

Täckmaterial i växthus

En jämförelse ur ett livscykelperspektiv

ALVA TANGFELT 2022

MVEK12 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET





LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund

Täckmaterial i växthus

En jämförelse ur ett livscykelperspektiv

Alva Tangfelt

2022



LUNDS
UNIVERSITET

Alva Tangefelt

MVEK12 Examensarbete för Kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Raúl López i Losada, Centrum för miljö- och klimatvetenskap,
Lunds universitet

Intern senior handledare: Nina Reistad, Centrum för miljö- och klimatvetenskap,
Lunds universitet

Extern handledare: Niclas Mörk, Grobruket

Kontaktperson på Sustainalink: Madeleine Brask

CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet
Lund 2022

Abstract

Grobruket is a small company that works with cultivation in many ways and they are very aware of their climate footprint. Therefore, they are also interested in taking a deeper look into the environmental impact of different covering materials used for greenhouses.

The most common covering materials used in greenhouses are glass, ethylene vinyl acetate plastic (EVA) and polycarbonate plastic. The aim of this study is to investigate which of these common covering materials has the least environmental impact in a life cycle perspective focusing on a timeframe of 25 years. In this study different covering materials are compared following a Life Cycle Assessment (LCA) perspective. In LCA the life cycle of a product is divided in four stages, extraction of raw materials, production, usage, and end of life. In each stage of the LCA data from four impact categories were used and compared. The four categories are climate change (global warming potential), ecotoxicity: freshwater, human toxicity: carcinogenic and material resources: metals/minerals.

This study shows that EVA is the material with the lowest impact in all categories studied, after that comes glass and the material with the highest environmental impact was found to be polycarbonate, with the impact increasing the thicker material used.

The usage stage was found to have the highest environmental impact, much higher than both the production, that also includes raw material extraction and manufacturing, and the end-of-life stage. Despite some uncertainties in the data used and in this study, similar results can be found in one other study that also compare greenhouses in a life cycle perspective.

Populärvetenskaplig sammanfattning

I linje med miljö kvalitetsmålet minskad klimatpåverkan har det lilla företaget Grobruket börjat se över sin verksamhets miljöpåverkan och vill nu undersöka vilken typ av växthus och framför allt vilket täckmaterial i växthus som har minst miljöpåverkan. Ett växthus miljöpåverkan kan delas in i fyra olika delar: råmaterial, produktion, användande och när materialet blir avfall. Dessa fyra steg är också grunden till livscykelanalys. I en livscykelanalys utreds miljöpåverkan i dessa fyra steg och det är en metod som ofta används i dessa typer av sammanhang för att få en övergripande bild av en produkts totala miljöpåverkan. I denna studie jämförs de vanligaste täckmaterialen i växthus folieplast bestående av etylen vinyl acetat (EVA), kanalplast som består av polykarbonat och glas för att besvara frågeställningen: vilket material för täckning av växthus har minst miljöpåverkan i ett livscykelanalysperspektiv, med den funktionella enheten yta täckmaterial med livstiden 25 år?

För att besvara frågeställningen har materialen jämförts från vagga till grav, detta innebär att miljöpåverkan i alla steg genom en livscykel har tagits med i jämförelsen, från råmaterial till avfall. Materialen har också jämförts utifrån fyra stycken påverkanskategorier. Påverkanskategorierna som valdes ut var klimatförändring/global uppvärmningspotential, ekotoxikologi i sötvatten, mänsklig toxicitet och materiella resurser.

Resultatet visar att EVA är det material som har totalt lägst miljöpåverkan. I produktionsstadiet, där råmaterial också är inkluderat, har EVA lägst påverkan i alla fyra påverkanskategorier och i avfallstadiet har det lägst miljöpåverkan alla kategorierna utom klimatförändring där det har näst lägst påverkan. Glas har näst minst miljöpåverkan i alla kategorier utom materiella resurser när det kommer till produktion och i avfallstadiet är det mer blandat. Glas har lägst miljöpåverkan i avfallsstadiet när det kommer till kategorien klimatförändring, näst lägst i kategorierna som berör toxicitet och för materiella resurser i avfallsstadiet har glas näst högst miljöpåverkan. Sammantaget för produktion och avfall har folieplast lägst miljöpåverkan följt utav glas. Kanalplast som är gjort utav polykarbonat har sammantaget dessa kategorier högst miljöpåverkan där en ökande tjocklek på kanalplatsen ger en högre miljöpåverkan. I användarstadiet som i denna studie likstälts med uppvärmning av växthus är miljöpåverkan betydligt högre än för produktion och avfall, från 10 gånger större upp till 10 000 gånger högre miljöpåverkan. Detta sätter produktion och avfall av materialen i

perspektiv och visar att om växthusen värms upp på detta vis är det inte val av material som har störst påverkan på miljön.

Lista med förkortningar

ADP - Abiotic Depletion Potentials
BPF – British Plastic Federation
CO₂-eq – Koldioxidekvivalenter
CTU – Comparative Toxic Unit
EVA – etylen vinyl acetat
FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
GWP – Global uppvärmningspotential (Global Warming Potential)
ISO – International Organization for Standardization
LCA – Livscykelanalys (Life Cycle Assessment)
LCIA – Konsekvensanalys (Life Cycle Impact Assessment)
PAF – Potentially Affectd Fraction of species

Innehållsförteckning

Abstract	3
Populärvetenskaplig sammanfattning	5
Lista med förkortningar	7
Innehållsförteckning	9
Inledning	11
Metod	17
Resultat	23
Diskussion	29
Slutsats	33
Tack	35
Referenser	37

Inledning

Sveriges riksdag har satt upp 16 miljö kvalitetsmål (Regeringskansliet 2020). Dessa mål finns för att styra miljöarbetet i Sverige. Ett av dessa 16 miljö kvalitetsmål är att minska klimatpåverkan. Naturvårdsverket fastställer i sin rapport att målet inte är nått och att det behövs fler åtgärder för att nå målet (Naturvårdsverket 2019).

Det lilla företaget Grobruket i Alnarp, Skåne, arbetar med odling på många olika sätt och vill göra vad de kan för att minska verksamhetens klimatpåverkan i enlighet med miljö kvalitetsmålet minskad klimatpåverkan. En del i detta är att se över vilken typ av växthus som har minst miljö påverkan, för att kunna använda den typ som har minst miljö påverkan och på så vis minska sitt klimatavtryck.

Ett växthus påverkar miljön på flera olika sätt. Miljö påverkan kan delas in i fyra olika faser; råvaruutvinning, produktionsfas, användande och när materialet blir avfall. Råvaruutvinning och produktion kan slås ihop till ett steg då data för dessa två ibland finns sammanslaget (Hischier 2007). För att kunna jämföra miljö påverkan i alla aspekter av ett material eller produkt har begreppet och metoden livscykelanalys (LCA) tagits fram (Withgott, & Laposata 2015). I en LCA utreds miljö påverkan genom hela livscykeln, från råvaruutvinning och produktion, användning samt när produkten blir avfall (Withgott, & Laposata 2015). Data som genererats från en livscykelanalys kan användas till många olika saker, exempelvis för att effektivisera processer, identifiera och minska avfall från de olika stegen i dess livscykel och på så vis minska miljö och klimatpåverkan (Withgott, & Laposata 2015). Livscykelanalyser kan även användas för att jämföra olika produkter för att visa vilken som har minst miljö påverkan (Withgott, & Laposata 2015).

