HÖGSKOLAN
I GÄVLE

AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ

Avdelningen för byggnadsteknik, energisystem och miljövetenskap

Livscykelanalys av det vertikala odlingssystemet Freja

En fallstudie i samarbete med Swegreen med fokus på att finna miljöpåverkans- hotspots

Andrea Brandel & Nora Borgström

2024

Examensarbete, Grundnivå (högskoleingenjör), 15 hp
Miljöteknik
Miljöingenjör

Handledare: Daniel Danevad
Examinator: Karl Hillman

Förord

Detta examensarbete, motsvarande 15 högskolepoäng, har genomförts inom miljöingenjörsprogrammet vid Högskolan i Gävle i samarbete med företaget Swegreen AB. Arbetsfördelningen mellan författarna har varit likvärdig under hela arbetets gång, och samtliga delar av examensarbetet har utförts gemensamt av författarna.

Vi vill rikta ett stort tack till Joakim Rytterborn och Sepehr Mousavi på Swegreen för deras samarbete under arbetets gång. Ett särskilt tack till Joakim och Victoria för deras gästfrihet under vårt besök på Swegreens butiksodling på ICA Maxi i Solna.

Framförallt vill vi uttrycka vår djupaste tacksamhet till vår otroliga handledare Daniel Danevad vid Högskolan i Gävle, som har varit med oss från förstudien till och med examensarbetet. Daniel har varit lyhörd, tillgänglig och tålmodig med oss och alla våra frågor och idéer, hans insatser som handledare har överträffat våra förväntningar.

Tack för er hjälp med att göra detta arbete möjligt!

Sammanfattning

Livsmedelsindustrin är en bidragande faktor till klimatförändringarna, där innovativa lösningar, såsom vertikal odling, kan appliceras för att främja en hållbar livsmedelsproduktion. Vertikala odlingssystem möjliggör urban inomhusodling, vertikalt i hyllplan, i kontrollerade miljöer med odlingskammare, belysningssystem samt vanligtvis jordfri odlingsmetod (t.ex. hydroponik), som är essentiella delar av systemet. Temperatur, relativ fuktighet och artificiellt ljus regleras efter grödornas behov. Vid hydroponisk odling används odlingssubstrat såsom stenull istället för jord och växternas rötter är i konstant kontakt med det återcirkulerande vattnet i systemet, som förser växterna med näring. Tidigare livscykelanalyser av vertikala odlingssystem, om än ett begränsat antal, belyser elförbrukningen som den största bidragande faktorn till miljöpåverkan, samt att utbyte av olika material kan generera en lägre total miljöpåverkan.

Examensarbetet syftar till att utföra en livscykelanalys på Swegreens vertikala odlingssystemet Freja, på ICA Maxi i Solna. Vidare syftar livscykelanalysen till att identifiera de faser och flöden som står för betydande miljöpåverkan, samt några förbättringsförslag. Det vertikala odlingssystemet antar perspektivet 'vagga till användning' under 30 år, exkluderande monterings- och sluthanteringsfasen. Användningsfasen innefattar sallatens livscykel från 'vagga till grav', exkluderande förtäringsfasen. Den funktionella enheten är 1 kg producerad ekbladssallat tillgänglig för konsumenter av klass 1. Data har inhämtats från både Swegreens digitaliserade data och från en tidigare studie utförd på Swegreens odlingssystem Saga. För bearbetning har programvaran SimaPro och databasen Ecoinvent 3.8 använts.

Resultaten analyseras utifrån miljöpåverkanskategorierna ekotoxicitet (sötvatten), fossil resursanvändning, försurning, klimatförändringar, markanvändning, resursanvändning (mineraler och metaller), vattenanvändning och övergödning (sötvatten). Odlingsfasen för sallaten (innehållande elanvändning) är systemets främsta hotspot, följt av råmaterialsfasen för sallat, som orsakar störst miljöpåverkan för samtliga miljöpåverkanskategorier, förutom för resursanvändning (mineraler och metaller). Resultaten kan ej generaliseras eftersom de beror på val av funktionell enhet, systemgränser samt typ av data. Resultaten från känslighetsanalysen för energiproduktion och sluthantering tyder på att olika scenarion genererar lägst miljöpåverkan, beroende på vilka miljöpåverkanskategorier som anses mest relevanta.

Nyckelord: "Hydroponisk odling", "Vertikala odlingssystem", "Livscykelanalys", "Miljöpåverkan", "Elanvändning", "Sallatsproduktion"

Abstract

The food industry is a contributing factor to climate change, where innovative solutions, such as vertical farming, can be applied to promote sustainable food production. Vertical farming systems enable urban indoor farming, vertically on shelves, in controlled environments with cultivation chambers, lighting systems and usually soil-free cultivation methods (e.g. hydroponics), that are essential parts of the system. Temperature, relative humidity and artificial light are regulated to satisfy the crops needs. Hydroponic cultivation utilizes growing mediums such as rock wool instead of soil and the roots of the plants are in constant contact with the recirculating water in the system, which provides the plants with nutrients. Previous life cycle assessments of vertical farming systems, although limited in numbers, highlight the electricity consumption as the largest contributing factor to the environmental impact, as well as replacing different materials for a lower environmental impact.

This study aims to assess the environmental impacts and hot spots, through the use of life cycle assessment, on Swegreen's vertical farming system Freja, at ICA Maxi Solna. Furthermore the life cycle assessment aims to identify the phases and flows that accounts for significant environmental impact, as well as some suggestions for improvement. The vertical farming system applies the perspective of 'cradle to use' for 30 years, not including the assembly or waste disposal phase. The use phase includes the life cycle of lettuce, from 'cradle to grave', not including the consumption phase. The functional unit is 1 kg of produced oak leaf lettuce, class 1, available to consumers. Data has been obtained from both Swegreen's digitized data and from a previous study conducted on Swegreen's farming system Saga. To process the data, the software SimaPro and the Ecoinvent 3.8 database was applied.

Results are analyzed with regards to the environmental impact categories ecotoxicity (freshwater), fossil resource use, acidification, climate change, land use, resource use (minerals and metals), water use and eutrophication (freshwater). Results indicate that the lettuce cultivation phase (containing electricity use) is the main hotspot of the system, followed by the raw material phase for the lettuce. A phase that also dominates in all environmental impact categories, except for resource use (minerals and metals). Results cannot be generalized since they depend on the choice of functional unit, system boundaries and type of data. The sensitivity analysis regarding the energy production and waste disposal suggests that different alternatives cause the lowest environmental impact, depending on which environmental impact categories are considered the most important.

Keywords: "Hydroponic cultivation", "Vertical farming systems", "Life cycle analysis", "Environmental impact", "Electricity use", "Lettuce production"

Innehållsförteckning

Förord i

Sammanfattning iii

Abstract v

Innehållsförteckning vii

Förkortningar x

1. Introduktion 1

1.1 Bakgrund 1

1.2 Syfte/ mål och frågeställningar 4

1.3 Omfattning och avgränsningar 5

2. Teoretisk referensram 6

2.1 LCA- Grönskas vertikala odlingssystem 6

2.2 Utvärdering av miljöprestanda för urban symbios 6

2.3 LCA- Swegreens tidigare vertikala odlingssystem 7

2.4 LCA och industriell symbios- Swegreens tidigare vertikala odlingssystem 7

2.5 Vertikalt odlingssystem på universitetscampus 8

2.6 LCA av Swegreens odlingssystem Saga 8

3. Metod 9

3.1 Källor 9

3.2 Mål och omfattning för livscykelanalysen 10

3.3 Livscykelinventering 14

3.4 Miljöpåverkansbedömning 18

3.5 Tolkning 20

4. Resultat och analys 22

4.1 Livscykelanalys 22

4.2 Känslighetsanalys 24

5. Diskussion och slutsats 27

5.1 Livscykelanalys 27

5.2 Känslighetsanalys 29

5.3 Framtida studier 32

5.4 Slutsats 33

Referenser 34

Bilagor A1
Bilaga A A1
Bilaga B B1
Bilaga C C1

Förkortningar

VOS- vertikalt odlingssystem

LCA- Livscykelanalys

LCI- Livscykelinventering

LCIA- Miljöpåverkansbedömning

LED- Light Emitting Diode

HVAC- Värme, Ventilation och Luftkonditionering (Heat, Ventilation and Air Conditioning)

CO_2e- Koldioxidekvivalenter

1. Introduktion

Följande avsnitt beskriver studiens bakgrund, motivation, syfte och frågeställningar samt fastställer studiens omfattning och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Klimatförändringar är en påtaglig, global utmaning som påverkar samtliga samhällssektorer och ekosystem världen över (Europeiska kommissionen, u.å.). Den ökande koncentrationen av växthusgaser i atmosfären, främst från mänskliga aktiviteter, har medfört en accelererande global uppvärmning. Uppvärmningen medför allvarliga konsekvenser såsom smältande glaciärer, extremväder och stigande havsnivåer, vilket hotar ekosystem, ekonomisk stabilitet och människors livsmedelssäkerhet (Europeiska kommissionen, u.å.). En av de samhällssektorer som orsakar detta problem är livsmedelsindustrin, som genom hela livsmedelskedjan (från förädling och markanvändning till konsumtion) genererar betydande mängder växthusgaser vilka förvärrar den globala uppvärmningen (Livsmedelsföretagen, 2020; Crippa et al., 2021 refererad i Johansson et al., 2023).

Användningen av kemiska bekämpningsmedel och organiska miljögifter, tillsammans med intensiv odling (t.ex. större användning av energi och gödsel pga. markbrist) samt långa transporter och distribution är faktorer som medför negativ miljöpåverkan och klimatförändringar (Li et al., 2022, refererad i Parkes et al., 2022; Livsmedelsverket, 2023; Naturvårdsverket, 2024a). Således påverkar även den svenska livsmedelsindustrin klimatet och miljön (Jordbruksverket, 2021). Enligt Jordbruksverkets statistik för 2022 importerade Sverige en betydande mängd frukt och grönt, 1 766 000 ton, vilket visar på ett behov av att balansera den otillräckliga produktionen inrikes med import för att möta efterfrågan på frukt och grönt (Jordbruksverket, 2022). Vid klimatförändringar och andra typer av händelser som kan hindra import, blir Sveriges tillgång till vissa grödor sårbar, samtidigt som stora mängder koldioxidutsläpp genereras från långa transporter och bidrar till negativ miljöpåverkan (Li et al., 2022, refererad i Parkes et al., 2022; Jordbruksverket, 2022). Med hänsyn till detta i kombination med att över hälften av Sveriges konsumerade grönsaker importeras, samt dryga 80 procent av den odlingsbara marken redan är uppodlad (Sveriges miljömål, 2019), existerar en utmaning i att utveckla Sveriges livsmedelsindustri i en hållbar och miljövänlig riktning.

För att bemöta klimatförändringarna har FN:s globala mål för hållbar utveckling identifierat flera områden där livsmedelsindustrin spelar en central roll (Svenska FN-förbundet, u.å.). Målen strävar inte bara efter att minska utsläppen från livsmedelsindustrin, utan också att göra den mer motståndskraftig mot de effekter som klimatförändringarna medför. Mål 2, ingen hunger, är särskilt viktigt i

sammanhanget och betonar vikten av att säkerställa matförsörjning för alla samtidigt som man främjar hållbara jordbruksmetoder (Svenska FN-förbundet, u.å.). Vidare är mål 13, Klimatåtgärder (Svenska FN-förbundet, u.å.), av avgörande betydelse då det fokuserar på att minska utsläppen från alla sektorer, inklusive livsmedelsindustrin. Genom att främja innovation och teknologi inom jordbruket kan Sverige föra utvecklingen mot en mer hållbar livsmedelsproduktion (Livsmedelsföretagen, 2020; Specht et al., 2019; Sveriges miljömål, 2019), och hjälpa uppnå målen. Ett behov uppstår gällande utvecklingen av nuvarande odlingsmetoder eller att nya innovativa lösningar implementeras för att producera mat på ett hållbart och självförsörjande sätt, för att minska klimatpåverkan och sårbarheten kring beroendet av importer (Specht et al., 2019; Sveriges miljömål, 2019). Med avstamp i detta har vertikal odling börjat få spridning i det svenska samhället de senaste åren.

1.1.1 Vertikal odling

Vertikal odling möjliggör livsmedelssäkerhet, då den ökar den lokala produktionen av grödor och minskar beroendet av importerade varor, vilket stärker livsmedelssäkerheten (Sveriges miljömål, 2019; IVL Svenska Miljöinstitutet, 2023). Detta kan bidra till att uppfylla FN:s globala mål 2, Ingen hunger (Svenska FN-förbundet, u.å.), genom att säkerställa att fler människor har tillgång till näringsrika och lokalt producerade livsmedel. Vertikal odling medför även en effektiv markanvändning, eftersom odling sker på höjden istället för på bredden och minskar därav behovet av odlingsbar mark, samt kan placeras i befintliga eller outnyttjade byggnader (Lunds universitet, 2020; Nära Sverige, u.å.; Sveriges miljömål, 2019). Effektivare markanvändning bidrar till mål 11, hållbara städer och samhällen (Svenska FN-förbundet, u.å.), genom att hållbar urban utveckling främjas. Vidare kan en övergång till vertikal odling, där vatten återcirkuleras i systemet, stötta mål 6, rent vatten och sanitet för alla, genom att effektivisera vattenanvändningen och säkerställa tillgång till rent vatten (Vatten & miljöresurs, 2023; IVL Svenska Miljöinstitutet, 2023; Svenska FN-förbundet, u.å). Vidare möjliggör vertikal odling i urbana miljöer, med närhet till konsumenterna, ett minskat behov av transporter vilket i sin tur minskar koldioxidutsläppen och bidrar till mål 13, bekämpa klimatförändringar (Svenska FN-förbundet, u.å.; Martin & Molin, 2019; SVT, 2022).

Det ska även tilläggas att vertikal odling även har begränsningar, som påverkar dess genomförbarhet och lönsamhet. En av de största utmaningarna är den höga energianvändningen, vilket även leder till betydande elkostnader (Colliander-Nyman, 2020; SVT, 2022). Ekonomiskt är det främst lönsamt att odla bladgrönt, då andra grödor kräver större mängder energi och tid (Vertical Farming Planet, 2023; SVT, 2022).

Vertikal odling är oberoende av yttre väder- och klimatförhållanden då odling sker inomhus i kontrollerad och sluten miljö, vilket således säkerställer odling året om, dygnet runt (Arcasi et al., 2023). För att möjliggöra vertikal odling inomhus är tre delar i systemet essentiella: kontrollerad miljö i odlingskammare, belysningssystem (och därmed elektricitet) samt odlingsmetod som är jordfri (Parkes et al., 2022). I odlingskammaren skapas optimala odlingsförhållanden för tillväxt av grödor. Dessa odlas vertikalt i hyllplan, ofta i outnyttjade lokaler eller byggnader (Sveriges miljömål, 2019), där både temperatur och relativ fuktighet regleras (Arcasi et al., 2023). Vidare är vertikala odlingssystem rustade med luftkonditioneringssystem för kylning och avfuktning av luft, samtidigt som optimala koldioxidnivåer bibehålls genom CO2-enheter. Eftersom odling sker inomhus ersätts det naturliga solljuset med artificiellt ljus, i form av lysrör eller LED-system (Arcasi et al., 2023). Det finns tre typer av vertikala jordbrukssystem: hydroponik, aeroponik eller aquaponik, och vilken som appliceras i odlingen påverkar således hur odlingssystemet är utformat (Eden Green Technology, u.å.).

Vertikala odlingars oberoende av yttre väder- och klimatförhållanden, samt dess höga vattenbesparingar, gör odlingsmetoden extra fördelaktigt att nyttja i regioner som har få antal ljustimmar och/ eller som har vattenbrist (Arcasi et al., 2023). Under de fyra årstiderna i Sverige varierar väder och klimat. Eftersom grödor kräver en viss mängd solljus, underlättar odling under sommaren då den är berikad med fler antal ljustimmar än vintern (Herman Larsson, 2023). Därav motiveras nyttjandet av vertikal odling som fördelaktigt i Sverige, som idag har flera verksamma aktörer. En aktör i denna bransch är teknikbolaget Swegreen, som grundades år 2019 i Stockholm (S. Mousavi, personlig kommunikation, 26 februari 2024). Swegreen erbjuder de två odlingssystemen Freja och Saga till butiker, restauranger, hotell och fastighetsägare. Odlingssystemen finns i flera storlekar och i dessa sker vertikal hydroponisk odling av härodlade örter och sallater (Swegreen, u.å.).

