruk i Sverige – en näring med stor potential*. [online] URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/rapporter/Vattenbruk.pdf> (hämtad 17-05-19)

Christensen, S. [telefonsamtal]. Personlig kommunikation, februari 2019.

Cohen, A., Malone, S., Morris, Z., Weissburg, M., Bras, B., 2018. *Combined Fish and Lettuce Cultivation: An Aquaponics Life Cycle Assessment*. *Procedia CIRP*, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 30 April – 2 May 2018, Copenhagen, Denmark 69, 551–556. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.029>

Curran, M. A. (2015). *Life cycle assessment student handbook*. Scrivener Publishing LLC.

Erlöv, F., 2018. *Växthusgasutsläpp från fluglarvskompostering med den Amerikanska vapenflugan (*Hermetia illucens*)*. ISSN 1654-9392

Ermolaev, E., 2015. *Greenhouse Gas Emissions from Food and Garden Waste Composting - Effects of Management and Process Conditions*. (Doktorsavhandling)
Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. 2105:44.

Europeiska kommissionen, 2019. *Odlad i EU* [online]. Den goda fisken - European Commission. URL: <https://ec.europa.eu/fisheries/inseparable/sv/farmed-eu> (hämtad 17-05-19).

Evoconsys.com, 2019. *Products*. [online] URL: <https://www.evoconsys.com/products.html> (hämtad: 27-05-19)

FAO Nordic - FAO:s nordiska informationskontor, 2012. *Fiske och vattenbruk*. [online] URL: <http://www.fao.org/liaison/nordic/67028/se/> (hämtad 17-05-19).

FAO (Ed.), 2017. *The future of food and agriculture: trends and challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO. 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Finansdepartementet, 2018. *Handlingsplan Agenda 2030 2018–2020*. Fi 2018:3

FN-förbundet. 2019. *Globala målen för hållbar utveckling*. [online] URL: <https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/> (hämtad: 25-02-19)

Fridell, A. 2017. Insekter som livsmedel: *Möjligheter och utmaningar i att designa avelsprogram*. (examensarbete). Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för husdjursgenetik, 518

Heussler, C.D., Walter, A., Oberkofler, H., Insam, H., Arthofer, W., Schlick-Steiner, B.C., Steiner, F.M., 2018. *Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing*. PLOS ONE 13, e0197896. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197896>

Hexeberg Rustad, I. 2016. *Life cycle assessment of fish feed produced from the black soldier fly (*Hermetia illucens*)* (Examensarbete). Norwegian University of Science and Technology. EPT-M-2016-162

Hornborg, S., Ziegler, F., 2014. *Aquaculture and energy use: a desk-top study*. [online] URL: https://swemarc.gu.se/digitalAssets/1536/1536133_publication---energy-use-in-aquaculture.pdf (hämtad: 25-02-19)

Huis, A. van, Itterbeeck, J. van, Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. och Vantomme, P., 2013. *Edible insects: future prospects for food and feed security*, FAO forestry paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jordbruksverket, 2019a. *Vattenbruk - en växande näringsgren på landsbygden* [online] URL: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/landsbygdfiske/branscherochforetagande/vattenbruk.4.e01569712f24e2ca0980008260.html> (hämtad: 27-05-19)

Jordbruksverket, 2019b. *Insekter som foder* [online] URL: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/djur/foder/foderforolikadjurslag/insektersomfoder.4.5a59a50815b0a44606e5c1b4.html> (hämtad: 10-05-19)

King, M. H., Southern, M. A., 2017. *The aquaponic farmer: A complete guide to building and operating a commercial aquaponic system*. Canada: New Society Publishers. E-bok.

Klackenberg, L. 2017. *Statistik om biogas*. [online] URL: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/statistik-om-biogas/> (hämtad: 22-05-19)

Kledal, P.R., Thorarinsdottir, R., 2018. *Aquaponics: A Commercial Niche for Sustainable Modern Aquaculture*, in: Hai, F.I., Visvanathan, C., Boopathy, R. (Eds.), *Sustainable Aquaculture, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*. Springer International Publishing, Cham, pp. 173–190. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2_6

Kwant, K., Gerlagh, T., Junginger, M., Mai-Moulin, T., 2018. *National policy framework in the netherlands 9*. IEA Bioenergy: 09 2018

Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., Vinnerås, B., 2019. *Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*)*. *Journal of Cleaner Production* 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>

Lalander, C., 2019. [samtal] Personlig kommunikation, februari 2019.

Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., Yu, H., 2017. *Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure*. *Aquaculture* 477, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.015>

Max industrial microvawe, 2019. [e-post] personlig kommunikation, löpande april 2019.

Mertenat, A., Diener, S., Zurbrügg, C. 2019. *Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential*. *Waste Management* 84 (2019) 173–181

Nyström, J., 2015. *Maten från havet ska odlas på land* [online] Forskning & Framsteg 7/2015. URL: <https://fof.se/tidning/2015/7/artikel/maten-fran-havet-ska-odlas-pa-land> (hämtad 17-05-19).

Parfitt, J., Barthel, M. & Macnaughton, S., 2010. *Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1554), ss. 3065-3081.

Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonesson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjo, A., Kruse, S., Cancino, B., Silverman, H., 2009. *Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems*. Environmental Science & Technology 43, 8730–8736. <https://doi.org/10.1021/es9010114>

Randau, K., 2012. *Livscykelanalys av sex olika fiskodlingssystem - Fiskens miljöpåverkan för konsumtion i Stockholm*. (Examensarbete) Uppsala: Uppsala universitet. ISSN: 1650-8319.