Livscykelanalys enligt ISO-standard

Det finns två stycken ISO-standarder för livscykelanalyser, ISO 14040 och ISO 14044. ISO-standarder är internationella standarder och finns för att standardisera hur saker och ting görs över hela världen (ISO u.å a), det blir således en slags försäkring på att en produkt är säker och pålitlig. Exempel på områden som har

ISO-standarder är vatten och luftkvalité, utsläpp av gaser och strålning, vägsäkerhet, medicinska förpackningar mm (ISO u.å. a). I en översiktsartikel skriver Pryshlakivsky och Searcy (2013) att ISO-standarden för livscykelanalyser framförallt handlar om en metodik. De menar att med en livscykelanalys som är utförd enligt standarden kan man vara säker på att den metodik som satts upp av ISO följs. Finkbeiner (2014) sammanfattar de viktigaste delarna från ISO standarderna 14040 och 14044, de standarder som berör livscykelanalyser. Finkbeiner (2014) skriver bland annat att hela livscykelanalysen styrs av mål och omfattning ("goal and scope") vilket är en av de första bitarna som behöver bestämmas när en livscykelanalys ska genomföras. Beroende av mål- och omfattningsavgränsningarna så kan själva livscykelanalysen variera kraftigt i omfattning, djup osv. En livscykelanalys är alltid relativ (till sin funktionella enhet). Detta beror på att den funktionella enheten som bestäms i metoden är unik i varje livscykelanalys (Finkbeiner 2014). Förutom mål och omfattning som utgör den första delen av en livscykelanalys och den andra delen, livscykelinventering (Life Cycle Inventory, LCI), består en livscykelanalys också av en konsekvensanalys (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) (ISO u.å. b). Konsekvensanalysen ger en bred, övergripande och systemöverskridande bild av miljö- och resursproblematiken för hela systemet för den produkt som undersöks (Finkbeiner 2014). I konsekvensanalysen får man ut data i olika påverkanskategorier ("impact categories"). Dessa påverkanskategorier är där man kan se vad produkten som undersöks har för miljöpåverkan. Det är generellt viktigt att så många olika påverkanskategorier som möjligt tas med i en livscykelanalys för att få ett resultat som är så brett som möjligt och täcker in många olika typer av påverkan (Stranddorf 2005). Samtidigt är det viktigt att gå tillbaka till mål och omfattningsavgränsningarna, varför görs studien och hur ska resultaten användas? Utifrån svaren på dessa frågor kan sedan påverkanskategorier väljas ut. I varje påverkanskategori väljs en påverkanskategoriindikator ut och resultatet av denna påverkanskategori beräknas utefter denna indikator/enhet (Finkbeiner 2014).

Påverkanskategorier och enheter i livscykelanalys

Toxicitet är en påverkanskategoriindikator som ofta används i livscykelanalyser (Huijbregts et al 2017). Toxicitet kan delas upp mellan ekotoxicitet och toxicitet för människor. Ekotoxicitet mäts ofta i enheten CTUe (Comparative Toxic Unit for ecosystems) och mänsklig toxicitet i enheten CTUh (Comparative Toxic Unit for human). Denna enhet, CTUe och CTUh, använder inte en specifik substans som referens utan karaktäriseringsfaktorerna uttrycks i en jämförelse av toxiska

enheter per kilo utsläpp (Golsteijn 2014). Enheten CTUe innebär därmed den uppskattade potentiellt påverkande fraktionen av arter ("PAF, Potentially Affected Fraction of species") under en viss tid och volymen per massenhet av en kemikalie som släpps ut (USEtox u.å.). CTUh är enheten för hur människor påverkas av toxiska ämnen och denna enhet uppskattar ökningen av antalet sjukdomsfall i hela den mänskliga populationen per massenhet av kemikalier som släpps ut (USEtox u.å.). Ekvationerna för enheterna CTUe och CTUh är (USEtox u.å.):

$$[CTUe \text{ per kg emitted}] = [PAF \times m^3 \times \text{day per kg emitted}]$$

$$[CTUh \text{ per kg emitted}] = [\text{disease cases per kg emitted}]$$

Materiella resurser är ytterligare en påverkanskategori som ofta används i livscykelanalyser (Huijbregts et al 2017). Denna påverkanskategori mäts i ADP (Abiotic Depletion Potentials), det vill säga icke levande utarmningspotential (Hischier 2007). ADP för en resurs definieras som förhållandet mellan den årliga produktionen och kvadraten av den slutliga reserven (baserat på kristallstruktur) dividerat med samma förhållande för referensresursen antimon (Sb) (van Oers et al. 2020).

Klimatförändring är en konsekvens av miljöpåverkan. Den globala uppvärmningen är en effekt av klimatförändring och drivs av växthusgaser (Pan 2016). För att kunna mäta klimatförändring och global uppvärmning har begreppet GWP, global uppvärmnings potential (Global Warming Potential) tagits fram (Nguyen 2016). Koldioxid är den växthusgas som oftast används som referensgas i GWP sammanhang. Koldioxidekvivalenten (CO₂-eq) för en växthusgas är definierad som den mängd CO₂ som hade haft samma uppvärmningspotential över 100 år. Detta sätt att mäta uppvärmning och klimatavtryck gör att alla växthusgaser räknas in och inte bara koldioxid (Nguyen 2016). Exempelvis har växthusgasen metan ett GWP på 30 (IPCC 2018), det innebär att ett kg metan som släpps ut har samma påverkan på klimatet som om 30 kg koldioxid hade släppts ut.

Tidigare studier

Det har tidigare gjorts studier som undersöker olika aspekter av ett växthus miljöpåverkan och hållbarhet relaterat till växthus, detta sammanfattar Maraveas (2019) i en översiktsartikel. Den studie som finns där specifikt täckmaterial i växthus och miljöpåverkan studeras är Russo och Mugnozza (2005) studie. De

jämför hela växthussystem det vill säga ställning, täckmaterial samt typ av odling som sker och miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv kopplat till detta. Täckmaterialen som undersöks i studien är glas och tunn folieplast (Russo och Mugnozza 2005).

Grobruket har identifierat tre olika typer av täckmaterial för växthus som aktuella att använda. Det är två olika typer av plast, folieplast och kanalplast samt glas. Därför är det för denna studie intressant att jämföra dessa tre material ut ett livscykelperspektiv.

Syfte och Frågeställning

Syftet med denna uppsats är att undersöka miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv hos de mest vanliga typerna av växthusmaterial: kanalplast som består av polykarbonat, folieplast bestående av etylen vinyl acetat (EVA) och glas för att komma fram till vilket material som har minst miljöpåverkan. Materialen kommer att jämföras med den funktionella enheten m^2 täckmaterial per 25 år.

Frågeställningen i denna uppsats är: vilket material för täckning av växthus har minst miljöpåverkan i ett livcykelanalysperspektiv med funktionella enheten m^2 täckmaterial med livstiden 25 år?