Hydroponik är vanligast att använda vid vertikal odling och med denna odlingsmetod utesluts traditionell jord och ersätts med odlingssubstrat, såsom stenull, torvmossa eller kokosfibrer (Nisha et al., 2018). Då konventionell jord ej används elimineras risken för jordburna insekter, skadedjursinfektioner och sjukdomar hos växterna, vilket i sin tur reducerar behovet av bekämpningsmedel (Nisha et al., 2018). Vidare är växternas rötter i ständig kontakt med det cirkulerande vattnet, som förser växterna med näringslösning (Led Mega Store, 2021). Oftast styrs de hydroponiska systemen automatiskt, vilket innebär att systemet övervakar den mängd vatten, näring och fotoperiod (dagsljus) som olika växter behöver (Nisha et al., 2018). Med vertikal hydroponisk odling görs vattenbesparingar på upp till 95% jämfört med

traditionell odling. Dessa vattenbesparingar beror på att vattnet cirkulerar i ett slutet system, där det renas i flera steg innan återcirkulation till plantorna (Mohammed et al., 2022, refererad i Alotaibi et al., 2023).

Trots flertalet fördelar med vertikal odling går även nackdelar att identifiera, främst gällande effektivitet och optimering (Hegedűs et al., 2023). Det kan därmed vara fördelaktigt att skapa en helhetsbild över produktsystemet och de processer och flöden som finns, för att identifiera de delar i systemet med betydande miljöpåverkan. För att beräkna miljöpåverkan hos hela produktsystemet är livscykelanalys en lämplig metod (SLU, 2022).

1.1.2 Livscykelanalys

För produktsystem, innefattande både produkter och tjänster, kan potentiell miljöpåverkan beräknas genom en livscykelanalys, förkortat LCA (Baumann & Tillman, 2004). En LCA är ett bedömningsverktyg där hela livscykeln för ett produktsystem studeras, innefattande processerna råmaterialutvinning, produktion, användning och sluthantering (ISO, 2006a). Vidare innehåller bedömningsverktyget fyra olika faser: mål och omfattning, livscykelinventering, miljöpåverkansbedömning samt tolkning (ISO, 2006a). Förhållandet mellan de fyra faserna är iterativt, vilket innebär att det är tillåtet att gå fram och tillbaka mellan faserna för att göra justeringar (SLU, 2022). Genom att studera produktsystemets livscykel kan de processer som orsakar mest utsläpp identifieras. Förbättringsmöjligheter kan sedan identifieras och appliceras, som i sin tur bidrar till förbättrad miljöprestanda hos produktsystemet (Baumann & Tillman, 2004).

1.1.3 Motivation för studien

Vertikal odling, trots sina fördelar, står inför utmaningar inom effektivitet och optimering (Hegedűs et al., 2023). För att förstå hela produktsystemets miljöpåverkan är livscykelanalys en lämplig metod (SLU, 2022). Forskningen inom detta område är begränsad, vilket skapar kunskapsluckor som behöver fyllas för att förbättra tekniken. Denna studie genomfördes i samarbete med Swegreen som efterfrågade en livscykelanalys på ett av deras odlingssystem. motiveras av att både möjliggöra identifiering av brister hos vertikal odling, fylla kunskapsluckor samt kunna fastställa potentiella applicerbara förbättringsmöjligheter.

1.2 Syfte/ mål och frågeställningar

I examensarbetet utförs en livscykelanalys som syftar till att beräkna potentiell miljöpåverkan hos ett vertikalt odlingssystem som integrerats med en livsmedelsbutik. Vidare syftar livscykelanalysen till att identifiera vilka faser och flöden under livscykeln som står för den övervägande delen av miljöpåverkan, samt

vilka förbättringsmöjligheter som kan implementeras för dessa delar.

Examensarbetet ämnar svara på följande frågeställningar:

- Hur ser den totala potentiella miljöpåverkan ut från odlingssystemet i valda miljöpåverkanskategorier?
- Hur ser fördelningen av utsläpp från faser och flöden i livscykeln ut, samt vilka orsakar störst miljöpåverkan?
- Hur påverkar andra val för energi och sluthantering den potentiella miljöpåverkan för odlingssystemet?

1.3 Omfattning och avgränsningar

Livscykelanalysen omfattar Swegreens vertikala odlingssystem 'Freja' i storlek Large, integrerad med butiksbyggnaden ICA Maxi i Solna. Studien avgränsar sig till hydroponisk odling av bladgrönt, där endast ekbladssallat av klass 1 kvalitet ingår. I följande rapport redovisas resultaten i relation till den funktionella enheten 1 kg producerad ekbladssallat tillgänglig för konsumenter. Studien genomfördes med en tidsbegränsning på 10 veckor, exklusive 4 veckors planeringstid. Vidare föregås studien av en förstudie och ett fördjupningsprojekt relaterat till huvudområdet vertikal odling och de tekniska aspekterna inom ämnet.

Studien består av två livscykler, där den ena omfattar det vertikala odlingssystemet, VOS, med en livslängd på 30 år vars livscykel inkluderar flöden från 'vagga till användning', se Fig. 1. VOS- livscykeln har avgränsats till att exkludera monteringsfasen, det vill säga konstruktion och installation av Freja. Användningsfasen i VOS- livscykeln innefattar studiens andra livscykel, som omfattar sallatens resa från 'vagga till grav', med en exkludering av förtäringsfasen se Fig. 1.

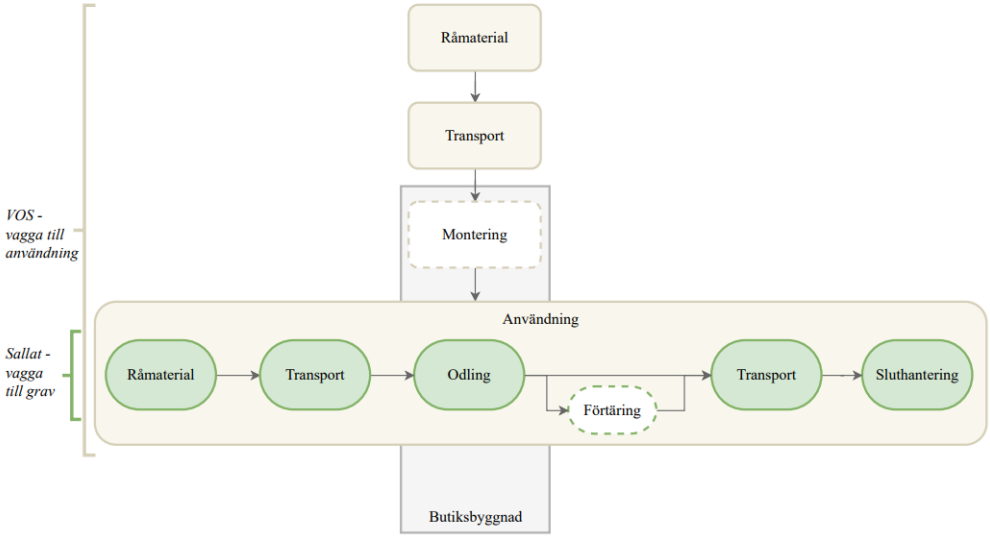

Fig. 1. Flödesmodell för det vertikala odlingssystemet Freja, innehållande de livscykler som ingår i studiens livscykelanalys av odlingssystemet, streckade figurer inkluderas inte i studien.

2. Teoretisk referensram

I detta avsnitt presenteras några tidigare studier som, genom livscykelanalyser, undersökt miljöpåverkan för vertikala odlingssystem. Studierna framhåller vilka faser och delar av livscykeln som står för störst miljöpåverkan samt möjliga implementeringar för att minska systemets totala miljöpåverkan.

2.1 LCA- Grönskas vertikala odlingssystem

I en fallstudie hos företaget Grönska, av Martin och Molin (2019), genomfördes en livscykelanalys för att bedöma miljöpåverkan från deras vertikala hydroponiska odling, placerad i ett källarutrymme i Stockholm. Livscykelanalysen antog ett 'vagga till grind' perspektiv och studerade miljöpåverkan från en årsproduktion (Martin & Molin, 2019). Genom att utvärdera olika aspekter av odlingen visade sig förpackningsmaterial, odlingssubstrat, elförbrukning och transporter vara av betydelse för miljöpåverkan (Martin & Molin, 2019). Martin & Molin (2019) studerade även förbättringsmöjligheter såsom en övergång från plast till pappersförpackningar, samt att använda kokosfiber som odlingssubstrat i stället för jord. Användning av pappersförpackningar i produktionen medförde bland annat stora minskningar för växthusgasutsläpp och försurning, och övergång från jord till kokosfiber visade på en reducering i den totala miljöpåverkan (Martin & Molin, 2019). Vidare identifierar Martin & Molin (2019) möjligheter till ytterligare minskningar av miljöpåverkan genom att optimera elförbrukningen och utnyttja synergier med urbana avfall och biprodukter.

2.2 Utvärdering av miljöprestanda för urban symbios

Ytterligare en livscykelanalys hos Grönska utfördes av Martin et al. (2019), som syftade till att studera miljöprestandan då rest- och avfallsflöden från den urbana miljön nyttjades som resurser för den vertikala odlingen. Med fokus på en mer cirkulär, motståndskraftig och hållbar urban livsmedelsförsörjning undersöktes miljöprestandan av att ersätta konventionella odlingssubstrat och gödningsmedel med olika rester från den urbana miljön, såsom kompost, spillkorn och biogasrötrester (Martin et al., 2019). Resultaten visade på betydande miljöfördelar när konventionella odlingssubstrat ersätts med alternativ från rest- och avfallsflöden (Martin et al., 2019). Även om vinsterna inte är lika stora, visar Martin et al. (2019) att användningen av gödselmedel från urbana restflöden också genererar en förbättrad miljöprestanda. Martin et al. (2019) menar på att båda restflödena har potential att bidra till mer cirkulära hydroponiska odlingar och därmed minskad miljöpåverkan.

2.3 LCA- Swegreens tidigare vertikala odlingssystem

I en studie av Barge (2020) genomfördes en livscykelanalys på Swegreens tidigare VOS i Stockholm, där den miljömässiga hållbarheten hos odlingssystemet undersöktes. Resultaten av studien visade att användningen av elektricitet bidrog till den största miljöpåverkan (där LED- belysningen stod i fokus), följt av infrastruktur (Barge, 2020). Barge (2020) förklarar även för att vattenanvändningen för odlingen var låg och att miljöpåverkan från varuleveranser var minimal. För att minska miljöpåverkan föreslogs åtgärder som att ersätta konstgödsel med biogödsel och att använda förnybara material för förpackningar (Barge, 2020). Studien framhåller även det symbiotiska utbytet mellan odlingen och den omgivande byggnaden, där odlingen tillhandahåller spillvärme till byggnaden och får koldioxid från en kontorslokal i byggnaden (Barge, 2020). Utifrån resultaten menar Barge (2020) att vertikal, hydroponisk odling är en lovande metod för att öka livsmedelsproduktionen i urbana områden på ett hållbart sätt. Däremot understryker Barge (2020) vikten av att fortsätta utveckla och optimera odlingen och symbiotiska utbyten, samt vikten av samverkan mellan olika aktörer i den urbana miljön.

2.4 LCA och industriell symbios- Swegreens tidigare vertikala odlingssystem

Likt Barge (2020) utförde Farkhondehmonfared (2022) en livscykelanalys på Swegreens tidigare VOS, där miljöprestandan granskades och industriell symbios var i fokus. Genom att tillämpa konceptet om industriell symbios undersökte Farkhondehmonfared (2022) hur överskottsvärmen från odlingen kunde återanvändas för att gynna andra verksamheter i den omgivande byggnaden. Resultaten av studien fann att den främsta miljöpåverkan från odlingen kom från elanvändningen, där LED- lamporna stod för 70% av det totala. Studien framhåller att de energikrävande komponenterna avger överskottsvärme (Farkhondehmonfared, 2022). Vidare visade resultaten på fördelar med att integrera VOS i ett symbiotiskt nätverk. Genom att i modellen koppla samman odlingen med den omgivande byggnaden kunde överskottsvärmen från odlingen användas för att värma upp andra utrymmen i byggnaden. Detta minskade därmed behovet av extern uppvärmning via fjärrvärme som resulterar i en minskad energianvändning (Farkhondehmonfared, 2022). Farkhondehmonfared (2022) menar att den industriella symbiosen skulle minska miljöpåverkan från företaget, eftersom det i modellen genererade en tydlig minskning från energiprocesser i alla påverkanskategorierna som studien använder sig av. Den industriella symbiosen framhålls därmed som en lovande förbättring företaget kan göra för att öka både effektiviteten och hållbarheten samt främja den cirkulära ekonomin relaterat till andra verksamheter (Farkhondehmonfared, 2022).

2.5 Vertikalt odlingssystem på universitetscampus

En studie av Parkes et al. (2022) studerade ett VOS integrerat och installerat på ett universitetscampus i Portugal och producerade broccoli och annat grönt till sallader. Parkes et al. (2022) använde metoden livscykelanalys, där miljöprestandan analyserades (med tillämpning av en variation av förnybar energi) utifrån två olika försörjningsscenarier - ett där grödorna levererades direkt på campuset och ett där leverans skedde inom 10 km till återförsäljare. I båda scenarion visade resultaten att el, följt av frön, bidrog med störst utsläpp av kg koldioxidekvivalenter per kilogram (Parkes et al., 2022). Det förstnämnda scenariot medförde en lägre uppvärmningspotential, räknat i kg koldioxidekvivalenter per kilogram. Parkes et al. (2022) framhåller även att om el från solceller används kan utsläpp minskas i flertalet påverkanskategorier.

2.6 LCA av Swegreens odlingssystem Saga

Karlsson (2023) utförde en livscykelanalys på Swegreens VOS, Saga Large, som syftade till att bedöma miljömässiga hotspots, förbättringsmöjligheter och symbiotiska utbyten mellan odlingssystemet och omgivande byggnad. Studien använde data inhämtad från Swegreen och andra aktörer relaterade till företaget, samt programvaran OpenLCA för dataset och beräkningar. Dessa relaterades till den funktionella enheten 1 kg producerad ekbladssallat av "klass 1" kvalitet och storlek, erhållande perspektivet 'vagga till användning' (Karlsson, 2023). Karlsson (2023) fann elförbrukning som hotspot och medförde betydande miljöpåverkan, men även infrastruktur, gödningsmedel, förpackningar och konsumenternas avfallshantering identifierades som hotspots i majoriteten av miljöpåverkanskategorierna. I livscykelanalysen förekom även känslighetsanalys som visade på ett samband mellan olika energikällor och den totala klimatpåverkan från elanvändningen (Karlsson, 2023). Resultaten visade att den svenska elmixen erhöll lägre utsläppsmängder för påverkanskategorin klimatförändringar per funktionell enhet än den nordiska elmixen (Karlsson, 2023). Vidare menar Karlsson (2023) att studien fann en möjlig reduktion i systemets totala klimatpåverkan (med 43%) om synergieffekter mellan omgivande butiksbyggnad och Saga utnyttjas, genom återanvändning av spillvärme och koldioxidavskiljning.

3. Metod

I detta avsnitt redovisas tillvägagångssätt för hur livscykelanalysen har utförts, utifrån livscykelanalysens 4 faser: mål och omfattning, livscykelinventering, miljöpåverkansbedömning samt tolkning. Något som påverkar tillvägagångssättet är val av bokförings- LCA eller konsekvens- LCA. I detta fall undersöks miljöpåverkan av befintligt vertikalt odlingssystem, vilket gjort att valet fallit på att göra en bokförings-LCA som är vanligt för att kartlägga miljöpåverkan från befintlig produktion (SLU, 2022).

3.1 Källor

Examensarbetets teoretiska bakgrund bygger främst på kollegialt granskade artiklar, inhämtade från databaserna Discovery och Web of Science. I databaserna har olika kombinationer använts för sökorden som presenteras i Tab.1 nedan. Endast publiceringar efter 2016 inkluderades eftersom vertikal odling är en nyetablerad odlingsmetod som framförallt utvecklats på senare år. Vidare nyttjades sökorden ovan till att samla in ytterligare, kompletterande information från sökmotorn Google. Relevant information erhölls hos statliga förvaltningsmyndigheter, organisations- och företagshemsidor, internationella standarder, tidigare examensarbeten och masteruppsatser samt studentlitteratur. Dessa har främst begränsats till 2016 och framåt, med undantag för studentlitteratur, internationella standarder och företagshemsidor vars information publicerats tidigare. De källor som använts för datainsamling till livscykelinventeringen beskrivs i metodavsnittet 3.3.