Regeringskansliet, 2018. *Handlingsplan Agenda 2030* [online]. URL: <https://www.regeringen.se/rapporter/2018/06/handlingsplan-agenda-2030/> (hämtad 25-2-19).

Salin, K.R., Arame Ataguba, G., 2018a. *Aquaculture and the Environment: Towards Sustainability*, in: Hai, F.I., Visvanathan, C., Boopathy, R. (Eds.), Sustainable Aquaculture, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–62. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2_1

Salin, K.R., Arun, V.V., Mohanakumaran Nair, C., Tidwell, J.H., 2018b. *Sustainable Aquafeed*, in: Hai, F.I., Visvanathan, C., Boopathy, R. (Eds.), Sustainable Aquaculture, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. Springer International Publishing, Cham, pp. 123–151. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2_4

Sheppard, D. C., Newton, G. L. & Burtle, G., 2007. *Black Soldier Fly Prepupae A Compelling Alternative to Fish Meal and Fish Oil*. Trifton Georgia: University of Georgia

Skretting, n.d. *How much feed is needed to grow farmed fish?* [online] URL: <https://www.skretting.com/en/faq/how-much-feed-is-needed-to-grow-a-farmed-fish/> (hämtad 17-05-19)

Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A., Heinz, V., 2016. *Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective*. Journal of Cleaner Production 137, 741–751. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.148

Stenmarck, Å., Jensen, C., Quested, T., Moates, G., Buksti, M., Cseh, B., Juul, S., Parry, A., Politano, A., Redlingshofer, B., Scherhauser, S., Silvennoinen, K., Soethoudt, H., Zübert, C., Östergren, K., 2016. *Estimates of European food waste levels*. Stockholm. ISBN 978-91-88319-01-2

Svensson, I., 2015. *Implikationer av förändrad avfallsinsamling - En fallstudie i Stockholms innerstad*. (examensarbete) Lindköping: Lindköpings universitet, Tekniska högskola. LIU-IEI-TEK-A--15/02153—SE

Tilapia-farming.com, 2013. *Tilapia Foods and Feeding*. [online] URL: <http://www.tilapia-farming.com/2013/04/05/tilapia-foods-and-feeding/> (hämtad: 27-05-19)

Vidacovic, A., 2019. [e-post] Personlig kommunikation, löpande mars-maj 2019.

Wang, Y. S., Shelomi, M., 2017. *Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food*. Foods 6(91). Doi: <https://doi.org/10.3390/foods6100091>

Winther, U., Ziegler, F., Skontorp Hognes, E., Emanuelsson, A., Sund, V., Ellingsen, H., 2009. *Carbon footprint and energy use of norwegian sea food products*. Trondheim: Sintef report. SFH80 A096068

Yang, S., 2019. [e-post]. Personlig kommunikation, löpande maj 2019.

Yang, S. 2017. *Intensive Black Soldier Fly Farming* [online] URL: <https://symtonbsf.com/blogs/blog/intensive-black-soldier-fly-farming> (hämtad: 27-05-19)

Zhang, J., Huang, L., He, J., Tomberlin, J. K., Li, J., Lei, C., Sun, M., Liu, Z., Yu, Z., 2010. *An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens**. Journal of Insect Science **10**(202). Doi:10.1673/031.010.20201

Bilaga A. Sammanfattning av data använd för livscykelanalys

Produktion av BSFL vid SLU				Produktion av konventionellt foder			
	Enhet		Källa		Enhet		Källa
BSFL	kg	250	Studiebesök	Total Energi kons.	MJ	19600	Boissy
BSFL avel	%	2	Studiebesök	Total Energi kons.	MJ	13800	Pelletier
Behandlingsrest	kg	200	Studiebesök	Total Energi kons.	MJ	34000	Randau
Matavfall	kg	1000	Studiebesök	Total GWP	kg CO2-eq	1540	Boissy
Tid	vecka	1	Studiebesök	Total GWP	kg CO2-eq	1030	Pelletier
Temp	C	30	Studiebesök	Total GWP	kg CO2-eq	2300	Randau
Area	m2	20	Studiebesök	Fossil energi	MJ	13968.5	Boissy
Protein	kg	100	Studiebesök	Fish in	kg foderfisk	301	Boissy
Kompostering	kg CO2-eq	60	https://stud.epsilon.slu.se	Fish in	kg foderfisk	586	Pelletier
				Fish in	kg foderfisk	600	Randau
Övrig data BSFL				Markanvändning	m2	1618	Boissy
Ammoniak	mg/kg TS	66	http://uu.diva-portal.org	Försurning	kg SO2-eq	8.9	Boissy
Transport	km	5	uppskattning	Försurning	kg SO2-eq	14.4	Pelletier
Bränsleförbrukning diesel	l/km	1.6	https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:881667/FULLTEXT01.pdf				
Primärenergi diesel	MJ/l	36.6	http://w.astro.berkeley.edu	Total energi kons. F	%	0.786729	Randau
Klimat diesel	CO2/l	2.81	https://www.miljoforskningen.se	Total GWP fisk	%	0.714073	Randau
kapacitet bil	ton	7		Milling	MJ	900.74	Pelletier
					kW	1.5	
Data uppvärmning					kg/h	25	
Area	m2	68	Studiebesök/uppskattning		kWh	60	
U-värde		0.5	Uppskattning för gamla väggar och tak			216	
Nordisk elmix	gramCO2-eq/kWh	50	electricitymap.org				
Temp ute	C	6.75					
Torkning							
Energi	kWh/ton larver	835	leverantör				
Energi	kJ/kg vatten	4000	https://www.researchgate.net/publication/304771464				Energy_requirement

TRITA TRITA-ABE-MBT-19551