Avgränsningar

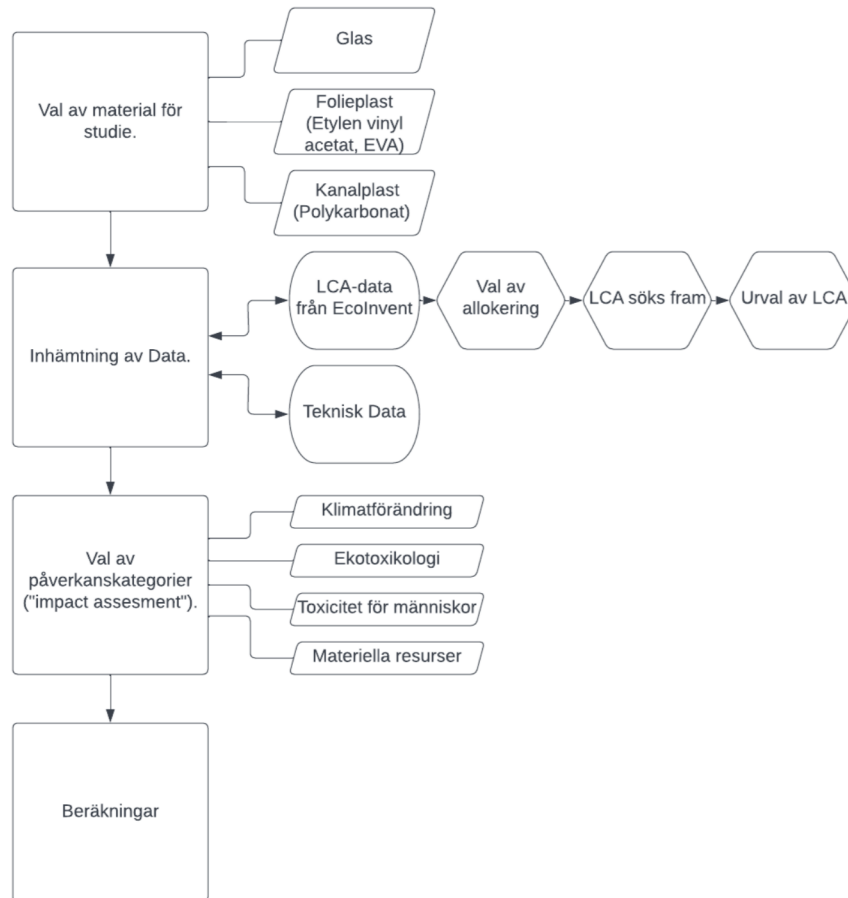
Avgränsningar som gjorts i denna studie är att det är endast är täckmaterialet som jämförts. Konstruktionen som håller upp täckmaterialet har exkluderats då det inte var intressant för Grobruket. Endast en plasttyp av den tunna folietypen och den hårda kanalplatsen har undersökts. Materialets miljöpåverkan har jämförts med data från databasen EcoInvent och har inte omarbetats. Exempel på omarbetning som inte skett är att data för den tunna folieplasten är för solid plast av samma material och studien har avgränsats så att omvandlingen från solid material till tunn folieplast har inte tagits med. På samma sätt har det inte inkluderats när polykarbonat, som är plasttypen som kanalplast består av, blir till kanalplast. Avgränsningar har även gjorts för de olika påverkanskategorierna, där fyra kategorier valdes ut med avseende på studiens storlek. En aspekt av miljöpåverkan som inte tagits med i denna studie är transporter, detta beror delvis på att studien har valts att göras generell där data inte är specifik från en viss tillverkare utan mer generell för typen av material. Detta är en aspekt som inte borde påverka resultaten avsevärt i och med att alla tre olika material behöver

transporteras. Dock kan det vara skillnad i typ av transport i och med att de olika materialen är olika ömtåliga och därför eventuellt behöver olika arrangemang av transport, emballage och så vidare samt att de olika materialen har olika livslängd och därmed sker olika många transporter för olika typer av material.

Etisk reflektion

I denna studie finns inga tydliga etiska frågor som behöver tas hänsyn till. Om denna studie kommer till användning i verkligheten och Grobruket tar del och använder sig av informationen och resultaten finns inga etiska frågor som kan komma att skapa dilemman.

Metod



Figur 1: Flödesschema för metod.

Flödesschemat sammanfattar de huvudsakliga stegen i metoden

Metoden i denna studie sammanfattas i flödesschemat i figur 1.

För att komma fram till vilket material som har minst miljöpåverkan studeras de tre olika materialtyperna utifrån ett livscykelperspektiv. De tre typerna av material har valts ut i samråd med Grobruket. De vill att jämförelsen görs på de vanligaste typerna av material för växthus. Efter en genomgång av marknaden för växthus konstaterades att de vanligaste typerna av täckmaterial är glas, folieplast som oftast består av etylen vinyl acetat (EVA) och kanalplast av polykarbonat (FAO 2013, Plastexperten u.å.). Det empiriska material som studien består av är data från livscykelanalyser och hämtas från databasen EcoInvent (ecoinvent.org) samt tekniska data om de olika materialen. EcoInvent är en databas för livscykelanalyser där resultat och data från livscykelanalyser går att hitta.

I EcoInvent (ecoinvent.org) söks livscykelanalyser fram. I EcoInvent användes databasen 3.8 från 2021 och som systemmodell valdes allokering vid substitutionspunkten (eng. "allokation at the point of substitution"). Det innebär att ansvaret för avfall delas mellan producenter och användare som drar nytta av att använda produkter som genereras i avfallet (Ecoinvent u.å.). Ingen livscykel som inkluderade alla tre stegen produktion av det specifika materialet, användning av växthuset och avfall för materialet hittades. Därför söktes livscykelanalyser fram för produktionsfas, avfallsfas och användning. Användarfasen likställs med uppvärmning av växthuset. I produktionssteget för glas valdes typen "flat glass", då detta är den vanliga typen av fönsterglas (AIS 2020), och icke ytbehandlat ("uncoated"). Det finns flera olika typer av livscykelanalyser i produktionssteget för de tre olika materialen, framförallt där olika processer räknats med, produktion eller marknad samt att olika livscykelanalyser är avgränsade till olika regioner. Den typ av livscykelanalys som valdes var produktion av materialet i Europa. Detta urval gjordes främst för att det var denna kombination som fanns för både glas, polykarbonat och EVA. Sedan söktes livscykelanalyser för avfallssteget och användarstadiet fram. För användarstadiet valdes livscykelanalys: "marknad för värme, endast för återanvändning vid kommunal avfallsförbränning" i Sverige. Detta val gjordes för att det inte fanns några givna detaljer från Grobruket om vad de använder för typ av värme, att värme från kommunal förbränning är rimligt att använda sig av då det är vanligt för bostäder och mindre företag. För avfallssteget valdes livscykelanalyser för glasavfall och mixat plastavfall av typen marknad i Sverige. Data från livscykelanalyserna från EcoInvent för de olika materialen har den funktionella enheten 1 kilo material och livscykelanalysen för värme, den livscykelanalys som används för att beräkna användarstadiet har den funktionella enheten 1 MJ.

Fortsatt gjordes ett urval av vilka kategorier av påverkan (impact assesment) som används för den fortsatta jämförelsen. Data som används för påverkanskategorierna är EF v 3.0, det den metod som utvecklats i Europa av EU

för att mäta miljöpåverkan (European Commission u.å.) Huijbregts et al. (2017) sammanfattar 17 olika påverkanskategorier till tre skadekategorier: skada på mänsklig hälsa, skada på ekosystem och skada på tillgång på resurser. Med bakgrund i ReCiPe2016 metoden som Huijbregts et al. (2017) använder sig av och Contarini och Meijere (2015) studie valdes fyra påverkanskategorier för att få en bredare bild av de olika materialens miljöpåverkan än om endast klimatpåverkan hade använts. När påverkanskategorierna valdes ut togs också hänsyn till studiens mål och omfattningsbegränsningar, där huvudfokus var att ta fram CO₂ utsläpp förknippat med de olika typerna av växthus. För att bredda begreppet vad som är mest fördelaktigt ur miljösynpunkt valdes tre påverkanskategorier utöver CO₂. De påverkanskategorierna som valdes var klimatförändring ("climate change"), som mäts i global uppvärmningspotential ("global warming potential", GWP) med enheten CO₂-eq, ekotoxikologi: färskvatten som mäts i "comparative toxic unit for ecosystems" (CTUe), toxicitet för människor ("human toxicity") som mäts i "comparative toxic unit for human" (CTUh) samt materiella resurser: metaller/mineraler som mäts i enheten "abiotic depletion potentials" (ADP), det vill säga icke levande utarmnings potential.

Övriga tekniska data som krävdes för att räkna fram miljöpåverkan för varje material kommer från fabriker och återförsäljare, vetenskapliga artiklar, databasen Ecoinvent samt British Plastic Federation, BPF. För polykarbonat jämförs tre olika tjocklekar, dessa tre tjocklekar är valda då de representerar en stor del av den polykarbonat för växthus som finns på marknaden och olika tjocklekar på polykarbonat ger olika egenskaper (Allt om uterum u.å.). Samtliga data sammanställs och presenteras i tabell 1.