Tab. 1. Använda sökord för identifiering av relevanta källor

“vertical farming” OR “urban farming” OR “indoor farming”
“life cycle assessment” OR “life cycle analysis” OR “LCA”
“sustainable” OR “sustainability”
“food” OR “food consumption” OR “food sources”
“Climate” OR “climate crisis” OR “climate change”
“Sweden”
“Swedish electricity grid” OR “Swedish electricity mix”
“Tech*”
“Hydroponic”
“Nordic electricity mix”

3.1.1 Tidsperiod

Genomförandet av datainsamlingen för denna LCA- studie uppskattades ta 6 veckor. Denna process innefattar insamling av relevant information till den teoretiska bakgrunden, följt av att ingående förstå uppbyggnad och funktion hos valt VOS.

Detta för att sedan samla in all nödvändiga data till livscykelinventeringen.

3.2 Mål och omfattning för livscykelanalysen

I livscykelanalysens första fas definieras mål och omfattning för studien (ISO, 2006a). Detta genom att specificera ett tydligt syfte med studien, utifrån dess avsedda användningsområde. I denna fas redovisas de beslut som tagits kopplade till det studerade produktsystemet, rörande val av både funktionell enhet och systemgränser. Studiens detaljnivå avgörs utifrån de systemgränser som antas (Baumann & Tillman, 2004). I detta avsnitt förklaras uppbyggnad och funktion för studerat VOS, följt av motivering för val av studiens funktionella enhet och systemgränser.

3.2.1 Beskrivning av odlingssystemet

Freja är Swegreens största odlingssystem, se Fig. 2, och kan producera 300-450 st sallater och örter om dagen. Producerad mängd beror på odlingssystemets storlek, som erhålls i storlekarna Small, Medium och Large (Swegreen, u.å.). Enligt J. Rytterborn väger plantorna i genomsnitt 160g (personlig kommunikation, 12 april, 2024). Som minimum krävs en golvyta på 45m2 och en höjd på 3,5 meter, vilket gör odlingssystemet främst fördelaktig att nyttja i livsmedelsbutiker (Swegreen, u.å.). Odlingssystemet placeras i ett slutet rum, som möjliggör odling av varierande sorter sallater och örter året runt (Swegreen, u.å.). Vidare innehåller odlingssystemet tre separata hyllsystem, s.k. odlingskammare, där samtliga innehåller fyra styckna hyllplan. I det första hyllsystemet sker nyplantering, se Fig. 3, i odlingssubstratet stenull som är placerat i tråg (V. Karlsson, personlig kommunikation, 17 april, 2024). Plantorna förflyttas sedan till barnkammaren, Fig. 4, där de gror i 22 dagar. Därefter behöver plantorna mer utrymme för tillväxt, och placeras därav i rännor i huvudkammaren, enligt Fig. 5. De befinner sig där i 12 dagar innan de skördas och paketeras (J. Rytterborn, personlig kommunikation, 26 april, 2024). Vidare förklarar V. Karlsson under ett studiebesök på ICA Maxi i Solna att det i genomsnitt läggs 5 timmar om dagen på manuell hantering, vilket inkluderar sådd, omplacering av plantor, skörd och paketering (personlig kommunikation, 17 april, 2024). Butikerna erhåller en iPad som talar om vad som ska genomföras varje dag (S. Mousavi, personlig kommunikation, 26 februari 2024).

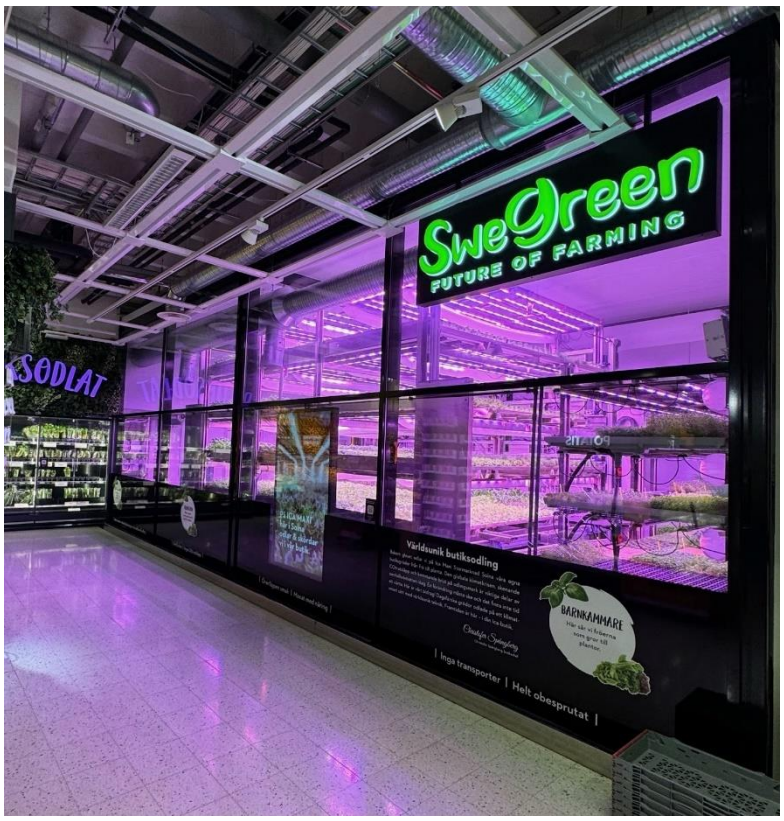

Fig. 2. Utvändig bild av Freja Large integrerat hos ICA Maxi i Solna.

Fig. 3. Kammaren för nyplantering.

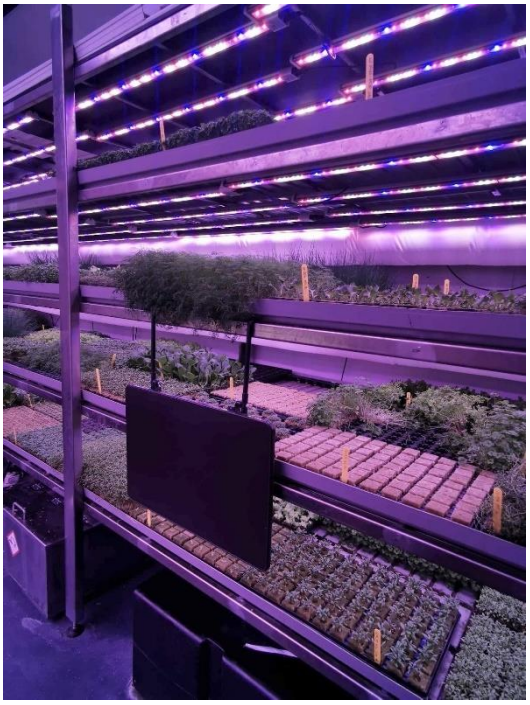

Fig. 4. Barnkammaren.

Odlingssystemet innehåller två olika vattensystem, där ebb- och flod-teknik nyttjar i barnkammaren medan ett NFT- system (nutrient film technique) nyttjas i huvudkammaren. Vattenpumparna är placerade under barn- respektive huvudkammare. Hos de två vattensystemen rinner vattnet från översta hyllplanet till

det nedersta. Vattnet rengörs via filter och automatisk tillsats av salter sker innan återcirkulation, genom att sensorer mäter aktuella saltnivåer i vattnet som signaleras till maskinerna (J. Rytterborn, personlig kommunikation, 17 april, 2024). Båda vattensystemen är självreglerande genom ett interface mellan maskinerna och en AI-baserad lösning (S. Mousavi, personlig kommunikation, 26 februari 2024). Odlingssystemet erhåller även en kondensator som återvinner vattenångan som bildas under plantornas fotosyntes (S. Mousavi, personlig kommunikation, 26 februari 2024). Kondensatorn fångar in vattenångan, som därefter kyls ned till eftersträvad temperatur, för att sedan rinna tillbaka till vattentanken (S. Mousavi, personlig kommunikation, 26 februari, 2024).

Alla fyra hyllplan är rustade med odlingsbelysning, erhållande justerbara LED-lampor med tillhörande ljusrecept, se Fig. 5 (S. Mousavi, personlig kommunikation, 26 februari 2024). Plantorna tar upp ca. 1% av värmeenergin som LED-lamporna ger upphov till. 10% av överskottsvärmen från odlingssystemet stannar kvar i kammaren, medan resterande 90% av genererad värme ventileras ut till butiksbyggnad för uppvärmning av luft (J. Rytterborn, personlig kommunikation, 17 april, 2024). S. Mousavi förklarar att de nyttjar carbon capture- teknik, där koldioxid från butikens luft fångas in för att nyttjas till plantorna, som han förklarar medför att ingen övrig koldioxid behöver tillsättas odlingssystemet (personlig kommunikation, 26 februari 2024).

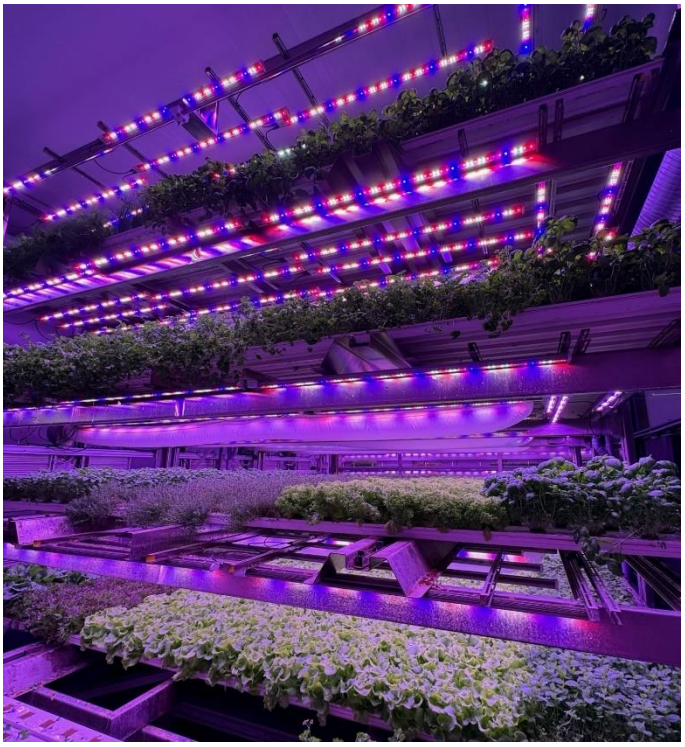

Fig. 5. Odling av mixade sorters sallater och örter i huvudkammaren.

3.2.2 Funktionell enhet

Begreppet funktionell enhet är en central term inom LCA för att definiera referensmåttet för prestandan hos ett produktsystem (ISO, 2006a). Internationella Standardiseringsorganisationen (2006a) klargör att funktionella enheten kvantifierar den prestandan som produktsystemet levererar och används som en jämförande enhet. Den fungerar som grund för att relatera inflöden och utflöden i en LCA till ett enhetligt referensvärde. Detta säkerställer jämförbarhet av resultat och utgör därmed en grund för att mäta och jämföra miljöpåverkan hos olika produktsystem på gemensamma grunder. Det är däremot viktigt att ta i beaktning att ett produktsystem kan ha flera möjliga funktioner, där val av funktionell enhet bör bero på studiens mål och omfattning (ISO, 2006a).

I den aktuella studien har funktionell enhet valts till 1 kg producerad ekbladssallat tillgänglig för konsumenter, av "klass 1" kvalitet och storlek. Detta val av enhet motiveras av flera faktorer. Dels är 1 kg en vedertagen enhet som Swegreen nyttjar (Joakim Rytterborn, personlig kommunikation 17 april 2024; Mousavi, 2023, refererad i Karlsson, 2023), vilket underlättar författarnas samarbete med företaget och insamling av deras rådata. Vidare grundas valet av sallat i den funktionella enheten på att sallat är konsekvent beträffande produktivitet och kvalitet, vilket är avgörande för tillförlitligheten hos resultaten (Karlsson, 2023). Dessutom valdes specifikt ekbladssallat för att underlätta och möjliggöra jämförelser med tidigare studie av Karlsson (2023), på Swegreens odlingssystem Saga. Odlingssystemen Saga och Freja erhåller till viss del likheter i uppsättning, vilket resulterar i att viss indata för funktionell enhet, såsom förpackning och frö, kan återanvändas i denna studie. Detta sparar författarna både arbete och tid.

3.2.3 Systemgränser

Systemgränser inom livscykelanalys definieras som en uppsättning kriterier som avgör vilka enhetsprocesser som inkluderas i ett produktsystem och är av avgörande betydelse för studiens utfall och trovärdighet (ISO, 2006a). Systemgränserna specificerar vilka steg i produktsystemets livscykel som ska inkluderas, vilket varierar beroende på studieobjekt och syftet med studien (ISO, 2006a). Genom att definiera systemgränserna kan flödesmodeller av produktsystemet skapas, där in- och utflöden vid systemgränsen helst ska vara elementära för att underlätta studien. Det kan dock finnas in- och utflöden som inte signifikant påverkar studiens övergripande slutsatser och därför inte behöver kvantifieras (ISO, 2006a). Valet av vilka enhetsprocesser som inkluderas i modellen av det fysiska systemet beror på flera faktorer, exempelvis mål och omfattning av studien, dess avsedda tillämpning och mottagare, samt antaganden och begränsningar gällande tillgänglig data (ISO, 2006a). Vidare bör systemgränserna beakta flera livscykelstadier och enhetsprocesser, såsom anskaffning av råmaterial, tillverkning, distribution,

användning, sluthantering och övriga processer som uppvärmning (ISO, 2006a).

Systemgränserna för den aktuella studiens livscykel är 'vagga till användning', vilket inkluderar faserna råmaterial, transport och användning. Monteringsfasen, innefattande konstruktion och installation av Freja, exkluderas med motiveringen att författarna till studien inte anser att fasen genererar några direkta utsläpp eller har direkt påverkan på den omgivande miljön. I fasen råmaterial inkluderas anskaffning av råmaterial, framställning och tillverkning av material såväl som in- och utflöden tillhörande processerna, som elanvändning, resursanvändning, transport av råvaror och utsläpp till miljön. I denna studie avser transportfasen transport av färdigt material från leverantör till Swegreen, eller direkt till butik. Användningsfasen består av sallatens livscykel, där dess in- och utflöden ingår.

Livslängden för det vertikala odlingssystemet är satt till 30 år (Joakim Rytterborn, personlig kommunikation, 17 april, 2024; Karlsson, 2023). Med avseende på detta är det relevant att notera att en del material och komponenter hos VOS:en har en kortare livslängd än 30 år, se Tab. A1 i bilaga A, och beräknas behövas i flera uppsättningar i livscykeln. Däremot exkluderas borttransportering samt sluthantering av ej längre brukbara komponenter och material från VOS livscykeln, även om detta sker under livslängden hos systemet.

Sallatens livscykel antar ett 'vagga till grav'- perspektiv, där faserna råmaterial, odling och sluthantering inkluderas. Denna studie har valt att exkludera förtäringsfasen, innehållande transport från butik till slutkonsument, då denna transportsträcka anses försumbar i relation till andra sträckor i studien, samt innebära att ett grovt antagande görs. Fasen råmaterial, dvs. frön, näringsmedel, förpackningar, vatten och odlingssubstrat, inkluderar anskaffning av råmaterial, framställning och tillverkning av material såväl som in- och utflöden tillhörande processerna, som elanvändning, resursanvändning, transport av råvaror och utsläpp till miljön. I odlingsfasen av sallatens livscykel medtas odlingssystemets elanvändning. Med avseende på elanvändningen ska det även tilläggas att den energi drivdonen använder för LED- belysningen även inkluderas inom systemgränserna, trots att dessa är placerade utanför det fysiska odlingssystemet. Sluthanteringsfasen omfattar de organiska och oorganiska material som bortskaffas av butiken eller slutkonsument, hur de hanteras och vilka utsläpp detta medför, samt den krävda transporten.

3.3 Livscykelinventering

I livscykelanalysens andra fas utformades en flödesmodell, se Fig. 1, följt av datainsamling och kvantifiering av produktsystemets in- och utflöden, både kopplat till enhetsprocesser och till referensflöde, dvs. till den funktionella enheten. Under livscykelinventeringen, förkortat LCI, kan nya begränsningar och datakrav

identifieras som därmed kräver att datainsamlingsprocedurerna modifieras för att mål med studien uppnås (ISO, 2006a).

3.3.1 Datainsamling

LCI- datan baseras på mars 2024 och har inhämtats från Swegreens digitaliserade data, avsett produktionssiffror för VOS Freja Large, integrerat i Ica Maxi Solna, vilket agerar som grund för kvantifiering av den årliga produktionen. Övriga data samlades in från Joakim Rytterborn, chefstekniker på Swegreen. En del av den övriga datan utgår från mängd per funktionell enhet för VOS Saga (Karlsson, 2023). Dessa har sedan räknats om till årlig produktion för VOS Freja i enlighet med givna faktorer (J. Rytterborn, personlig kommunikation, 19 april 2024) och den aktuella studiens funktionella enhet, vilket beskrivs och motiveras i avsnittets sista stycke. En övergripande bild av samtliga data insamlade under LCI:n redovisas i Tab. 2 och 3 nedan.

Tab. 2. Indata för VOS Freja redovisat i årliga mängder.

Indata, årliga mängder		
Infrastruktur	**Årlig mängd**	**Enhet**
Glas	**20,00**	**kg**
Metaller (Aluminium, Koppar, Järn)	**39,90**	**kg**
Legeringar (Rostfritt stål, mässing)	**91,07**	**kg**
Plaster (PVC, PE, PU)	**17,91**	**kg**
PCB	**2,15**	**kg**
Resin	**7,64**	**kg**
Drivdon	**4,42**	**kg**
Platta	**0,10**	**st**
Odlingsmaterial		
Odlingssubstrat	**384,14**	**kg**
Frön	**4,68**	**kg**
Näringsmedel		
Salter + övriga näringsämnen	**200,604**	**kg**
ph- lösning	**30,295**	**l**
Energi		
Belysning	**94746**	**kWh**
Allmän (Fläktar, pumpar, HVAC)	**110485,2**	**kWh**
Vatten		

Vatten (+ städ)	**36792**	**l**
Paketering		
Plaster (PA, PP, PE)	**495,87**	**kg**
Kartong	**85,50**	**kg**
Aluminium	**0,25**	**kg**
Transport		
Transport (VOS)	**22,06**	**tkm**
Transport (Sallat, indata)	**121,89**	**tkm**

Tab. 3. Utdata för VOS Freja redovisat i årliga mängder.

Utdata, årliga mängder		
Sluthantering	**Årlig mängd**	**Enhet**
Biologiskt avfall	**3 945,50**	**kg**
Fast avfall	**384,40**	**kg**
Plastavfall	**495,87**	**kg**
Kartongavfall	**85,50**	**kg**
Transport		
Transport (Sallat, utdata)	**122,78**	**tkm**

Som tidigare nämnt exkluderas monteringsfasen för Freja, däremot har studien antagit att konstruktion av olika delar till odlingssystemet ingår i framställning av material - som inkluderas i datan för råmaterial. PVC- trågen i Freja består av polyvinylklorid (PVC), CaZn stabilisator, modifieringsmedel, fyllmedel, smörjmedel, jäsmedel och pigment (Joakim Rytterborn, 16 april 2024, Personlig kommunikation). Trågen består till största delen av PVC (80 %) och därav antas det i denna studie att trågen endast består av PVC (100%), då de andra beståndsdelarna förekom i väldigt små mängder och inte återfanns som dataset i databasen Ecoinvent 3.8, i programvaran SimaPro som användes.

Vissa näringsmedel återfanns inte som dataset i Ecoinvent och därmed antogs dataset för liknande näringsmedel (till exempel ersattes magnesiumnitrat med magnesiumoxid), och kan avläsas i Tab. A1 i bilaga A. För natriummolybdat antogs en annan lösning, där en uppdelning av den totala mängden natriummolybdat gjordes till natrium (50%) och molybden (50%). Datan för paketering har antagits i linje med hur det ser ut för Swegreens odlingssystem Saga (Karlsson, 2023) gällande vad för material paketeringen består av och hur förfarandet ser ut, där en del

produkter skickas direkt från leverantör till butik medan en del paketeras om av Swegreen innan de når butiken. Detta med motiveringen att företaget bekräftat att det är samma typ av förpackningar för Freja som för Saga (Sepehr Mousavi, personlig kommunikation, 10 april, 2024). Med avseende på detta ska det tydliggöras att information som inhämtats från Karlsson (2023) har beräknats om enligt produktionssiffror för Freja, då de två odlingssystemen ej erhåller samma produktionskapacitet. Vidare ska tilläggas att en fysisk allokering utförts utifrån produkternas massa för näringsmedlets förpackningsmaterial, vilket beror på att Swegreen beställer näringsmedel i olika blandningar (Karlsson, 2023).

För dataset som representerar marknader, som exempelvis den europeiska marknaden, så inkluderas även transporter (SimaPro Help Center, u.å.). För dataset som representerar enstaka processer har transportdata lagts till separat, se Tab. A1 i bilaga A. För VOS- Transport, indata (Tab. A1 i bilaga A) har data för transport lagts till separat för produkten extruderad aluminium, där transportsträckan antagits vara 1900 km (Karlsson, 2023). För Sallad- Transport, indata avses transport från leverantör av färdig produkt eller material till Swegreen eller butik, där transportsträckan antagits varit densamma på 100 km (Karlsson, 2023). Slutligen, för Sallad- Transport, utdata avses transport av bortskaffat material eller produkt från Swegreen, butik eller slutkonsument till station för avfallshantering. Transportsträckan har antagits vara densamma i dessa scenarion på 25 km (Karlsson, 2023). Samma transportsträckor nyttjas för LCA av Freja som för Saga (Karlsson, 2023), vilket motiveras av den geografiska placeringen av butiken, där båda studierna utgår från en butik i Stockholm. I och med att olika typer av färdmedel förekommer för livscykelns transporter, använder denna studie ett dataset som innefattar en mix av färdmedel för samtliga transporter i studien.

Den funktionella enheten för studien avser producerade sallater som är tillgängliga för konsumenter. Däremot bortskaffas en del sallater som svinn, då de inte uppnår de krav Swegreen har på sina produkter. För mars 2024 produceras 450 st sallater om dagen som är tillgängliga för konsumenter (Sepehr Mousavi, 9 april 2024, personlig kommunikation). Data för svinn har beräknats genom att anta en generalisering, där studien utgår ifrån att 3% av den totala produktionskapaciteten svinnas i odlingsfasens slutskede (Joakim Rytterborn, 26 april 2024, Personlig kommunikation). Den svinnade sallaten antas erhålla en vikt på 130 gram, se Tab. 4. Svinnet kategoriseras som biologiskt avfall, inkluderade rötter som slutkonsument slänger. Vidare uppkommer avfall kategoriserade som fast avfall, plastavfall och kartongavfall. Studien antar att samtliga avfallstyper går till förbränning med energiåtervinning, förutom kartongavfallet. Detta utifrån motiveringen och uppfattningen av att människor generellt inte tros ta sin tid för att källsortera korrekt, alternativt att människor i brist på kunskap om hur avfall ska källsorteras, slänger sitt avfall i brännbart.

Tab. 4. Produktion av ekbladssallat för VOS Freja baserat på mars 2024, med och utan svinn.

Produktion av Ekbladssallat		
	Antal (inkl. svinn)	**Antal (exkl. svinn)**
Dag	**464,00**	**450,00**
Månad	**14 384,00**	**13 950,00**
År	**169 360,00**	**164 250,00**
Vikt för 1 st sallat (kg)		**0,16**
	Total vikt (kg)	
Dag	**74,24**	**72,00**
Månad	**2 301,44**	**2 232,00**
År	**27 097,60**	**26 280,00**

3.4 Miljöpåverkansbedömning

I livscykelanalysens tredje fas genomförs en miljöpåverkansbedömning, förkortat LCIA.

Denna fas syftar till att beräkna den potentiella miljöpåverkan hos ett produktsystem genom erhållen inventeringsdata (Baumann & Tillman, 2004). En LCIA innehåller både obligatoriska och valfria element (ISO, 2006a). De obligatoriska elementen innefattar val av miljöpåverkanskategorier, följt av klassificering och karakterisering, medan de valfria elementen i en LCIA är normalisering, viktning samt gruppering (ISO, 2006a). Det är vanligt att normalisering- och viktningsmetoder är integrerade i programvaror som används för livscykelanalyser.

3.4.1 Tillvägagångssätt/ metod för utförande av LCIA

Vid genomförandet av miljöpåverkansbedömningen användes, som tidigare nämnts, programvaran SimaPro och databasen EcoInvent 3.8. I programvaran har invärden för den funktionella enheten kopplats till olika dataset för ingående och utgående material- och processflöden. För val av dataset har inspiration hämtats från Karlsson (2023), med motivering av att det finns flertalet likheter med det VOS som studerats i det arbetet, samt att det möjliggör tydligare jämförelser mellan Swegreens odlingssystem Freja och Saga. Däremot förekommer skillnader mellan odlingssystemen, vilka presenteras i avsnitt 3.3.1 Datainsamling. I programvaran skapades två separata ihopsättningar för livscykeln av VOS respektive för sallaten, innehållande dess olika livscykelfaser. När alla flöden var inlagt i SimaPro slogs de två livscyklerna ihop till en gemensam livscykel för VOS, eftersom sallatens livscykel ingår i användningsfasen av VOS. Därefter analyserades resultaten genom

miljöpåverkanbedömningsmetoden EF 3.0 (adapted).

3.4.2 Miljöpåverkanskategorier

Under en LCIA överförs LCI- resultat till valda miljöpåverkanskategorier (miljöindikatorer) och dess kategoriindikatorer (ISO, 2006a). Eftersom ett begränsat antal miljöpåverkanskategorier inkluderas i LCA- studier, ger LCIA-resultaten ej en fullständig utvärdering av alla berörande miljöaspekter relaterade till det studerade produktsystemet (ISO, 2006a). Detta belyser vikten av att inkludera miljöpåverkanskategorier av miljömässig relevans för att ge så komplett bild som möjligt av den potentiella miljöpåverkan.

I en LCIA kan antingen midpoint- eller endpoint-indikatorer studeras för att beräkna miljöpåverkan. Midpoint- indikatorer relaterar till olika miljöproblem, såsom klimatförändringar, försurning och övergödning. Endpoint- indikatorer förbinds till tre högre aggregationsnivåer, där skada på ekosystem, mänsklig hälsa och ändliga resurser istället relateras till. En omvandling från midpoint- till endpoint-indikatorer underlättar tolkning av resultat från miljöpåverkansbedömning, samtidigt som resultatens osäkerhet ökar (Rivm, 2024).

Av alla miljöpåverkanskategorier som erhölls i EF 3.0 (adapted), valdes åtta av dessa att inkluderas i studien. De valda miljöpåverkanskategorierna är följande: ekotoxicitet (sötvatten), fossil resursanvändning, försurning, klimatförändringar, markanvändning, resursanvändning (mineraler och metaller), vattenanvändning samt övergödning (sötvatten). Vidare är dessa midpoint- indikatorer då de relaterar till olika miljöproblem. De miljöpåverkanskategorier som inkluderas i denna studie grundas på vilka påverkanskategorier som Karlsson (2023) valt att medta i sin studie. Genom att i denna studie inkludera samtliga miljöpåverkanskategorier från Karlsson (2023) blir jämförelser applicerbara mellan resultaten. Även andra tidigare studier, som presenteras i den teoretiska referensramen, har inkluderat de flesta av dessa miljöpåverkanskategorier, varav de anses relevanta för livscykelanalyser av vertikala odlingar.

3.4.3 Klassificering och karakterisering

Efter val av miljöpåverkanskategorier klassificeras LCI- datan från respektive enhetsprocess till gemensamma flöden, såsom energiflöden, råmaterialflöden samt flöden för produkter och avfall (ISO, 2006a). Vidare grupperas LCI- resultaten till miljöpåverkanskategorier, beroende på vilka utsläpp ämnena/materialen orsakar. Om ett och samma material/ ämne bidrar till flera typer miljöpåverkan placeras denna i fler miljöpåverkanskategorier (Baumann & Tillman, 2004).

När LCI- datan klassificerats till respektive miljöpåverkanskategori utförs karakterisering (ISO, 2006a). Under karakterisering kvantifieras mängder av utsläpp

och resurser för de valda miljöpåverkanskategorierna, som erhåller kategoriindikatorer. Kvantifiering utförs genom att omvandla emissionsmängder till kategoriindikatorernas gemensamma enhet, vilket uttrycks i ekvivalenter (Baumann & Tillman, 2004). Vanligtvis används generella karakteriseringsfaktorer framtagna av internationella auktoriteter. Att nyttja generella faktorer vid beräkning innebär att LCIA- resultaten inte är kopplade till specificerad tid eller geografisk plats. På grund av viss osäkerhet hos en del karakteriseringsmetoder är det därför potentiell miljöpåverkan som beräknas i en LCA (SLU, 2022). För en del miljöpåverkanskategorier, såsom global uppvärmning och uttunning av ozonskiktet, sker påverkan däremot i global skala, vilket innebär att tid och plats för utsläpp inte har någon betydelse för resultatet (Baumann & Tillman, 2004). Genom att uttrycka emissioner i ekvivalenter för vardera kategoriindikator möjliggörs jämförelser inom de olika miljöpåverkanskategorierna, vilket påvisar vilket ämne för respektive kategori som har störst bidragande miljöpåverkan.

Både klassificering och karakterisering utfördes av programvaran SimaPro vid analys av livscykeln.

3.4.4 Normalisering och viktning

Vid normalisering jämförs erhållna resultat från miljöpåverkanskategorier med referensvärden, vilket syftar till att förstå resultatens relativa betydelse på ett tydligare sätt. Normalisering genomförs genom att dela indikatorresultaten med valda referensvärden, vilket innebär att indikatorresultaten kan omvandlas till en procentuell utsläppsmängd. Valda referensvärden kan exempelvis ha en geografisk avgränsning på lokal, nationell eller global nivå, där värden för in- och utflöden sammanställs (ISO, 2006b). Genom viktning värderas de valda miljöpåverkanskategorierna efter uppskattad betydelse genom numeriska faktorer (ISO, 2006b). Eftersom viktning baseras på värderingsval, saknar detta element en naturvetenskaplig grund (ISO, 2006a).

För vald LCIA- metod inkluderades en uppsättning av normalisering- och viktningsfaktorer i SimaPro. Denna uppsättning var direkt ansluten till EF 3.0 (adapted).

3.5 Tolkning

I livscykelanalysens fjärde fas tolkas erhållna resultat från både livscykelinventering och miljöpåverkansbedömning. Resultat i denna fas bör överensstämma med studiens definierade mål och omfattning, där även begränsningar, rekommendationer och slutsatser beskrivs. Vidare utvärderas LCA- resultatens trovärdighet genom bland annat kontroll av känslighet och fullständighet (ISO, 2006a).

I denna studie har resultatens tillförlitlighet utvärderats genom att applicera två känslighetsanalyser. Detta syftar till att identifiera om resultatets utfall blir signifikant förändrad av att studera alternativa scenarion för produktsystemets dataflöden. De två känslighetsanalyser som inkluderas i denna studie utvärderar alternativa scenarion för energiproduktion och för sluthantering. För energiproduktionen ersattes svensk elmix med nordisk elmix. Valet att studera ett alternativt scenario för energiproduktion motiveras av vertikala odlingars beroende av energitillförsel till systemets tekniska komponenter (Graamans et al., 2017). Vidare varierar energikällor och mängden fossila bränslen som nyttjas, beroende på geografisk plats (Ekonomifakta, 2024). För det biologiska avfallet ersattes avfallshateringsscenariot förbränning med rötning. Att studera ett alternativt scenario för avfallshantering motiveras av att miljöpåverkan för olika avfallshanteringsprocesser varierar (Avfall Sverige, 2022b). Alternativa avfallshanteringsscenarion för biologiskt avfall är rötning och kompostering. Eftersom rötning både utnyttjar energin och näringen i det biologiska avfallet, anses denna avfallshantering mer fördelaktigt att nyttja i jämförelse till kompostering. Vidare anses oftast rötning vara mer resurseffektivt än förbränning, då både biogas och biogödsel uppstår under rötningsprocessen (Livsmedelsverket, 2013). Valet att studera alternativa avfallshanteringsscenarion för specifikt det biologiska avfallet grundar sig på motiveringen att mängden uppstått avfall under livscykeln till övervägande del består av biologiskt avfall, se Tab. 3.

4. Resultat och analys

I detta avsnitt redovisas och analyseras resultat från livscykelanalysen och känslighetsanalysen utifrån de frågeställningar som studien ämnar besvara. Resultaten redovisas utifrån den funktionella enheten, 1 kg producerad ekbladssallat tillgänglig för konsumenter.