Tabell 1: Sammanställning av data

Sammanställning av data som samlats in från Ecoinvent, British Plastic Federation, tillverkaren Rias och Saint Gobain, återförsäljaren trädgårdsteknik, informationskanalen kanalplast.se samt Bibi-Triki et al (2011). Data kommer ifrån Hischier 2007, Kellenberger et al 2007, Symeonidis u.å., Treyer u.å., British Plastic Federation u.å., Saint Gobain u.å., Trädgårdsteknik u.å (a), Bibi-Triki et al. 2011, Kanalplast.se u.å., Rias u.å., Scarascia-Mugnozza 2012 och Boulard 2015.

	Glas	EVA	Polykarbonat 10 mm	Polykarbonat 16 mm	Polykarbonat 32 mm
Tekniska data					
Densitet [kg/m ³]	2500	950	-	-	-
Tjocklek [m]	0,003	0,00018	-	-	-
Massa per ytenhet [kg/m ²]	-	-	1,7	2,4	3,7
Livslängd [år]	25	4	15	15	15

Påverkanskategorier för produktion					
Global Warming Potential (GWP) [kg CO ₂ -Eq/kg]	0,97204	2,1652	8,5859	8,5859	8,5859
Ekotoxikologi: färskvatten [CTUe/kg]	19,901	20,744	175,02	175,02	175,02
Toxicitet för människor: carcinogenic [CTUh/kg]	2,092e-10	6,1696e-10	1,6609e-9	1,6609e-9	1,6609e-9
Materiella resurser: metaller/mineraler [kg Sb-Eq/kg]	9,9946e-6	1,7692e-5	1,4485e-5	1,4485e-5	1,4485e-5
Påverkanskategorier för användning					
Global Warming Potential (GWP) [kg CO ₂ -Eq/kg]	0,016838	0,016838	0,016838	0,016838	0,016838
Ekotoxikologi: färskvatten [CTUe/kg]	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Toxicitet för människor: carcinogenic [CTUh/kg]	1,2867e-11	1,2867e-11	1,2867e-11	1,2867e-11	1,2867e-11
Materiella resurser: metaller/mineraler [kg Sb-Eq/kg]	1,2376e-6	1,2376e-6	1,2376e-6	1,2376e-6	1,2376e-6
Påverkanskategorier för avfall					
Global Warming Potential (GWP) [kg CO ₂ -eq/kg]	0,052029	2,362	2,362	2,362	2,362
Ekotoxikologi: färskvatten [CTUe/kg]	1,2863	5,0694	5,0694	5,0694	5,0694
Toxicitet för människor: carcinogenic [CTUh/kg]	4,6125e-11	2,135e-10	2,135e-10	2,135e-10	2,135e-10
Materiella resurser: metaller/mineraler [kg Sb-Eq/kg]	3,0188e-7	2,4122e-7	2,4122e-7	2,4122e-7	2,4122e-7

Med data från tabell 1 beräknades sedan miljöpåverkan för varje material per ytenhet täckmaterial i växthus och för 25 år. Detta för att få en jämförbar siffra, de olika materialen har olika tjocklek och behöver bytas ut med olika intervall. För glas och EVA gjordes beräkningar enligt ekvation (1), ekvation (2), där respektive påverkanskategori värde användes i ekvation (2.1) – (2.4), och ekvation (3). För polykarbonat gjordes endast beräkningar enligt ekvation (2) och ekvation (3). Här användes data från tabell 1 för massa i ekvation (2) och beräkningarna genomfördes på samma vis som för glas och EVA.

$$m = \rho \times V \quad (1)$$

$$m_{CO_2-eq} = x \times m \quad (2.1)$$

$$m_{CTUe} = x \times m \quad (2.2)$$

$$m_{CTUh} = x \times m \quad (2.3)$$

$$m_{sb-eq} = x \times m \quad (2.4)$$

$$\text{Miljöpåverkan}/m^2 \text{ material under 25 år} \quad (3)$$

$$= m_{\text{miljöpåverkan/ytenhet material}} \times y$$

Där m är massa material per ytenhet (här 1×1 meter), ρ är densiteten, V är volymen det vill säga volymen av materialet på ytan 1×1 meter, x är miljöpåverkansdata (påverkanskategorier, tabell 1) och har olika värden för alla beräkningar och y är åldersutjämnning som beräknades genom 25 år delat med livslängd för materialet i år. (1 för glas, 6,25 för EVA och 1,67 för polykarbonat) från tabell 1. För polykarbonat gjordes en uppskattning av livslängden baserat på att garantin är 10-20 år (Rias u.å.)

Resultatet från ovanstående beräkningar analyserades och jämfördes sedan för att förstå vilket material som har minst klimatpåverkan.

En generell energiberäkning på hur mycket miljöpåverkan som är förknippat med att värma upp ett växthus genomfördes också. Energiberäkningen utgår ifrån FAOs ("food and agriculture organisation of the united nations") beräkningar för energi som krävs för att värma upp ett växthus (FAO 2013) och

miljöpåverkansdata från EcoInvent. Miljöpåverkan i fyra olika påverkanskategorierna under 25 år beräknades genom att data för årlig energikonsumtion räknades om från m^3 naturgas/ m^2 till MJ/m^2 med hjälp av given ekvivalens (FAO 2013). Sedan användes data för miljöpåverkan exempelvis mängd $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{MJ}$ från EcoInvent för att beräkna miljöpåverkan exempelvis mängden $\text{CO}_2\text{-eq}$ utsläpp per ytenhet för 25 år som är den funktionella enheten för växthus i denna uppsats.

Resultat

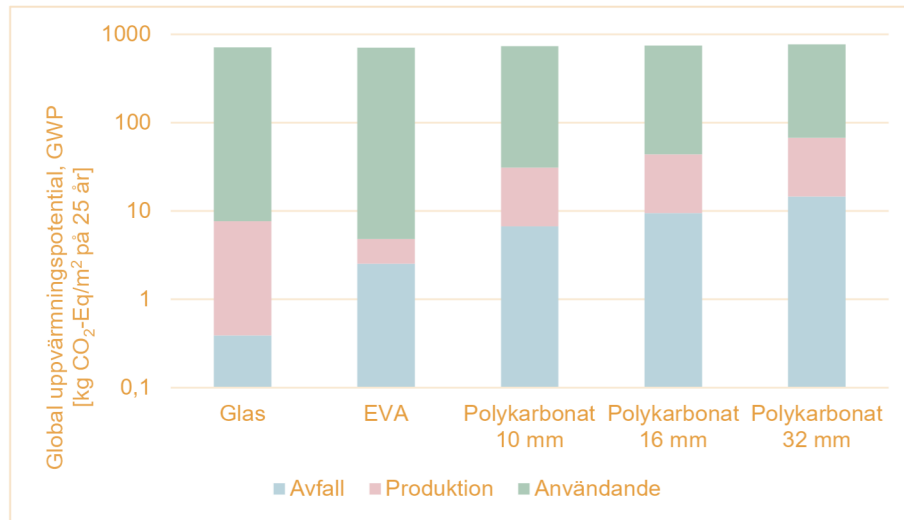
Resultatet i denna studie visar att EVA är det material med minst miljöpåverkan men beroende på vilken typ av miljöpåverkan som studeras har olika material olika stor miljöpåverkan.