4.1 Livscykelanalys

4.1.1 Total potentiell miljöpåverkan

Den totala potentiella miljöpåverkan för det studerade produktsystemet, från 'vagga till användning', presenteras i Tab. 5 nedan.

Tab. 5. Total potentiell miljöpåverkan fördelat mellan de studerade miljöpåverkanskategorierna.

Påverkanskategori	Mängd	Enhet
Ekotoxicitet, sötvatten	26,20	CTUe
Fossil resursanvändning	48,69	MJ
Försurning	2,59×10^−03	mol H+ eq
Klimatförändringar	5,31×10^−01	kg CO2eq
Markanvändning	11,29	Pt
Resursanvändning, mineraler och metaller	1,41×10^−05	kg Sb eq
Vattenanvändning	0,68	m3 depriv.
Övergödning, sötvatten	1,94×10^−04	kg P eq

4.1.2 Faser och flöden i livscykeln

Resultaten från livscykelanalysen av Freja visar att odlingsfasen orsakar störst miljöpåverkan i samtliga påverkanskategorier, förutom resursanvändning (mineraler och metaller), se Fig. 6 samt Tab. B1 i bilaga B. Som tidigare nämnt, ingår odlingssystemets elförbrukning i denna fas, vilket förklarar sambandet till att energi är det flöde som bidrar främst till miljöpåverkan, i Fig. 7. Odling, och därmed energi, dominerar markant i påverkanskategorierna fossil resursanvändning, markanvändning och vattenanvändning, se Fig. 6 och 7. Vilket kan förklaras sett till de stora mängder fossila resurser, markytor och vatten som krävs för producera energi i Sverige via till exempel vattenkraft, vindkraft och andra typer av verk som kräver en hel del infrastruktur. Den enda påverkanskategorin som odling och energi inte dominerar är resursanvändning, mineraler och metaller, då VOS- råmaterial och därmed infrastruktur istället är mest betydande, se Fig. 6 och 7 samt Tab. B1 och B2 i bilaga B. Att råmaterial till infrastrukturen är dominerande i denna

påverkanskategori beror på den stora mängd metaller som behövs för att bygga Freja, se Tab. A1 i bilaga A.

Fasen för sallatens råmaterial orsakar näst störst miljöpåverkan i samtliga påverkanskategorier, förutom för resursanvändning (mineraler och metaller), se Fig. 6. Denna fas inkluderar de olika flödena paketering, odlingsmaterial, näringsmedel och vatten, vars miljöpåverkan redovisas i Fig. 7, där paketering och näringsmedel konkurrerar med infrastruktur som det flöde som orsakar näst störst miljöpåverkan i alla påverkanskategorier, förutom klimatförändringar och vattenanvändning. I påverkanskategorin vattenanvändning är det flödet vatten som är näst störst, se Fig. 7, vars förklaring är självförklarlig. Både för fas och flöde är sluthantering den mest betydande bidragaren till miljöpåverkan, bortsett från odling och energi, i påverkanskategorin klimatförändringar. Att denna fas och flöde orsakar stor miljöpåverkan relaterat till klimatförändringar, kan bero på den sluthanteringsmetod som studien har utgått ifrån, för alla avfallsslag förutom kartong, det vill säga förbränning.

Vidare framhåller resultaten i Fig. 6 och 7, att transport orsakar minst miljöpåverkan i samtliga påverkanskategorierna, både som fas och flöde. Med hänsyn till detta bör det understrykas att all transport som förekommer i odlingssystemets livscykel, och därmed sallatens livscykel, inte räknas in i fasen och flödet för transport. Majoriteten av den transport som sker är redan inkluderade i dataset tillhörande andra faser, vilket kan vara anledningen till att transport resulterar som den fas och flöde som orsakar minst miljöpåverkan.

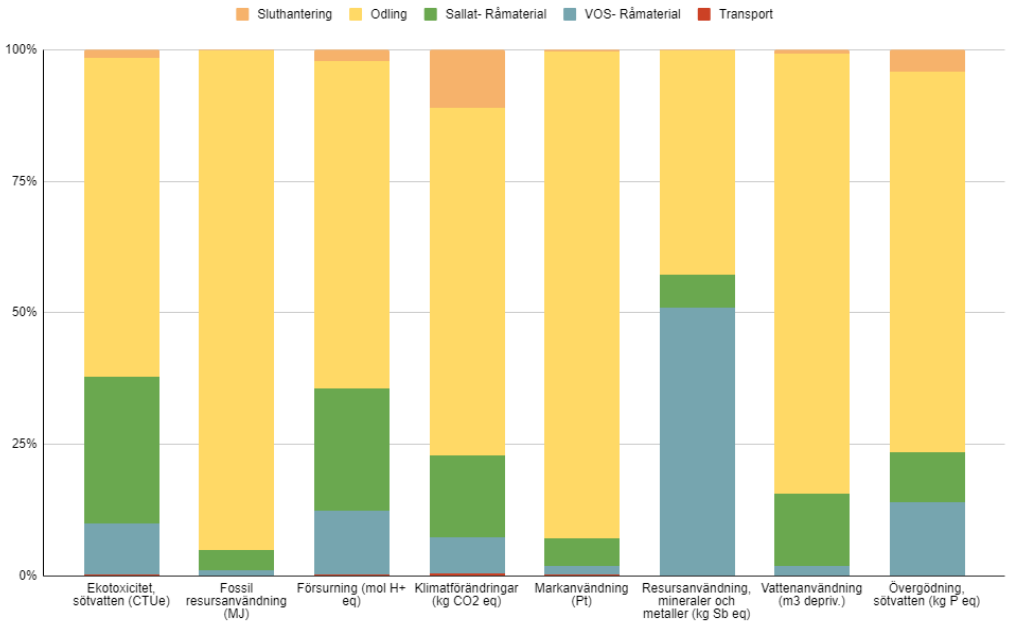

Fig. 6. Fördelning av livscykelns olika faser i de olika påverkanskategorierna.

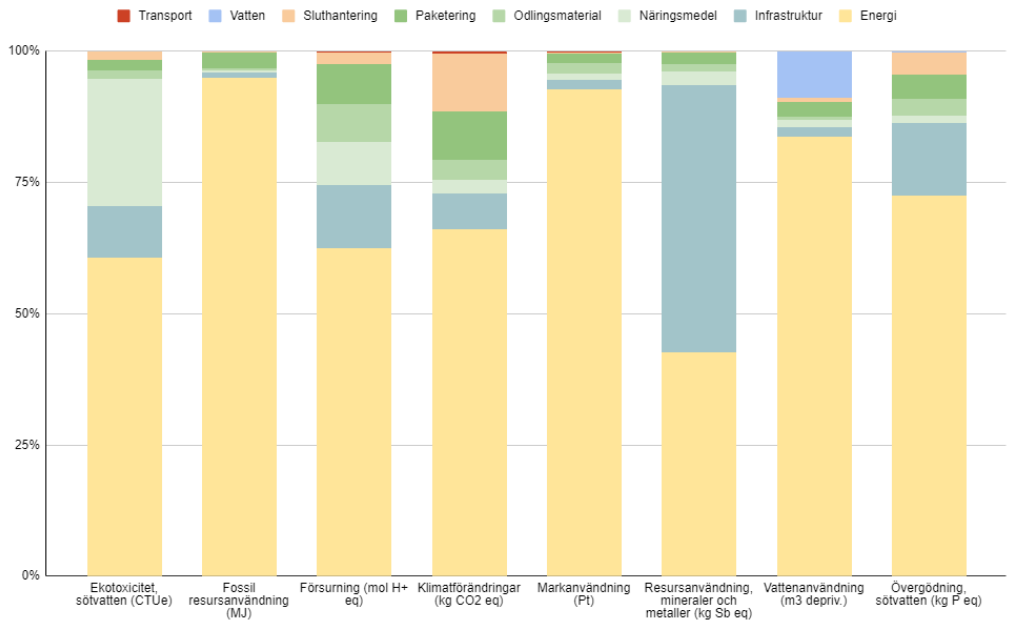

Fig. 7. Fördelning av de olika flödena i livscykeln i påverkanskategorierna.

4.2 Känslighetsanalys

4.2.1 Energiproduktion

Genom att ersätta svensk elmix med nordisk elmix, under odlingsfasen för sallaten, identifieras viss skillnad i utsläppsmängder för de studerade miljöpåverkanskategorierna, se Fig. 8. Utsläppsmängderna redovisas i Tab. C1 i bilaga C. Den markanta skillnaden återfinns i miljöpåverkanskategorin fossil resursanvändning, där utsläppsmängderna för svensk elmix är störst. I denna miljöpåverkanskategori är, som tidigare nämnt, energi det flöde som dominerar markant. Därav innebär en övergång till nordisk elmix en drastisk minskning för de totala utsläppsmängderna för den specifika miljöpåverkanskategorin. För ekotoxicitet (sötvatten) och markanvändning står den svenska elmixen för större andel utsläpp än för den nordiska elmixen. Hos dessa tre miljöpåverkanskategorier är skillnaderna mellan vald elmix som störst. För övriga miljöpåverkanskategorier anses skillnaderna mellan svensk och nordisk elmix vara obetydande sett ut ett helhetsperspektiv, med anledning av att utsläppsmängderna för dessa miljöpåverkanskategorier i princip är försumbara i jämförelse med fossil resursanvändning, ekotoxicitet (sötvatten) och markanvändning. Utsläppsmängder för nordisk elmix är större för miljöpåverkanskategorierna klimatförändringar och försurning.

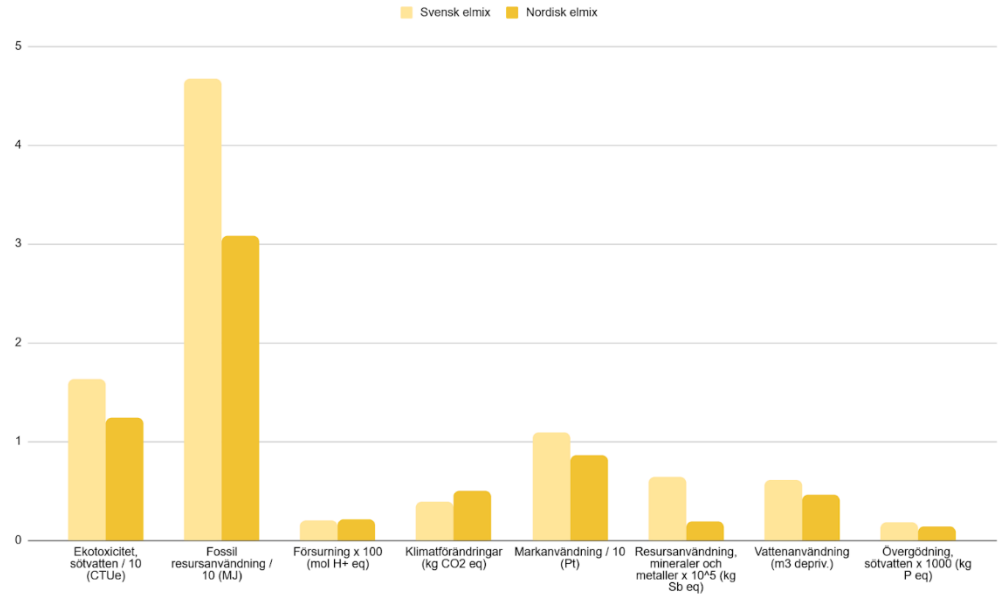

Fig. 8. Utsläppsmängder för samtliga miljöpåverkanskategorier då svensk elmix ersätts med nordisk elmix, endast för elanvändning under odlingsfasen.

4.2.2 Avfallshantering

Vid utbytt avfallshanteringsscenario, från förbränning till rötning för biologiskt avfall, kan olikheter mellan scenarierna identifieras. I Fig. 9 redovisas att den signifikanta olikheten återfinns i miljöpåverkanskategorin ekotoxicitet (sötvatten), där mängden utsläpp nästintill är dubbelt så stora för rötningsscenariot. Däremot är samtliga utsläppsmängder för sluthanteringsfasen, i relation till total potentiell miljöpåverkan, så låg att skillnaderna för ekotoxicitet (sötvatten) kan anses vara försumbara. Med detta som argument blir även skillnaderna mellan förbränning och rötning för övriga miljöpåverkanskategorier försumbara, med anledning av att utsläppsmängderna för dessa är minimala, se Fig. 9 samt Tab. C2 i bilaga C. Större utsläppsmängder för scenariot förbränning identifieras hos miljöpåverkanskategorierna försurning, vattenanvändning samt övergödning (sötvatten). För avfallsscenariot rötning påvisas större utsläppsmängder för miljöpåverkanskategorierna ekotoxicitet (sötvatten), fossil resursanvändning, klimatförändringar, markanvändning, resursanvändning (mineraler och metaller), se Tab. C2.

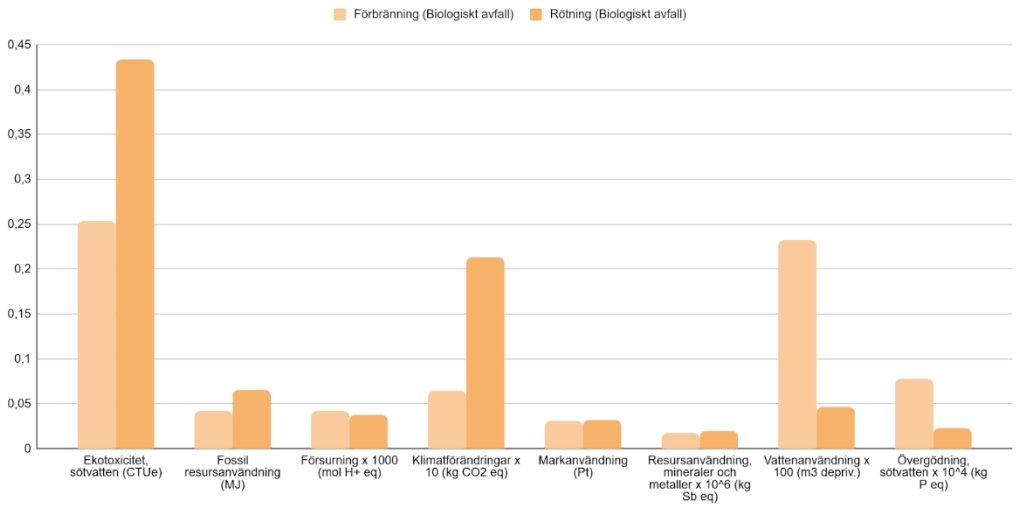

Fig. 9. Utsläppsmängder för samtliga miljöpåverkanskategorier då förbränning av biologiskt avfall ersätts med rötning.

5. Diskussion och slutsats

I detta avsnitt diskuteras studiens resultat av livscykelanalys och känslighetsanalys, samtidigt som resultaten jämförs med tidigare studier för att identifiera likheter och olikheter. Vidare diskuteras möjliga tillämpningar för framtida studier, följt av studiens slutsats.

5.1 Livscykelanalys

Total potentiell miljöpåverkan för valt VOS under mars 2024 redovisar sammanställd miljöpåverkan från livscykelns inkluderade faser, se Tab. 5. Det finns flera aspekter som kan påverka resultatets utfall, exempelvis vilken data som finns att tillgå och vad som kräver antaganden för att komplettera saknade data. Eftersom Swegreens data finns digitaliserat har studien en hög reliabilitet samt validitet. Som ovan nämnt, utgår studien från data för mars 2024, vilket innebär att siffrorna inte kan appliceras för alla årets månader, då variationer förekommer. Däremot framkom det att skillnaderna i elanvändning anses minimala och därav försumbara för resultatets utfall, vilket stärker studiens validitet. Om studien upprepas vid senare tillfälle kommer resultaten bli densamma, förutsatt att data för mars 2024 nyttjas. Vidare är studiens reproducerbarhet hög i och med att mängder per funktionell enhet samt valda dataset finns redovisade i Tab. A1 i bilaga A.

Den valda funktionella enheten 1 kg ekbladssallat påverkar resultatet i den mening att det i verkligheten odlas varierande sorter av grödor och sallater för studerat VOS. Detta innebär framförallt en annan årlig vikt, vilket kopplas tillbaka till beräkning av funktionell enhet. Eftersom odlingssystemet i denna studie innefattar perspektivet ‘vagga till användning’, innebär detta att den potentiella miljöpåverkan från hela livscykeln, från ‘vagga till grav’, skulle generera en högre potentiell miljöpåverkan. Det bör även belysas att den totala potentiella miljöpåverkan som presenteras i denna studie ej kan appliceras för alla vertikala odlingssystem, detta innefattar även Swegreens vertikala odlingssystem Freja. Detta med anledning att materialflöden och uppbyggnad för vertikala odlingssystem högst sannolikt varierar. Eftersom VOS Freja inte endast finns integrerat i Stockholmsregionen, kommer transportsträckor variera beroende på placering av butik.

Den fas under livscykeln som orsakar störst utsläpp för samtliga miljöpåverkanskategorier, förutom för resursanvändning (mineraler och metaller), är odlingsfasen för sallaten, där energi tillförs systemet. Som studien tidigare belyst antas elanvändning under mars 2024 samt svensk elmix, innehållande både förnybara och fossila energikällor. Det bör påpekas att de energikällor som nyttjas i varje enskilt fall varierar mellan Swegreens kunder. S. Mousavi framhäver däremot att flera av deras kunder inom de större livsmedelskedjorna, såsom ICA, Hemköp och

Coop, använder förnybara energikällor (personlig kommunikation, 26 februari, 2024). Detta innebär däremot inte att växthusgasutsläppen således hade blivit lägre, ifall dataset för endast förnybara energikällor beaktats i studien. Elanvändningen är det flöde som även för andra studier är den främsta bidragande faktorn till den totala potentiella miljöpåverkan (Martin & Molin, 2019; Barge 2020; Farkhondehmonfared, 2022; Parkes et al., 2022: Karlsson, 2023). Däremot är det möjligt att signifikant minska miljöpåverkan genom att optimera elförbrukningen och tillämpa symbiotiska utbyten (Martin & Molin, 2019; Martin et al., 2019; Barge, 2020; Farkhondehmonfared, 2022; Karlsson, 2023).

Vidare står råmaterialfasen för sallaten i denna studie för näst störst utsläpp för samtliga miljöpåverkanskategorier förutom för resursanvändning (mineraler och metaller), där istället råmaterial för VOS, dvs. infrastruktur, är störst. För sallatens råmaterial har flöden för paketering, odlingsmaterial (odlingssubstrat och frön), näringsmedel och vatten inkluderats. För tidigare studier dominerade, förutom elektricitet, flödena förpackningsmaterial (Martin & Molin, 2019; Karlsson, 2023), odlingssubstrat och transporter (Martin & Molin, 2019), infrastruktur (Barge, 2020; Karlsson, 2023), frön (Parkes et al., 2022) samt gödningsmedel och avfallshantering (Karlsson, 2023). Genom att jämföra resultaten kan slutsatsen dras att majoriteten av de betydande flödena som identifieras hos tidigare studier, såsom förpackningsmaterial, odlingssubstrat, frön och näringsmedel, ingår i denna studies råmaterial för sallaten, som även den var betydande. Att avfallshantering identifierades som betydande för studien utförd av Karlsson (2023) beror på att studien inkluderat avfallshantering för de komponenter som behöver bytas ut under livscykeln för VOS, samtidigt som mängden svinn antagits vara 6,6% av totala produktionskapaciteten. För tidigare studie av Karlsson (2023) framhölls att flödet infrastruktur hade betydande påverkan för odlingssystemet Saga. Eftersom Saga är en mindre modell av Swegreens odlingssystem, faller det naturligt att det således speglar resultaten i denna studie.

Transportflödet är det flöde som genererar minst mängd utsläpp, vilket överensstämmer med resultatet i tidigare studie, Karlsson (2023). Detta samband beror på att samtliga transportsträckor i denna studie baserats på de sträckor erhållna i Karlsson (2023). Som tidigare nämnt inkluderas ej alla förekommande transporter under livscykeln till transportfasen. Detta, som tidigare förklarats, beror på att vissa transporter var inräknat i andra dataset och därför inte synliggjordes i resultaten.

5.2 Känslighetsanalys

5.2.1 Energiproduktion

Känslighetsanalysen av energiproduktionen visar att användningen av nordisk elmix för odlingssystemet Freja genererar större utsläpp i miljöpåverkanskategorin klimatförändringar (CO_2e), jämfört med användningen av svensk elmix. Detta kan förklaras genom en närmare granskning av energikällorna och deras fördelning i den nordiska respektive svenska elmixen. Den svenska elproduktionen domineras till övervägande del av kärnkraft och vattenkraft, som tillsammans utgör drygt två tredjedelar av den totala produktionen (Energimyndigheten, 2024a; Papageorgiou et al., 2020). Vidare betonar Papageorgiou et al. (2020) att vattenkraft och kärnkraft, som är dominerande i den svenska elmixen, har låga koldioxidavtryck. Något som kan förklara de lägre utsläppen i miljöpåverkanskategorin klimatförändringar vid användning av svensk elmix. Därutöver använder den nordiska elproduktionen en större andel kraftvärmeverk (Energimyndigheten, 2024b). Enligt Energiföretagen (2023) är kraftvärmeverk en betydande källa till koldioxidutsläpp, framförallt på grund av förbränning av fossila bränslen. Däremot i Norden, och således Sverige, används stor andel förnybara bränslen i dessa kraftverk (Energiföretagen, 2022; Energiföretagen, 2023). Viktigt att notera är att även förnybara bränslen, såsom biobränslen, ger upphov till koldioxidutsläpp (Naturskyddsföreningen, 2021b). Med hänsyn till detta bör det även tilläggas att koldioxid som genereras från förnybara bränslen inte redovisas, detta utifrån förutsättningen att koldioxiden tas upp av skogen inom 100 år (EPA, 2024; Naturvårdsverket, u.å) Sammanfattningsvis kan detta vara en ytterligare förklaring för skillnaden mellan svensk och nordisk elmix i miljöpåverkanskategorin klimatförändringar.

Karlsson (2023) fann liknande resultat kring att använda svensk eller nordisk elmix för Swegreens vertikala odlingssystem Saga. Resultaten från studien fann det mer fördelaktigt att använda svensk elmix, då den medför lägre koldioxidutsläpp (Karlsson, 2023). Med detta i åtanke och resultaten för kategorin klimatförändringar i denna studie, finns det risk att en slutsats dras om vilken elmix som bör användas. Därav är det betydelsefullt att belysa resultaten från flera miljöpåverkanskategorier, som gjorts i denna studie.

I kategorierna fossil resursanvändning, ekotoxicitet (sötvatten) och markanvändning genererar nämligen den svenska elmixen större utsläppsmängder än den nordiska. Resultatet antas kunna förklaras av flera faktorer, återigen relaterade till sammansättningen och egenskaperna hos de olika elmixarna. Att den svenska elmixen är större i kategorin markanvändning kan bero på den andelen kärnkraft som den svenska elmixen består av. Då kräver både stora markytor i avseende på urangruva och tillhörande lagringsanläggning samt kärnkraftsanläggning och

slutförvaring för radioaktivt avfall (IVA, 2002), liknande resonemang kan även tänkas gälla för vattenkraften. Att den svenska elmixen domineras av bland annat kärnkraft kan även vara bidragande till att den erhåller större utsläpp i kategorin fossil resursanvändning, än nordisk elmix. Då utvinning av uran inte förekommer i Sverige utan bedrivs i andra länder, där fossila bränslen används för att producera den el som behövs i processerna både för anrikning och gruvdriften (IVA, 2002; Naturvårdsverket, 2023). Vidare framför IVA (2002) att kärnkraften producerar radioaktivt avfall som kan ha långsiktiga ekotoxiska effekter på sötvattensmiljöer om avfallet inte hanteras korrekt, vilket i denna studie kan vara en anledning kring resultatet i kategorin ekotoxicitet (sötvatten) i känslighetsanalysen. Den nordiska elmixen, med en högre andel förnybara energikällor som vind- och vattenkraft och mindre andel kärnkraft, minskar riskerna i denna kategori avsevärt (Energimyndigheten, 2024b; IVA, 2002). Sammanfattningsvis bidrar diversifieringen av förnybara energikällor i den nordiska elmixen till lägre mängder i miljöpåverkanskategorierna fossil resursanvändning, minskad ekotoxicitet och en effektivare markanvändning.

Sett till endast klimatpåverkan är svensk elmix mer förmånligt när utsläpp från elanvändning beräknas för odlingssystemet Freja, medan det i andra kategorier som nämns ovan inte är det. Med avseende på dessa resultat från känslighetsanalysen, samt att svensk elmix användes för grund- LCA:n i denna studie, ska det även tilläggas en del resonemang. Enligt Sandgren & Nilsson (2021) är nordisk elmix en vanlig systemgräns i miljöbedömningar av el ur ett bokföringsperspektiv, medan svensk elmix eller ursprungsmärkt el är vanligare i livscykelanalyser för produkter (Sandgren & Nilsson, 2021). Denna skillnad beror delvis på att överföringskapaciteten mellan de nordiska länderna och övriga Nordeuropa har byggts ut avsevärt de senaste åren, vilket gör att import och export av el mellan länderna måste beaktas för att få en korrekt bild av klimatpåverkan (Sandgren & Nilsson, 2021). Sandgren & Nilsson (2021) har fastslagit att den nordiska elmixen för bäst representerar verkligheten, då den tar hänsyn till import och export av el mellan de nordiska länderna och andra angränsande regioner. Att använda nordisk elmix kan därför ge en mer omfattande och realistisk bild av klimatpåverkan än att enbart fokusera på svensk elmix, särskilt med tanke på den ökade integrationen av elmarknaderna.

Förutsatt att svensk elmix ändå används i beräkningar, som i denna studie, anser författarna att det är viktigt att uppmärksamma geografiska och tidsmässiga variationerna i elproduktionen inom Sverige. Papageorgiou et al. (2020) visar att det finns betydande skillnader i utsläppsfaktorer och marginalutsläppsfaktorer mellan de olika elområdena i Sverige, som innebär att en elproduktion i olika områden erhåller olika klimatpåverkan. En ytterligare aspekt som Papageorgiou et al. (2020) betonar är vikten av att inkludera elhandel i beräkningarna av utsläppsfaktorer, då

elområdena i Sverige importerar olika mycket el.

5.2.2 Sluthantering för biologiskt avfall

Känslighetsanalysen för avfallshanteringsscenarion visar på att förbränning av biologiskt avfall har högre andel utsläpp för miljöpåverkanskategorierna försurning, vattenanvändning och övergödning (sötvatten). Enligt datasetbeskrivning i Ecoinvent innefattar valt dataset både kortvariga avfallsspecifika utsläpp till vatten från bildat lakvatten, samt långsiktiga utsläpp till grundvatten från deponi. Anledningen till att deponi inkluderas i valt dataset beror på att det under förbränningsprocessen uppstår biprodukter, så kallade rökgasrester. Då rökgasresterna stabiliserats hamnar det på deponi, men kan även användas som neutraliseringsmedel vid återfyllning av gruvor och täkter (Avfall Sverige, 2022a). Både de kortvariga avfallsspecifika utsläppen, samt de långsiktiga utsläppen till grundvatten påverkar vattenkvaliteten. Detta relateras således till miljöpåverkanskategorierna försurning, vattenanvändning samt övergödning (sötvatten).

För de resterande miljöpåverkanskategorierna ekotoxicitet (sötvatten), fossil resursanvändning, klimatförändringar, markanvändning, resursanvändning (mineraler och metaller) orsakade istället rötning av biologiskt avfall störst utsläppsmängd jämfört med förbränning. Enligt datasetbeskrivning i Ecoinvent innefattar valt dataset energibehov för att driva en anaerob reningsanläggning, processutsläpp och den infrastruktur som krävs till rötningsanläggningar, vilket kan tänkas vara en bidragande faktor till resultaten. Detta i relation till att valt dataset representerar den globala marknaden, exklusive Schweiz, vilket gör att miljöpåverkan från en rötningsanläggning i Sverige troligtvis ej återspeglas i detta fall. En vidare förklaring till att rötning genererar större utsläppsmängd i påverkanskategorin klimatförändringar är att metangas kan läckas ut vid huvudprocessen (Naturvårdsverket, 2003). Metan är en mer kraftig gas än koldioxid, där dess påverkan blir 28 gånger större än för samma mängd koldioxid (Naturskyddsföreningen, 2021a).

Gemensamt för de två avfallsscenarierna är att de båda ger upphov till värdefulla produkter, vars nytta ej inkluderats i valda dataset och således inte räknas med i produktsystemets livscykel. Detta är således något som påverkar utfallet av känslighetsanalysen. Förbränning ger upphov till värme samtidigt som rötning ger upphov till biogas och biogödsel. Skulle dessa nyttor inkluderas i produktsystemets livscykel hade resultaten högst troligt sett helt annorlunda ut. En av de främsta fördelarna med rötning som avfallshanteringsprocess är just nyttan och miljövinsten av att använda biogas och biogödsel istället för fossila bränslen för transporter. Detta kan således göra att utsläppsmängderna för rötningsscenariot blir missvisande i relation till den faktiska nyttan som blir av att ersätta fossila bränslen. Beroende på

vilken miljöpåverkanskategori som studeras och anses vara av högst relevans, visar utsläppsskillnaderna i resultat att både förbränning och rötning kan vara att föredra.

5.3 Framtida studier

De kunskapsluckor, som tidigare nämnts, skapar ett behov av att ytterligare studier och forskning bedrivs inom vertikal odling. Flera tidigare studier inom området, vilka har presenterats i denna rapport, belyser vikten av att implementera synergier för att minska den totala potentiella miljöpåverkan från vertikala odlingssystem. Exempel på synergier som framtida studier kan undersöka vidare är att tillgodogöra sig spillvärme från systemet, använda gödselmedel från urbana restflöden eller koldioxidavskiljning från omgivande utrymmen med hjälp av det vertikala odlingssystemet. Förslagsvis anser författarna till den aktuella studien även att aspekten, om biprodukter eller uppstått avfall från både odlingssystem och butik kan nyttjas för att minska den totala miljöpåverkan, skulle vara möjligt att undersöka närmare.

Möjligheterna för vad framtida studier kan behandla är många, men författarna vill även redogöra för ett mer specifikt förslag på forskningsfråga som kan undersökas i ett arbete av andra högskole- eller universitetsstudenter. Karlsson (2023) analyserade miljöprestandan kring att använda överskottsvärmen från odlingssystemet till att värma upp luften i omgivande butik, vilket har implementerats hos Swegreens kunder i dagsläget - exempelvis hos Ica Maxi Solna. Med avstamp i detta skulle det vara intressant att undersöka ett scenario där överskottsvärmen istället används till att uppvärmning av tappvarmvatten, för att identifiera vilket alternativ som blir mest fördelaktigt sett till produktsystemets totala potentiella miljöpåverkan.

Det framtida arbetet föreslås ta inspiration från beräkningar av Karlsson (2023) för den mängd överskottsvärme som odlingssystemet genererar, med hänsyn till den modellen av vertikalt odlingssystem arbetet ämnar undersöka. Skulle modellen Freja Large vara av intresse, med samma förutsättningar som för den aktuella studien, kan beräkningar för överskottsvärme utföras på ett liknande sätt. Vidare bör det framhållas att uppvärmning av tappvarmvatten i befintlig butik kräver möjliga fysiska och tekniska lösningar, verkningsgraden hos de tekniska komponenterna, ingående och utgående temperatur på vattnet etc. Detta i kombination med att författarna i sitt arbete omfattande 15 hp och 10 veckor inte hann undersöka scenariot, rekommenderas forskningsfrågan för ett arbete omfattande 30 hp. Vidare rekommenderas det att flertalet genomgående besök utförs på tänkt butik för att erhålla en bild av de förutsättningar som existerar, men även var och hur en framtagen fysisk lösning kan implementeras.

5.4 Slutsats

Sammanfattningsvis finns flera aspekter som påverkar utfallet för den totala potentiella miljöpåverkan från Swegreens vertikala odlingssystem Freja, integrerat i livsmedelsbutiken ICA Maxi. Studiens valda funktionella enhet påverkar resultaten i bemärkelsen att odlingssystemet i verkligheten odlar varierande sorter sallater och örter. Vidare antas perspektivet 'vagga till användning', vilket innebär att alla faser inte inkluderats i studien. Erhållna resultat kan ej generaliseras till andra vertikala odlingssystem, då parametrar varierar mellan produktsystemen. Den fas som genererar mest utsläpp för samtliga miljöpåverkanskategorier, förutom för resursanvändning (mineraler och metaller), är odlingsfasen för sallaten, inkluderat i användningsfasen för VOS. Det flöde som innefattas i odlingsfasen är elanvändningen, vilket gör det till en hotspot hos produktsystemet. Vidare identifieras betydande miljöpåverkan även för råmaterialfasen för sallat, vilket inkluderade flöden för paketering, odlingssubstrat, frön, näringsmedel och vatten. Flödet för transporter genererar lägst miljöpåverkan, vilket förmodas bero på både antaganden för transportsträckor och inkluderade marknadsbaserade dataset i databasen EcoInvent.