I figur 2 till 5 samt tabell 2 redovisas de utsläpp samt mängden utsläpp som varje material ger upphov till per ytenhet täckmaterial i växthus per 25 år. I produktionsstadiet har EVA lägst utsläpp och minst påverkan på miljön i alla fyra kategorier. När det kommer till avfall har EVA lägst miljöpåverkan i påverkanskategorierna som berör toxicitet, ekotoxikologi och toxicitet för människor samt materiella resurser och näst lägst miljöpåverkan i kategorien klimatförändring. Glas har näst minst utsläpp i alla kategorier i produktionsstadiet förutom för materiella resurser där det har näst högst miljöpåverkan. Även i avfallsstadiet har glas näst lägst påverkan i kategorierna mänsklig toxicitet och ekotoxikologi och lägst miljöpåverkan när det kommer till klimatförändring. För materiella resurser i avfallsstadiet har glas näst högs påverkan. I produktions- och avfallsstadiet har polykarbonat i de tre tjocklekarna 10 mm, 16 mm och 32 mm högst miljöpåverkan i kategorierna klimatpåverkan, ekotoxikologi och toxicitet för människor där miljöpåverkan ökar med materialets tjocklek.

Sammantaget för produktion och avfall är EVA det täckmaterial för växthus som ger minst miljöpåverkan följt utav glas. I produktionsstadiet för kategorin ekotoxikologi är det en markant skillnad mellan EVA och de andra materialen. Även för kategorin klimatpåverkan i produktionsstadiet är det skillnad mellan mängden CO₂-eq/m² som släpps ut för den tunna EVA plasten och glas. Det är ännu större skillnad mellan glas och 10 mm polykarbonat, vid tjockare polykarbonat ökar sedan mängden CO₂-eq utsläpp. Detta betyder att om resultaten endast ses ur ett CO₂-eq perspektiv så är EVA bäst, med minst utsläpp, följt av glas och sedan desto tunnare polykarbonatplast desto mindre utsläpp av CO₂-eq det vill säga mindre miljöpåverkan.

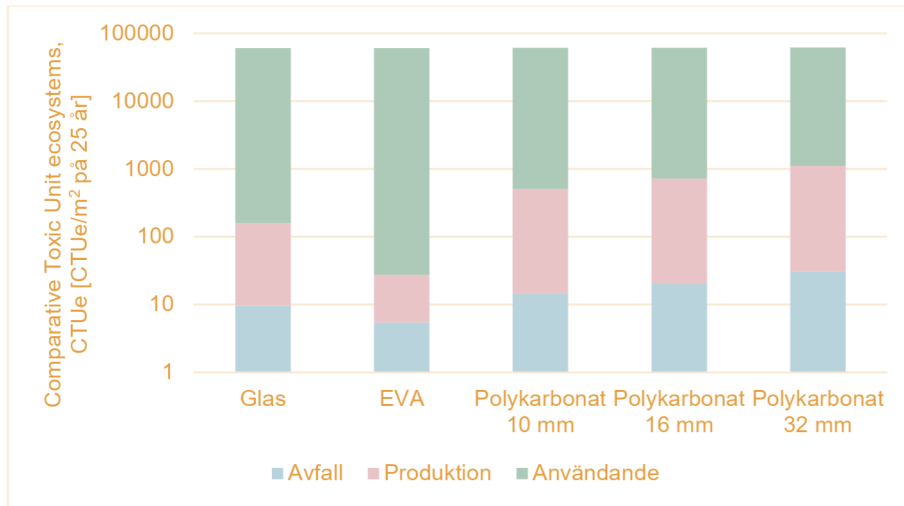
I användarstadiet har inte varje material för sig jämförts utan beräkningarna har genomförts på generella data för uppvärmning av växthus. Resultaten visar att den miljöpåverkan som är förknippad med uppvärmningen av växthus under 25 år är betydligt större än produktion- och avfallsstadierna. Exempelvis bidrar energianvändandet och uppvärmning till mer än 100 gånger större CO₂ utsläpp än vad produktion och avfall av EVA-plast gör, och för den tjockaste polykarbonat plasten släpper användarstadiet ut mer än tio gånger mer CO₂ än produktion och

användarfasen. Allra störst skillnad i miljöpåverkan mellan användarstadiet och produktion- och avfallsstadiet är det i påverkanskategorin ekotoxikologi. Där bidrar användarstadiet med upp till 10 000 gånger större miljöpåverkan än produktion- och avfallsstadierna.



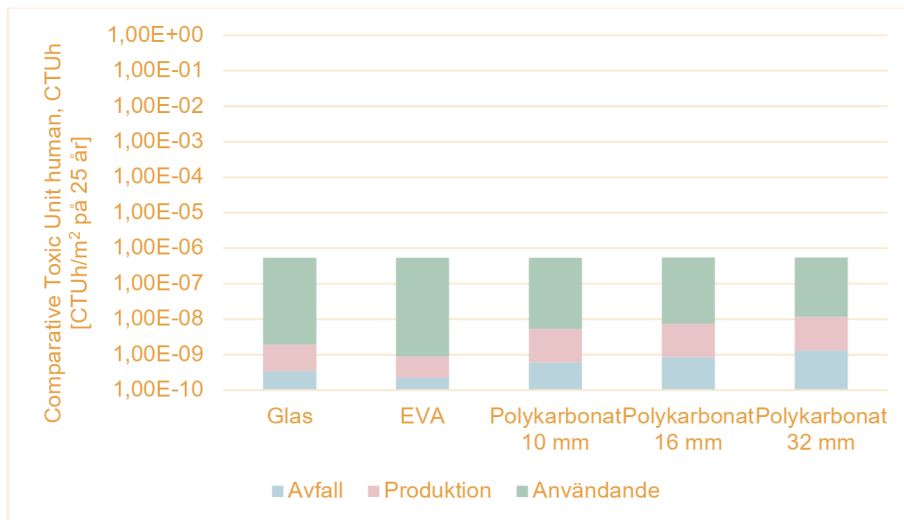
Figur 2: Miljöpåverkan, klimatförändring för olika material per m² täckmaterial i växthus över 25 år.

De tre olika materialen är glas, etylen vinyl acetat (EVA) och polykarbonat. Där polykarbonat jämförs i tre olika tjocklekar 10 mm, 16 mm och 32 mm. Miljöpåverkan mäts i påverkanskategorin klimatförändring.



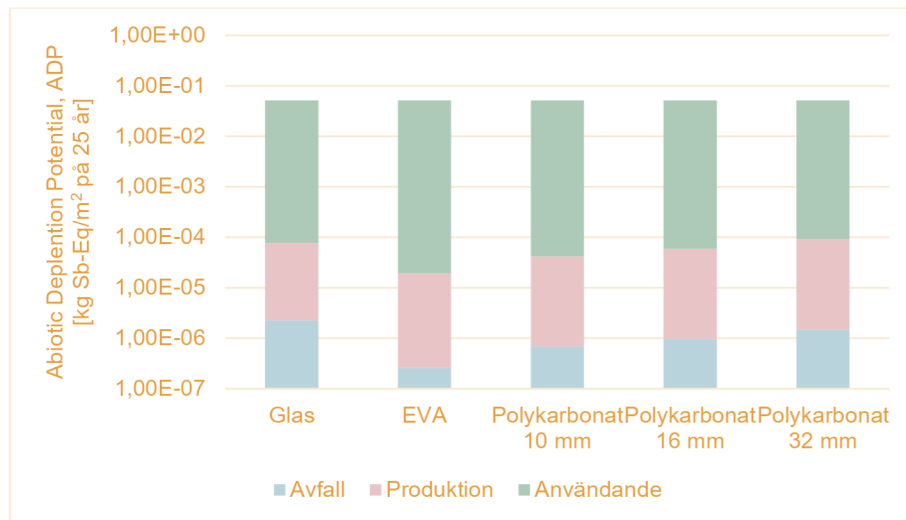
Figur 3: Miljöpåverkan, ekotoxikologi för olika material per m² täckmaterial i växthus över 25 år.

De tre olika materialen är glas, etylen vinyl acetat (EVA) och polykarbonat. Där polykarbonat jämförs i tre olika tjocklekar 10 mm, 16 mm och 32 mm. Miljöpåverkan mäts i påverkanskategorin ekotoxikologi.



Figur 4: Miljöpåverkan, toxicitet för människor för olika material per m² täckmaterial i växthus över 25 år.

De tre olika materialen är glas, etylen vinyl acetat (EVA) och polykarbonat. Där polykarbonat jämförs i tre olika tjocklekar 10 mm, 16 mm och 32 mm. Miljöpåverkan mäts i påverkanskategorin toxicitet för människor.



Figur 5: Miljöpåverkan, materiella resurser, för olika material per m² täckmaterial i växthus över 25 år.

De tre olika materialen är glas, etylen vinyl acetat (EVA) och polykarbonat. Där polykarbonat jämförs i tre olika tjocklekar 10 mm, 16 mm och 32 mm. Miljöpåverkan mäts i påverkanskategorin materiella resurser.

Tabell 2: Miljöpåverkan för olika material per m² täckmaterial i växthus över 25 år.

De tre olika materialen är glas, etylen vinyl acetat (EVA) och polykarbonat. Där polykarbonat jämförs i tre olika tjocklekar 10 mm, 16 mm och 32 mm. Miljöpåverkan mäts i de fyra påverkanskategorierna klimatförändring, ekotoxikologi, materiella resurser och toxicitet för människor.

	Glas	EVA	Polykarbonat 10 mm	Polykarbonat 16 mm	Polykarbonat 32 mm
Produktion					
Global Warming Potential (GWP) [kg CO ₂ -Eq/m ²]	7,29	2,31	24,3	34,3	52,9
Ekotoxikologi: färskvatten [CTUe/m ²]	149	22,2	496	700	1080
Toxicitet för människor: carcinogenic [CTUh/m ²]	1,57e-9	6,59e-10	4,71e-9	6,64e-9	1,02e-8
Materiella resurser: metaller/mineraler [kg Sb-Eq/m ²]	7,50e-5	1,89e-5	4,10e-5	5,79e-5	8,93e-5

Användning					
Global Warming Potential (GWP) [kg CO ₂ -Eq/m ²]	703	703	703	703	703
Ekotoxikologi: färskvatten [CTUe/m ²]	60 500	60 500	60 500	60 500	60 500
Toxicitet för människor: carcinogenic [CTUh/m ²]	5,37e-7	5,37e-7	5,37e-7	5,37e-7	5,37e-7
Materiella resurser: metaller/mineraler [kg Sb-Eq/m ²]	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517	0,0517
Avfall					
Global Warming Potential (GWP) [kg CO ₂ -Eq/m ²]	0,390	2,52	6,69	9,45	14,6
Ekotoxikologi: färskvatten [CTUe/m ²]	9,65	5,42	14,4	20,3	31,3
Toxicitet för människor: carcinogenic [CTUh/m ²]	3,46e-10	2,28e-10	6,05e-10	8,54e-10	1,32e-9
Materiella resurser: metaller/mineraler [kg Sb-Eq/m ²]	2,26e-6	2,56e-7	6,83e-7	9,64e-7	1,49e-6

Diskussion

Denna studie har ett tydligt resultat. EVA är det material som sammantaget har minst miljöpåverkan och bör därför anses vara det täckmaterial som påverkar miljön minst. Detta resultat skulle kunna bero på att EVA är det tunnaste materialet och därmed krävs mindre material. När en mindre mängd material används går det också åt mindre resurser vid produktion, en faktor som ger en mindre miljöpåverkan. En generell trend som går att se i figur 2 till och med 5 är att ett tunnare täckmaterial ger upphov till mindre miljöpåverkan oavsett vilket material man tittar på.

Resultatet i denna studie har påverkats av de påverkanskategorier som valts ut och jämförts. Resultatet hade troligen sett annorlunda ut om alla påverkanskategorier i EcoInvent använts. Stranddorn (2005) menar att med fler påverkanskategorier som tas med i en livscykelanalys ger resultatet en bredare förståelse av hur de olika materialen påverkar miljön. Men med denna studies omfattning som begränsning var det inte möjligt att jämföra alla 28 påverkanskategorier som fanns i EcoInvent. Urvalet av påverkanskategorier påverkar också resultatet och hade urvalet gjorts annorlunda hade utfallet också kunnat blivit ett annat.

Övriga osäkerheter i studien beror till största del på data från EcoInvent. Det finns en problematik i att det inte går att veta om alla livscykelanalyser är gjorda på precis samma sätt. Av den information som ges i livscykelanalyserna har de samma avgränsningar, vilka processer som är inkluderade och inte. Men det var också flera av informationsfälten som inte var ifyllda och därmed saknas viss information om hur livscykelanalyserna gjorts. I den generella kommentaren stod det även i någon livscykelanalys att data som använts för att genomföra livscykelanalysen varit undermålig eller inte komplett. Nivån av osäkerhet är dessutom olika för de olika påverkanskategorierna. Därtill ska också aspekten av att livscykelanalyserna inte är anpassade efter detta ändamål tas med när resultaten analyseras. Om resultatet hade blivit annorlunda med livscykelanalyserna som genomförs med detta ändamål som syfte går inte att veta. Data som tagits fram från livscykelanalyserna är endast för materialet som täcker växthuset, exempelvis inte ställningen som håller upp materialet. Något som inte alls tagits med i beräkningarna är när materialet ska gå från att bara vara material till att bli den typ av material som krävs för att bli täckmaterial för växthus. EVA-plasten behöver bli en tunn plastfilm och "blåsas upp" (Trädgårdsteknik u.å. (b)),

det vill säga omformas från solid EVA plast till något användarvänligt. Polykarbonatplast går också att använda till annat än kanalplast och processen när polykarbonatplast blir till kanalplast är inte med i beräkningarna. Denna omformning av material är endast något som krävs för de två plasterna i och med att data för glas är för glas som har samma utförande som den typen av glas som används i växthus. Detta medför troligtvis att miljöpåverkan för de två plasterna är något högre än vad som redovisas i resultatet. Ytterligare delar i livscykelns som inte tagits med i beräkningarna är transportaspekten. Givet att EVA behöver bytas ut 6,25 gånger och polykarbonat 1,67 gånger under tidsperioden 25 år ökar också miljöpåverkan med 6,25 respektive 1,67 gånger från transportsektorn. Detta innebär att oberoende av hur stor del av den totala miljöpåverkan som transporter bidrar med kommer det inte vara samma andel vilket i sin tur innebär osäkerheter till denna studiens resultat.

Trots alla ovanstående osäkerheter samt faktorer som påverkat resultatet på olika vis liknar resultaten i denna studie vad Russo och Mugnozza (2005) kom fram till när tre olika typer av växthus jämfördes för att ta reda på vilken som hade minst miljöpåverkan. Skillnaden mellan Russo och Mugnozza (2005) studie och denna är att i studien från 2005 jämförs hela växthuskonstruktionen och inte bara täckmaterialet. I Russo och Mugnozza (2005) studie är det också en annan typ av tunn plastfilm som jämförs med glas men det finns samma trender i resultatet som i resultatet i denna studie. I de tre kategorierna klimatförändring, ekotoxikologi och toxicitet för människor har en tunn plast mindre påverkan än glas. Kategorin materiella resurser finns inte med i Russo och Mugnozza (2005) studie. Detta stärker det tidigare resonemanget om att det är tjockleken på materialet som till stor del påverkar storleken på miljöpåverkan i och med att i Russo och Mugnozza (2005) studie används en annan typ av tunn plast men i samma storleksordning samt glas i samma storleksordning som i denna studie. Russo och Mugnozza (2005) diskuterar eventuell påverkan på resultaten om andelen återvunnet råmaterial blandas in i de material som har de största CO₂ utsläppen. De konstaterar dock att det är stora skillnader mellan de olika materialens miljöpåverkan, vilket också är ett applicerbart resonemang i denna studie. Detta gör att en viss andel återvunnet material har en positiv påverkan på CO₂ utsläppen, att de antagligen minskar, men frågan är om det kommer bli någon skillnad i vilket material som totalt har minst miljöpåverkan.