Studiens känslighetsanalys visar att ersättning av svensk elmix med nordisk elmix medför utsläppsminskningar för miljöpåverkanskategorierna ekotoxicitet (sötvatten), fossil resursanvändning, markanvändning, resursanvändning (mineraler och metaller), vattenanvändning samt övergödning (sötvatten). Däremot ökar istället utsläppsmängderna för miljöpåverkanskategorierna försurning och klimatförändringar. Eftersom elanvändning är en hotspot hos produktsystemet, blir dessa utsläppsskillnader väsentliga för studiens totala potentiella miljöpåverkan. Analysen av alternativa avfallsscenarion finner att förbränningsscenariot genererar högre utsläppsmängder för miljöpåverkanskategorierna försurning, vattenanvändning och övergödning (sötvatten), medan resterande fem miljöpåverkanskategorier har högre utsläppsmängder för rötningsscenariot. Den tydligaste skillnaden identifierades i miljöpåverkanskategorin ekotoxicitet (sötvatten), som nästintill fördubblades för rötningsscenariot jämfört med förbränningsscenariot, även om denna ökning var försumbara i relation till den totala miljöpåverkan. På grund av detta blir även skillnaderna för resterande miljöpåverkanskategorier försumbara.

Tidigare studier belyser vikten av att utnyttja synergier för att effektivisera och optimera dagens vertikala odlingar. Eftersom elanvändningen är den fas som bidrar mest till den totala miljöpåverkan, bör olika uppvärmningsscenarion av systemets överskottsvärme studeras och jämföras i framtida studier. Detta för att förbättra produktsystemets miljöprestanda.

Referenser

Alotaibi, H., Karsou, W., Khan, S., Tohmeh, S., Bashar, A. (2023). Bustani: A microcontroller-based automated hydroponic vertical farming solution. *IEEE International Conference on Agrosystem Engineering, Technology & Applications (AGRETA)*. https://doi.org/10.1109/AGRETA57740.2023.10262605

Arcasi, A., Mauro, A. W., Napoli, G., Tariello, F., & Vanoli, G. P. (2023). Energy and cost analysis for a crop production in a vertical farm. *Applied Thermal Engineering*, *239*, artikel 122129. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.122129

Avfall Sverige. (2022a). *Energiåtervinning*. https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/avfallsbehandling/energiatervinning/

Avfall Sverige. (2022b). *Återvinning gör avfall till resurs.* https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/avfallsbehandling/

Barge, U. (2020). Analyzing the environmental sustainability of an urban vertical hydroponic system. [Examensarbete, Uppsala Universitet]. *Institutionen för geovetenskaper*. DiVA. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1463503/FULLTEXT01.pdf

Baumann, H., & Tillman, A. (2004). The hitch hiker´s guide to LCA- An orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur.

Eden Green Technology. (u.å.). *Profitability in vertical farming: challenges and solutions.* https://www.edengreen.com/blog-collection/is-a-vertical-farming-business-profitable

Ekonomifakta. (2024). *Elproduktion- internationellt*. https://www.ekonomifakta.se/Fakta/elfakta/energiproduktion/Elproduktion/

Energiföretagen. (2022). *Guide för allokering i kraftvärmeverk och fjärrvärmens elanvändning 2022.* https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/fjarrvarme/miljovardering-av-fjarrvarme/hjalp-vid-berakning/guide-for-allokering-i-kraftvarmeverk-och-fjarrvarmens-elanvandning-2022.pdf

Energiföretagen. (2023). *Kraftvärme*. https://www.energiforetagen.se/energifakta/kraftvarme/

Energimyndigheten. (2024a). *Minskad elanvändning och elproduktion under 2023*. https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/minskad-elanvandning-och-elproduktion-under-2023/

Energimyndigheten. (2024b). *Nuläget på elmarknaden*. https://www.energimyndigheten.se/49951e/globalassets/om-oss/lagesrapporter/elmarknaden/2024/nulaget-pa-elmarknaden_april_2024.pdf

EPA. (2024). *Understanding Global Warming Potentials*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-skogen/biogena-koldioxidutslapp-och-klimatpaverkan/

Europeiska kommissionen. (u.å.). *Klimatförändringarnas konsekvenser*. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_sv

Farkhondehmonfared, N. (2022). Industrial symbiosis of vertical hydroponic farming system at Swegreen. [Examensarbete, KTH]. *Hållbar utveckling, miljövetenskap och teknik*. DiVA. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1660791/FULLTEXT01.pdf

Graamans, L., Baeza, E., Dobbelsteen, A. V. D., Tsafaras, I., & Stanghellini, C. (2017). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural systems*, *160*, 31-43. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003

Hegedűs, C., Frankó, A., Varga, P., Gindl, S., & Tauber, M. (2023). Enabling Scalable Smart Vertical Farming with IoT and Machine Learning Technologies. *NOMS 2023-2023 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, Miami, FL, USA*, 2023, 1-4. https://doi.org/10.1109/NOMS56928.2023.10154269

Herman Larsson. (2023). *Varför har vi årstider i Sverige?* https://wvwv.se/varfor-har-vi-arstider-i-sverige/

Ingenjörsvetenskapsakademien (2002). *Kärnkraft idag och imorgon* [Elektronisk resurs]. Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).

ISO, I. (2006a). ISO 14040 international standard. Environmental management- life cycle assessment- principles and framework. International Organisation for standardization.

ISO, I. (2006b). ISO 14044 international standard. Environmental management- life cycle assessment- requirements and guidelines. International Organisation for standardization.

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2023). *Förbättrad resurs- och energieffektivitet inom vertikal odling*. https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/livsmedel/forbattrad-resurs--och-energieffektivitet-inom-vertikal-odling.html

Johansson, L., Jonasson, I., & Reim, W. (2023). Sustainable expansion: Capabilities for "New food source" – Companies. *Future Foods, Vol. 8*, 2023, 100259, ISSN 2666-8335. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100259

Jordbruksverket. (2021). *Trädgårdsproduktion 2020*. https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-06-29-tradgardsproduktion-2020#h-Bar

Jordbruksverket. (2022). *Sveriges handel med jordbruksvaror och livsmedel 2022*. https://jordbruksverket.se/download/18.edeab901874a01d51fcfb9/1680615371069/Utrikeshandel-arssammanstallning-2022-tga.pdf

Karlsson, Axel. (2023). *Assessing the Environmental Performance of an In-Store Vertical Farming System: Identifying environmental hotspots for an in-store hydroponic vertical farming system, using Life Cycle Assessment*. [Masteruppsats, Kungliga Tekniska Högskolan]. DiVA. https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1811928/FULLTEXT01.pdf

Led Mega Store. (2021). *Vad är hydroponi?* https://ledmegastore.se/guide/innlagg/hvad-er-hydroponik.html#01

Livsmedelsföretagen. (2020). *Ny rapport lyfter vägen framåt för livsmedelsbranschen.* https://www.livsmedelsforetagen.se/nyheter/ny-rapport-lyfter-vagen-framat-for-livsmedelsbranschen/

Livsmedelsverket. (2023). *Grönsaker, baljväxter och frukt*. https://www.livsmedelsverket.se/matvanor-halsa--miljo/miljo/miljosmarta-matval2/gronsaker-baljvaxter-frukt

Livsmedelsverket. (2013). *Låt matavfall bli smart avfall*. https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/rapporter/2013/lat-matavfall-bli-smart-avfall.pdf

Lunds universitet. (2020). *Markanvändning för en hållbar framtid*. https://www.lu.se/artikel/markanvandning-en-hallbar-framtid

Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. *Sustainability* 2019, *11*(15), 4124. https://doi.org/10.3390/su11154124

Martin, M., Poulikidou, S., & Molin, E. (2019). Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. *Sustainability* 2019, *11*(23), 6724. https://doi.org/10.3390/su11236724

Naturskyddsföreningen. (2021a). *Hur fungerar växthuseffekten?* https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-vaxthuseffekten/

Naturskyddsföreningen. (2021b). *Miljöpåverkan från el- och- värmeproduktionen*. https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/miljopaverkan-fran-el-och-varmeproduktionen/

Naturvårdsverket. (u.å.). *Biogena koldioxidutsläpp och klimatpåverkan.* https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-skogen/biogena-koldioxidutslapp-och-klimatpaverkan/

Naturvårdsverket. (2003). *Metoder för lagring, rötning och kompostering av avfall.* https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/0100/978-91-620-0130-2.pdf

Naturvårdsverket. (2023). *Uran - förekomst vid gruvverksamhet och utvinningsförbudet*. https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/gruvor/uran---forekomst-vid-gruvverksamhet-och-utvinningsforbudet/

Naturvårdsverket. (2024a). *Bekämpningsmedel i miljön*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljofororeningar/organiska-miljogifter/bekampningsmedel-i-miljon/

Naturvårdsverket. (2024b). *Fossila bränslen*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/fossila-branslen/

Nisha, S., Somen A., Kaushal, K., Narendra, S., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of soil and water conservation, 17* (4), 364-371. https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5

Nära Sverige. (u.å.). *Vertikal odling- mer mat på mindre yta*. https://www.narasverige.se/vertikal-odling

Papageorgiou, A., Ashok, A., Farzad, T. H., & Sundberg, C. (2020). Climate change impact of integrating a solar microgrid system into the Swedish electricity grid. *Applied Energy*, *268*, 114981, ISSN 0306-2619. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114981.

Parkes, M. G., Tovar, J. P. C., Dourado, F., Domingos, T., & Teixeira, R. F. M. (2022). Life Cycle Assessment of a Prospective Technology for Building-Integrated Production of Broccoli Microgreens. *Atmosphere* 2022, *13* (8), 1317. https://doi.org/10.3390/atmos13081317

Rivm. (2024). *LCIA: the ReCiPe model*.
https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe

Sandgren, A. & Nilsson, J. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export* [Elektronisk resurs]. Hämtad 2024-05-16
https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1540012/FULLTEXT01.pdf

SimaPro Help Center. (u.å.). *What is the difference between Ecoinvent market and transformation processes?*
https://support.simapro.com/s/article/What-is-the-difference-between-ecoinvent-market-and-transformation-processes

SLU. (2022). *Vad är livscykelanalys?*
https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/

Specht, K., Zoll, F., Schümann, H., Bela, J., Kachel, J., & Robischon, M. (2019). How Will We Eat and Produce in the Cities of the Future? From Edible Insects to Vertical Farming—A Study on the Perception and Acceptability of New Approaches. *Sustainability* 2019, *11*(16), 4315.
https://doi.org/10.3390/su11164315

Svenska FN-förbundet. (u.å.). *Globala målen för hållbar utveckling*.
https://fn.se/globala-malen-for-hallbar-utveckling/

Sveriges miljömål. (2019). *Vertikal odling av örter och grönsaker i staden.*
https://www.sverigesmiljomal.se/larande-exempel/vertikal-odling-av-orter-och-gronsaker-i-staden/

SVT. (2021). *Grönsaker från urbana inomhusodlingar blir allt mer populärt*.
https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/gronsaker-fran-urbana-inomhusodlingar-blir-allt-mer-populart

Swegreen. (u.å.). *Våra odlingslösningar*.
https://www.swegreen.se/vara-produkter

Vatten & miljöresurs. (2023). *Det är bara vatten*.
https://www.vattenmiljoresurs.se/vatten-och-avlopp/dricksvatten/hallbar-vattenanvandning

Vertical Farming Planet. (2023). *Why is vertical farming bad: 9 disadvantages*.
https://verticalfarmingplanet.com/why-is-vertical-farming-bad-9-disadvantages/?utm_content=cmp-true

Bilagor

Bilaga A

Tab. A1. Indata av material och flöden för livscykelanalysen av VOS Freja.

VOS - Yttre struktur, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Material	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Glasruta	Glas	600,00	20,00	kg	30	7,61×10^−04	kg / FE	Flat glass, coated {RER} | market for flat glass, coated | Cut-off, U
Klämprofil med lås	Aluminium	95,00	3,17	kg	30	1,20×10^−04	kg / FE	Aluminium alloy, AlLi {GLO} | market for | Cut-off, U
Tråg (PVC)	Polyvinylklorid	396,24	13,21	kg	30	5,03×10^−04	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
Diverse struktur	Rostfritt stål	2 555,00	85,17	kg	30	3,24×10^−03	kg / FE	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} | market for | Cut-off, U

VOS - Inre struktur, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Material	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Rör								
18.75 m, DN 20	PVC	11,25	0,38	kg	30	1,43×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
12.5 m, DN 25	PVC	11,25	0,38	kg	30	1,43×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
18.75 m, DN 32	PVC	27,56	0,92	kg	30	3,50×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
Totalt	PVC	50,06	1,67	kg	30	6,35×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U

5 m, DN 28	Koppar	10,80	0,36	kg	30	1,37×10^−05	kg / FE	Copper, cathode {GLO}| market for | Cut-off, U
Vattensystem								
Vatten- och näringstankar	Rostfritt stål	151,00	5,03	kg	30	1,92×10^−04	kg / FE	Steel, chromium steel 18/8 {GLO}| market for | Cut-off, U
Slangar	Polyeten	50,06	1,67	kg	30	6,35×10^−05	kg / FE	Polyethylene, high density, granulate {GLO}| market for | Cut-off, U
VOS - Tekniska komponenter, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Material	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Belysning								
LED	Aluminium	348,30	11,61	kg	10	4,42×10^−04	kg / FE	Section bar extrusion, aluminium {RER}| processing | Cut-off, U

LED	PCB	64,49	2,15	kg	10	8,18×10^−05	kg / FE	Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb containing {GLO} | market for | Cut-off, U
LED	Resin	76,43	7,64	kg	10	2,91×10^−04	kg / FE	Epoxy resin, liquid {RER} | market for epoxy resin, liquid | Cut-off, U
Totalt	LED	489,22	16,31	kg	10	6,21×10^−04	kg / FE	
Drivdon	Drivdon	132,68	4,42	kg	10	1,68×10^−04	kg / FE	Capacitor, electrolyte type, < 2cm height {GLO} | market for | Cut-off, U
Kabel (Ölflex N)								

Ölflex N 60m 4 x 0.5 mm2	PVC	10,44	0,35	kg	30	1,32×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
Ölflex N 40m 5 G 1.5 mm2	PVC	11,20	0,37	kg	30	1,42×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
Ölflex N 20 m 5 G 2.5 mm2	PVC	8,00	0,27	kg	30	1,01×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
Ölflex N 30 m 3 G 1.5 mm2	PVC	6,15	0,21	kg	30	7,80×10^−06	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U
Totalt	PVC	35,79	1,19	kg	30	4,54×10^−05	kg / FE	Polyvinylchloride, bulk polymerised {GLO} | market for | Cut-off, U

Ölflex N 60m 4 x 0.5 mm2	Koppar	5,76	0,19	kg	30	7,31×10^−06	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U
Ölflex N 40m 5 G 1.5 mm2	Koppar	14,40	0,48	kg	30	1,83×10^−05	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U
Ölflex N 20 m 5 G 2.5 mm2	Koppar	12,00	0,40	kg	30	1,52×10^−05	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U
Ölflex N 30 m 3 G 1.5 mm2	Koppar	6,45	0,22	kg	30	8,18×10^−06	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U
Totalt	Koppar	38,61	1,29	kg	30	4,90×10^−05	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U
Kabel (ASi)								
30 m 2 x 1.5	Koppar	4,35	0,15	kg	30	5,52×10^−06	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U

30 m 2 x 1.5	Polyuretan	5,25	0,18	kg	30	6,66×10^−06	kg / FE	Polyurethane adhesive {GLO} | market for polyurethane adhesive | Cut-off, U
Diverse komponenter								
Järn	Järn	620,00	20,67	kg	30	7,86×10^−04	kg / FE	Iron ore, crude ore, 63% Fe {GLO} | market for iron ore, crude ore, 63% Fe | Cut-off, U
Koppar	Koppar	80,00	2,67	kg	30	1,01×10^−04	kg / FE	Copper, cathode {GLO} | market for | Cut-off, U
Mässing	Mässing	6,00	0,20	kg	30	7,61×10^−06	kg / FE	Brass {RoW} | market for brass | Cut-off, U
Rostfritt stål	Rostfritt stål	20,00	0,67	kg	30	2,54×10^−05	kg / FE	Steel, chromium steel 18/8 {GLO} | market for | Cut-off, U

Övervakning/ styrning	Platta	3,00	0,10	st	10	3,81×10^−06	st/ FE	Consumer electronics, mobile device, tablet {GLO} | market for consumer electronics, mobile device, tablet | Cut-off, U
Sallat - Odlingsmaterial, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Förklaring	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Frön	Ekbladsfrön		4,68	kg		1,78×10^−04	kg / FE	Grass seed, organic, for sowing {GLO} | market for | Cut-off, U
Odlingssubstrat	Stenull		384,14	kg		1,46×10^−02	kg / FE	Stone wool {GLO} | market for stone wool | Cut-off, U
Näringsmedel								
Salt (Makro)	KNO3		124,10	kg		4,72×10^−03	kg / FE	Potassium nitrate {RER} | market for potassium nitrate | Cut-off, U

Salt (Makro)	Ca(NO3)2		54,75	kg		2,08×10^−03	kg / FE	Calcium nitrate {RER} | market for calcium nitrate | Cut-off, U
Salt (Makro)	MgSO4		3,65	kg		1,39×10^−04	kg / FE	Magnesium sulfate {GLO} | market for | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	K2SO4		2,92	kg		1,11×10^−04	kg / FE	Potassium sulfate {RER} | market for potassium sulfate | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	Mg(NO3)2		10,95	kg		4,17×10^−04	kg / FE	Magnesium oxide {GLO} | market for | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	Fe(EDTA)		2,19	kg		8,33×10^−05	kg / FE	Iron ore concentrate {GLO} | market for iron ore concentrate | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	Mn(EDTA)		1,46	kg		5,56×10^−05	kg / FE	Manganese dioxide {GLO} | market for | Cut-off, U

Övriga (Mikro)	B		0,15	kg		5,56×10^−06	kg / FE	Boron carbide {GLO} | market for | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	Zn(NO3)2		0,33	kg		1,25×10^−05	kg / FE	Zinc oxide {GLO} | market for | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	Cu(NO3)2		7,30×10^−02	kg		2,78×10^−06	kg / FE	Copper carbonate {GLO} | market for | Cut-off, U
Övriga (Mikro)	Na2MoO4		3,65×10^−02	kg		1,39×10^−06	kg / FE	Molybdenum trioxide {GLO} | market for | Cut-off, U: Sodium oxide {RER} | market for sodium oxide | Cut-off, U

ph-lösning	Fosforsyra		30,30	l		1,82×10^−03	kg / FE	Phosphoric acid, fertiliser grade, without water, in 70% solution state {RER} | market for phosphoric acid, fertiliser grade, without water, in 70% solution state | Cut-off, U
Sallat - Andra resurser, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Förklaring	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Energi								
Belysning	LED (belysning)		94 746,00	kWh		3,61	kWh/ FE	Electricity, medium voltage {SE} | market for | Cut-off, U
Allmän	Fläktar		73 209,41	kWh		2,79	kWh/ FE	Electricity, medium voltage {SE} | market for | Cut-off, U

Allmän	Pumpar		671,09	kWh		2,55×10^−02	kWh/FE	Electricity, medium voltage {SE}| market for | Cut-off, U
Allmän	HVAC		36 604,70	kWh		1,39	kWh/FE	Electricity, medium voltage {SE}| market for | Cut-off, U
Allmän	Total		110 485,20	kWh		4,20	kWh/FE	Electricity, medium voltage {SE}| market for | Cut-off, U
Total	LED+Allmän		205 231,20	kWh		7,81	kWh/FE	Electricity, medium voltage {SE}| market for | Cut-off, U
Vatten	Vatten (+städ)		36 792,00	l		1,40	kg/FE	Tap water {RER}| market group for | Cut-off, U
Sallat - Paketering, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Förklaring	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset

Förpackning (odlingssubstrat- från leverantör till butik)	Kartong		60,78	kg		2,31×10^−03	kg / FE	Corrugated board box {RER} | market for corrugated board box | Cut-off, U
Förpackning (frön - från leverantör till butik)								
Förpackning frön	Polyeten (25%)		8,47×10^−02	kg		3,22×10^−06	kg / FE	Polyethylene, low density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning frön	Aluminium (75%)		0,25	kg		9,67×10^−06	kg / FE	Aluminium alloy, AlLi {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning (salt - från leverantör till Swegreen)			8,02	st				

Insida	Polyeten (50%)		0,29	kg		1,12×10^−05	kg / FE	Polyethylene, low density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Utsida	Vävd polypropen		0,29	kg		1,12×10^−05	kg / FE	Polypropylene, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning (salt, stor - Swegreen till butik (PA/PE, 75 my))			79,13	st				
Stor saltförpackning	Polyamid (50%)		0,47	kg		1,81×10^−05	kg / FE	Nylon 6 {RER} | market for nylon 6 | Cut-off, U
Stor saltförpackning	Polyeten (LDPE) (50%)		0,47	kg		1,81×10^−05	kg / FE	Polyethylene, low density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning (salt, liten - Swegreen till butik (PA/PE, 90 my))			59,35	st				

Liten saltförpackning	Polyamid (60%)		0,20	kg		7,45×10^−06	kg / FE	Nylon 6 {RER} | market for nylon 6 | Cut-off, U
Liten saltförpackning	Polyeten (LDPE) (40%)		0,13	kg		4,97×10^−06	kg / FE	Polyethylene, low density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning (micro + fosforsyra - från leverantör till Swegreen)	Polyeten (HDPE)		0,64	kg		2,44×10^−05	kg / FE	Polyethylene, high density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning (micro + fosforsyra - Swegreen till butik)	Polyeten (HDPE)		0,53	kg		2,01×10^−05	kg / FE	Polyethylene, high density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U
Förpackning (produkt - från leverantör till butik)	Gjuten polypropen		492,75	kg		1,88×10^−02	kg / FE	Polypropylene, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U

Förpackning (produkt, omslutande - från leverantör till butik)	Kartong		24,72	kg		9,41×10^−04	kg / FE	Corrugated board box {RER} | market for corrugated board box | Cut-off, U
Sallat - Transport, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Material	Material (kg/år)	Transportsträcka (km)	Transportarbete (tkm)	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Bränsle	Odlingssubstrat	384,14	100,00	38,41		1,46×10^−03	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER} | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Bränsle	Frön	4,68	100,00	0,47		1,78×10^−05	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Näringsmedel	248,47	100,00	24,85		9,45×10^−04	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Förpackning (odlingssubstrat)	60,78	100,00	6,08		2,31×10^−04	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Bränsle	Förpackning (frön)	0,34	100,00	3,39×10^−02		1,29×10^−06	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Förpackning (salt)	1,86	100,00	0,19		7,09×10^−06	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Förpackning (micro + fosforsyra)	1,17	100,00	0,12		4,45×10^−06	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER}| market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Bränsle	Förpackning (produkt)	517,47	100,00	51,75		1,97×10^−03	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER} | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Total sallat ingående transport (tkm)				121,89		4,64×10^−03	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER} | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
VOS - Transport, indata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Material	Material (kg/år)	Transportsträcka (km)	Transportarbete (tkm)	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset

Bränsle	Aluminium	11,61	1 900,00	22,06		8,39×10^−04	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro6 {RER} | market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Tab. A2. Utdata av material och flöden för livscykelanalysen av VOS Freja.

Sallat - Sluthantering, utdata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Förklaring	Total mängd	Årlig mängd	Enhet	Livslängd	Omräknad till FE	Enhet	Dataset
Mineraliskt avfall från butik + slutkonsument	Odlingssubstrat		384,14	kg		1,46×10^−02	kg/FE	Municipal solid waste {SE} | treatment of, incineration | Cut-off, U

Biologiskt avfall från butik	**Svinn**		**660,504**	**kg**		**2,51×10^−02**	**kg / FE**	**Biowaste {GLO} | treatment of biowaste, municipal incineration | Cut-off, U**
Biologiskt avfall från slutkonsument	**Rötter**		**3285**	**kg**		**0,13**	**kg / FE**	**Biowaste {GLO} | treatment of biowaste, municipal incineration | Cut-off, U**
Förpackningar bortkaffade av Swegreen eller butik								

Förpackning	Odlingssubstrat		60,78	kg		2,31×10^−03	kg / FE	Waste paperboard, sorted {Europe without Switzerland} | treatment of waste paperboard, unsorted, sorting | Cut-off, U
Förpackning	Salter		1,86	kg		7,09×10^−05	kg / FE	Waste plastic, mixture {RoW} | treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration | Cut-off, U

Förpackning	Mikro + fosforsyra		1,17	kg		4,45×10^−05	kg / FE	Waste plastic, mixture {RoW} | treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration | Cut-off, U
Förpackning (Polyeten)	Frön		8,47×10^−02	kg		3,22×10^−06	kg / FE	Waste plastic, mixture {RoW} | treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration | Cut-off, U
Förpackning (Aluminium)	Frön		0,25	kg		9,67×10^−06	kg / FE	Municipal solid waste {SE} | treatment of, incineration | Cut-off, U

Förpackning (omslutande)	Produkt		24,72	kg		9,41×10^−04	kg / FE	Waste paperboard, sorted {Europe without Switzerland} | treatment of waste paperboard, unsorted, sorting | Cut-off, U
Förpackningar bortkastade av slutkonsument								
Förpackning (sallad)	Produkt		492,75	kg		1,88×10^−02	kg / FE	Waste plastic, mixture {RoW} | treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration | Cut-off, U

Totalt biologiskt avfall			3945,504	kg		0,15	kg / FE	Biowaste {GLO} | treatment of biowaste, municipal incineration | Cut-off, U
Totalt fast avfall			384,40	kg		1,46×10^−02	kg / FE	Municipal solid waste {SE} | treatment of, incineration | Cut-off, U
Totalt plastavfall			495,87	kg		1,89×10^−02	kg / FE	Waste plastic, mixture {RoW} | treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration | Cut-off, U

Totalt kartongavfall			85,50	kg		3,25×10^−03	kg / FE	Waste paperboard, sorted {Europe without Switzerland} | treatment of waste paperboard, unsorted, sorting | Cut-off, U
Sallat - Transport, utdata						SimaPro- Yttre struktur		
Definition	Material	Material (kg/år)	Transportsträcka (km)	Transportarbete (tkm)	Livslängd	Områknad till FE	Enhet	Dataset

Bränsle	Odlingssubstrat	384,14	25,00	9,60		3,65×10^−04	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Svinnplantor (svinn butik)	660,50	25,00	16,51		6,28×10^−04	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Bränsle	Rötter (svinn av slutkonsument)	3 285,00	25,00	82,13		3,13×10^−03	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Förpackning (odlingssubstrat)	60,78	25,00	1,52		5,78×10^−05	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Bränsle	Förpackning (frön)	0,34	25,00	8,47×10^−03		3,22×10^−07	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Förpackning (salt)	1,86	25,00	4,66×10^−02		1,77×10^−06	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Bränsle	Förpackning (micro + fosforsyra)	1,17	25,00	2,92×10^−02		1,11×10^−06	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U
Bränsle	Förpackning (produkt)	517,47	25,00	12,94		4,92×10^−04	tkm/FE	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER}| transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U

Total utgående transport (tkm)				**122,78**		**4,67×10^−03**	**tkm/FE**	**Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 {RER} | transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6 | Cut-off, U**

Bilaga B

Tab. B1. Mängder av livscykelns olika faser i de olika påverkanskategorierna.

Påverkanskategori	Transport	VOS-Råmaterial	Sallat-Råmaterial	Odling	Sluthantering	Enhet
Ekotoxicitet, sötvatten	2,66×10^−02	2,55	7,34	15,90	0,39	CTUe
Fossil resursanvändning	3,26×10^−02	0,46	1,89	46,26	5,32×10^−02	MJ
Försurning	6,17×10^−06	3,15×10^−04	5,99×10^−04	1,62×10^−03	5,34×10^−05	mol H+ eq
Klimatförändringar	2,18×10^−03	3,65×10^−02	8,26×10^−02	0,35	5,88×10^−02	kg CO2 eq
Markanvändning	1,93×10^−02	0,20	0,57	10,47	3,26×10^−02	Pt
Resursanvändning, mineraler och metaller	9,97×10^−09	7,18×10^−06	8,82×10^−07	6,02×10^−06	1,90×10^−08	kg Sb eq
Vattenanvändning	1,08×10^−04	1,29×10^−02	9,35×10^−02	0,57	5,39×10^−03	m3 depriv.
Övergödning, sötvatten	1,64×10^−07	2,71×10^−05	1,82×10^−05	1,41×10^−04	8,02×10^−06	kg P eq

Tab. B2. Mängder av de olika flödena i livscykeln i påverkanskategorierna.

Påverkanskategori	Energi	Infrastruktur	Näringsmedel	Odlingsmaterial	Paketering	Slutahanterin g	Vatten	Transport	Enhet
Ekotoxicitet, sötvatten	15,90	2,55	6,37	0,44	0,52	0,39	8,40×10^−03	2,66×10^−02	CTUe
Fossil resursanvändning	46,26	0,46	0,19	0,23	1,47	5,32×10^−02	7,90×10^−03	3,26×10^−02	MJ

Försurning	**1,62×10^−03**	**3,15×10^−04**	**2,12×10^−04**	**1,88×10^−04**	**1,97×10^−04**	**5,34×10^−05**	**2,57×10^−06**	**6,17×10^−06**	**mol H+ eq**
Klimatförändringar	**0,35**	**3,65×10^−02**	**1,38×10^−02**	**1,98×10^−02**	**4,85×10^−02**	**5,88×10^−02**	**4,63×10^−04**	**2,18×10^−03**	**kg CO2eq**
Markanvändning	**10,47**	**0,20**	**0,14**	**0,23**	**0,20**	**3,26×10^−02**	**1,80×10^−03**	**1,93×10^−02**	**Pt**
Resursanvändning, mineraler och metaller	**6,02×10^−06**	**7,18×10^−06**	**3,73×10^−07**	**1,98×10^−07**	**3,08×10^−07**	**1,90×10^−08**	**2,29×10^−09**	**9,97×10^−09**	**kg Sb eq**
Vattenanvändning	**0,57**	**1,29×10^−02**	**9,42×10^−03**	**4,73×10^−03**	**1,91×10^−02**	**5,39×10^−03**	**6,02×10^−02**	**1,08×10^−04**	**m3 de priv.**
Övergödning, sötvatten	**1,41×10^−04**	**2,70×10^−05**	**2,69×10^−06**	**6,19×10^−06**	**8,95×10^−06**	**8,02×10^−06**	**3,33×10^−07**	**1,64×10^−07**	**kg P eq**

Bilaga C

Tab. C1. Utsläppsmängder för svensk- respektive nordisk elmix, endast för elanvändning under odlingsfasen.

Påverkanskategori	Svensk elmix	Nordisk elmix	Enhet
Ekotoxicitet, sötvatten	15,90	11,95	CTUe
Fossil resursanvändning	46,26	30,39	MJ
Försurning	1,62×10^−03	1,66×10^−03	mol H+ eq
Klimatförändringar	0,35	0,46	kg CO2eq
Markanvändning	10,47	8,16	Pt
Resursanvändning, mineraler och metaller	6,02×10^−06	1,51×10^−06	kg Sb eq
Vattenanvändning	0,57	0,42	m3 depriv.
Övergödning, sötvatten	1,41×10^−04	1,04×10^−04	kg P eq

Tab. C2. Utsläppsmängder för förbränning respektive rötning av biologiskt avfall.

Påverkanskategori	Förbränning (Biologiskt avfall)	Rötning (Biologiskt avfall)	Enhet
Ekotoxicitet, sötvatten	0,25	0,43	CTUe
Fossil resursanvändning	3,75×10^−02	6,17×10^−02	MJ
Försurning	3,74×10^−05	3,32×10^−05	mol H+ eq
Klimatförändringar	6,00×10^−03	2,08×10^−02	kg CO2eq
Markanvändning	2,60×10^−02	2,72×10^−02	Pt
Resursanvändning, mineraler och metaller	1,31×10^−08	1,50×10^−08	kg Sb eq
Vattenanvändning	2,27×10^−03	4,19×10^−04	m3 depriv.
Övergödning, sötvatten	7,30×10^−06	1,88×10^−06	kg P eq