Figur 2 till 5 visar att miljöpåverkan som är förknippad med energianvändandet som krävs för att värma upp ett växthus under 25 år är mycket högre än miljöpåverkan som förknippas med produktion respektive avfall. Detta sätter materialens miljöpåverkan i ett annat perspektiv och visar att val av material också behöver baseras på hur bra det isolerar för att minska miljöpåverkan i användarstadiet.

Polykarbonat är ett material som från återförsäljare och producenter beskrivs som ett bra alternativ till glas i växthus (Rias u.å.). Argument som används är att det är mer hållbart material, det vill säga att det inte går sönder lika lätt som glas och isolerar bättre. Denna studie visar att ur ett miljöperspektiv är det inte bättre än glas. Ska man ändå välja polykarbonat som täckmaterial i växthus bör man fundera på vilken tjocklek som krävs i och med att miljöpåverkan ökar tydligt med ökad tjocklek på plasten. Ökad tjocklek på plasten har framför allt fördelar som är förknippade med bättre isolationsförmåga. Om det finns ett behov av kraftig polykarbonat och stor isolationsförmåga kan det i framtida studier vara intressant att mer specifikt räkna på energianvändandet vid olika tjocklekar på polykarbonatplast. Kanske är det då inte självklart att desto tunnare täckmaterial desto mindre totalt CO₂-eq utsläpp när energianvändande för en specifik tjockleken och materialet i sig läggs samman. Detta i och med att vi ser i figur 2 att energianvändandet har ett högt värde i jämförelse med CO₂-eq förknippade med materialet. Med ett täckmaterial som isolerar bättre kan energianvändandet förväntas gå ner i och med att växthuset blir mer ekonomiskt i sitt energianvändande (Omer 2009) och i och med detta minska den totala miljöpåverkan i form av CO₂-eq utsläpp. FAO (2013) har visat att ett bättre isolerat växthus, med flera lager av täckmaterial (i olika kombinationer) sänker energianvändandet vid uppvärmning av växthus kraftigt. FAO (2013) uppskattar att energibesparingen kan vara ungefär 20 procent vilket är mycket när jämförelsen görs över 25 år. En minskning i den storleksordningen gör att val av material får ett nytt perspektiv. Detta visar att det är i användarstadiet som man kan göra de stora minskningarna i miljöpåverkan och det är också betydligt lättare att själv påverka användarstadiet både med hur välisolerat växthus som väljs samt att väljs ett renare energislag minskas också den totala miljöpåverkan kraftigt.

EVA-plast är det material som har minst total miljöpåverkan, i denna studie är det intressant ur synvinkeln att plast i många sammanhang anses vara ett miljöproblem (Nagy & Kutti 2016) och plastanvändandet i samhället minskas hela tiden. Från politiskt håll tas beslut plastpåskatt (Regeringen, 2019) och förbud mot engångsartiklar i plast så som bestick (Förordning om engångsprodukter, SFS 2021:996) i hopp om att ändra ett beteende och på så vis minska plasten i samhället. Detta sker inte bara i Sverige utan i hela EU med det så kallade engångsplastdirektivet (Direktiv 2019/904, *The reduction of the impact of certain plastic products on the environment*). Detta är intressant för denna studie i och med denna politik om generellt minskad plast i samhället ger en uppfattning om att andra alternativ än plast är bättre, därför var förväntningen innan studien började att plast inte skulle vara materialet med minst miljöpåverkan. Dock finns det andra aspekter av plastens miljöpåverkan som inte tas upp i denna studie, exempelvis nedskräpning och plast i hav (Jambeck et. al. 2015).

En annan studie (Russo och Mugnozza 2005) som också jämfört glas och plast som täckmaterial i växthus ur ett livscykelperspektiv har kommit fram till

samma resultat som denna studie, detta är något som styrker resultaten. Att plast kan vara ett alternativ med mindre miljöpåverkan än alternativen visas också i Pitawala et al (2022) studie. De har undersökt plast- respektive papperspåsar i Filipinerna ur ett livscykelperspektiv och även här visar det sig att plastpåsar i flera av påverkanskategorierna samt sammantaget har mindre påverkan på miljön än papperskassarna. Dessa resultat kan ses i ett större perspektiv där det är viktigt att inte direkt förknippa plast och miljöproblem utan i många fall är plast det alternativ med minst miljöpåverkan sett ur ett livscykelperspektiv.

Slutligen är det viktigt att förstå att en livscykelanalys endast adresserar potentiell miljöpåverkan Finkbeiner (2014), det går inte att göra absoluta förutsägelser av vad en viss produkt har för miljöpåverkan. Detta innebär att den data som framställs i denna studie endast är för jämförelse mellan de olika typerna av material, och för att få en uppfattning om vilken miljöpåverkan något har. Data som presenteras är inte exakta värden på vad som släpps ut av exempelvis koldioxid vid användandet av en viss produkt.

Fortsatta studier

Med avstamp i denna studie är det för framtida studier intressant att forska vidare kring energianvändandet specifikt för olika material och tjocklekar på framförallt polykarbonat då det är ett material som sägs ha större isolationsförmåga med ökad tjocklek (Rias u.å.). Detta hade nyanserat resultaten av vilket material som har minst miljöpåverkan under användarfasen.

En annan fråga som kräver fortsatta studier är om den plast som i denna studie visat sig vara det alternativ med minst miljöpåverkan påverkar miljön på något vis när det blivit avfall, om den riskerar att hamna i haven och skapa problem där. Det är också intressant att undersöka attityden till plast som material generellt i och med att det på många vis framställs som något vi ska sluta använda i och med flera olika politiska beslut (Regeringen, 2019 och Förordning om engångsprodukter, SFS 2021:996).

Ytterligare fortsatta studier berör de avgränsningarna som gjorts i denna studie. Transporternas påverkan på miljön och storleken på dessa i perspektiv till denna studies resultat hade varit intressant att studera vidare samt att jämföra olika typer av transportmedel och väga in om olika material kräver olika typer av transporter, emballage och så vidare och vad detta har för miljöpåverkan. Vill man utvidga studien ytterligare är omvandlingen av de två plasttyperna (EVA och kanalplast) från solid material till den form de har i växthus och vilken miljöpåverkan den processen har något kräver fortsatta studier men ger ännu mera djupgående analyser.

Slutsats

Syftet med denna studie vara att undersöka vilket material som används för täckning i växthus som har minst miljöpåverkan. Studien kommer fram till att EVA är det material som ger minst miljöpåverkan utifrån de valda påverkanskategorierna. Miljöpåverkan är totalt sett lägst för EVA när påverkanskategorierna för avfall och produktion slås ihop. Fortsatt har glas sammantaget produktion och avfall näst minst miljöpåverkan och därefter kommer polykarbonat där desto tjockare material ger desto större påverkan på miljön. Denna studie visar att användarfasen av livscykeln det vill säga energianvändningen som likställts med uppvärmning av växthus har betydligt större miljöpåverkan än produktion och avfallsfaserna i alla fyra påverkanskategorier. Detta innebär att det inte är valet av täckmaterial som har störst påverkan på miljön när det kommer till växthus. Troligen finns det också flera andra delar i ett växthusanvändande som inte tagits upp i denna studie som också har en påverkan på miljön. Trots en del osäkerhetsfaktorer är resultaten tydliga och de stärks även av liknande studier som kommit fram till samma slutsatser.

Tack

Jag vill tacka mina handledare från Lunds universitet Raúl López i Losada och Nina Reistad. Jag vill också tacka Niclas Mörck som varit kontaktperson på Grobruket och initiativtagare till denna studie. Även Sustainalink och Madeleine Brask ska ha ett stort tack som väckte denna fråga hos mig och möjliggjort samarbetet med Grobruket. Slutligen vill jag tacka studiekamrater, min handledningsgrupp, vänner och familj för kloka tips och råd samt allt stöd.

Referenser

AIS. (2020, 11 februari). *5 things you should know about flat glass*. AIS glass. Hämtat den 24 maj 2022 från <https://www.aisglass.com/5-things-you-should-know-about-flat-glass/>

Allt om uterum. (u.å.). *Uterumstak: stor guide över olika materialval*. Allt om uterum och växthus. Hämtat den 16 maj 2022 från <https://www.alltomuterum.com/kanalplast-eller-glas-till-uterumstak/>

Bibi-Triki, N., Bendimerad, S., Chermiti, A., Mahdjoub, T., Draoui, B., Abène, A. (2011). Modeling, Characterization and Analysis of the dynamic behavior of heat transfers through polyethylene and glass walls of Greenhouses. *Physics Procedia*, 21, 67-74 <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.10.011>.

Boulard, T. (2015). *AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique – Version 1.2* [Dataset]. ADEME.

British Plastic Federation. (u.å.) *Ethylene Vinyl Acetate EVA*. Hämtad den 21 april 2022 från <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/EVA.aspx>.

Contarini, A., & Meijer, A. (2015). LCA comparison of roofing materials for flat roofs. *Smart and Sustainable Built Environment*. 4(1), 97-109. <https://doi.org/10.1108/SASBE-05-2014-0031>

Direktiv 2019/904. *The reduction of the impact of certain plastic products on the environment*. Europaparlamentet, Europeiska unionens råd. <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>

Ecoinvent.org. *Ecoinvent*. Hämtad den 19 maj från <https://ecoinvent.org/>

Ecoinvent (u.å.). *System Models*. Ecoinvent. Hämtat den 15 maj 2022 från <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models#!/allocation>

European Commission (u.å.). *Environmental Footprint*. European Commission. Hämtat den 10 maj 2022 från <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>

FAO. (2013). *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops*. (FAO plant production and protection paper 217). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Finkbeiner, M. (2014). The International Standards as the Constitution of Life Cycle Assessment: The ISO 14040 Series and its Offspring. I W, Klöpffer (red.), *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment* (s. 85-106). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8697-3_3

- Golstein, L., (2014). *How to use USEtox characterization factors in SimaPro*. Pre-sustainability. Hämtad den 10 maj 2022 från <https://pre-sustainability.com/articles/how-to-use-usetox-characterisation-factors-in-simapro/>
- Hischier, R. (2007) *Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper*. [Dataset] Swiss Centre for LCI, Empa – TSL
- Huijbregts, M, A, J., Steinmann, Z, J, N., Elshout, P, M, F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 22, 138–147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- IPCC. (2018) *Climate Change 2018: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press
- ISO. (u.å. a). *Benefit of standards*. ISO. Hämtat den 11 maj från <https://www.iso.org/benefits-of-standards.html>
- ISO. (u.å. b). *ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines*. Iso.org. Hämtat den 10 maj 2022 från <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- Jambeck, J, R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler T, R., Perryman, M., Andrady, A., Ramani Narayan, R., och Law, L, K., (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 374 (6223), 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kanalplast.se (u.å.). *Lista på alla kanalplasttak i Sverige*. Hämtad den 15 maj 2022 från <https://www.kanalplast.se/alla-kanalplastak-pa-marknaden>
- Kellenberger, D., Althaus H.-J., Jungbluth N., & Künniger T. (2007). *Life Cycle Inventories of Building Products*. [Dataset] Swiss Centre for LCI, Empa – TSL.
- Maraveas, C. (2019) Environmental Sustainability of Greenhouse Covering Materials. *Sustainability*, 11(21), 6129. <https://doi.org/10.3390/su11216129>
- Nagy, A., & Kuti, R. (2016). The environmental Impact of plastic Waste Incineration. *AARMS*, 15(3), 231-237. <http://doi.org/10.32565/aarms.2016.3.3>
- Naturvårdsverket. (2019). *Begränsad klimatpåverkan – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019* (Rapport 6859).
- Nguyen, T, N. (2016). Carbon dioxide equivalent. I S. I. Dutch (Red.), *Encyclopedia of Climate Change* (2 ed, vol 1, s. 180). Grey house publishing.
- Omer, M, A., (2009). Energy use and environmental impacts: A general review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 1(5). <http://doi.org/10.1063/1.3220701>
- Pan, Z. (2016). Climate Change and global warming. I S. I. Dutch (Red.), *Encyclopedia of Climate Change* (2 ed, vol 1, s. 234-236). Grey house publishing.
- Plastexpertern (u.å.). *Kanalplasttak*. Plastexpertern. Hämtat den 16 maj 2022 från <https://plastexpertern.se/kategori/kanalplast/>

- Pitawala, P., Danthurebandara, M., & Rajapaksha, L. (2022) Life cycle assessment of paper and plastic grocery bags used in Sri Lankan supermarkets. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-03906-5>
- Pryshlakivsky, J., Searcy, C., (2013) Fifteen years of ISO 14040: a review. *Journal of Cleaner Production*, 57, 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.038>.
- Regeringen. (2019). *Skatt på plastbärkassar* (prop. 2019/20:47). Regeringskansliet.
- Regeringskansliet. (2020 3 februari). *Mål för miljö och klimat*. Regeringskansliet. Hämtad den 19 maj från <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/miljo-och-klimat/mal-for-miljo/>
- Rias. (u.å.). *Kanalplasttak*. Rias. Hämtad den 5 maj 2022 från <https://www.rias.se/bygg/produkter/byg/kanalplast-620#alt>
- Russo, G., Mugnozza, S, G. (2005). LCA Methodology Applied to Various Typology of Greenhouses. *ISHS Acta Horticulturae*, 691, 837-843. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.103>
- Saint Gobain (u.å.). *Mechanical Properties of glass*. <https://uk.saint-gobain-building-glass.com/en-gb/architects/physical-properties>
- Scarascia-Mugnozza, G., Sica, C. & Russo, G. (2012). Plastic materials in European Agriculture: Actual use and perspectives. *Journal of Agricultural Engineering*, 42(3) 15–28. <https://doi.org/10.4081/jae.2011.3.15>
- SFS 2021:996. *Förordning om engångsprodukter*. Miljödepartementet.
- Stranddorf, H, K., Hoffmann, L., Schmidt, A., & Force Technology. (2005). *Impact categories, normalization and weighting in LCA*. (Environmental News no. 78). Danish ministry of the Environment.
- Symeonidis, A. (u.å.) [Dataset] Hämtad den 13 maj 2022.
- Treyer, K. u.å. [Dataset] Hämtad den 13 maj 2022.
- Trädgårdsteknik. (u.å a.). *Växthusfolie Scandinavian Class Sun Savior Clear 5 Pro 180my 6,5m bred I valfri längd, pris/6,5/löpmeter*. Hämtad den 21 april 2022 från <https://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/vaxthusfolie-scandinavian-class-sun-saver-clear-5-pro-180my-6-5m-bred-i-valfri-langd-pris-6-5m-lopmeter/5869-0-11/>
- Trädgårdsteknik. (u.å b.) *Växthusfolie Scandinavian Class*. Trädgårdsteknik/ttshop.se. Hämtad den 11 maj 2022 från <https://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/folie-vaxthusfolie-scandinavian-class-i-bredder-6-5-till-15meter/2016-1278-11/>
- USEtox. (u.å.). *Frequently asked questions – How to use USEtox characterization factors*. Usetox. Hämtad den 10 maj 2022 från <https://www.usetox.org/faq-page/23-0#t23n100>
- van Oers, L., Guinée, J, B., & Heijungs, R. (2020) Abiotic resource depletion potentials (ADPs) for elements revisited—updating ultimate reserve estimates and introducing time series for production data. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 294–308. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01683-x>

Withgott, J., & Laposata, M. (2015). *Environment The Science Behind the Stories* (5th appl., global ed.). Pearson.