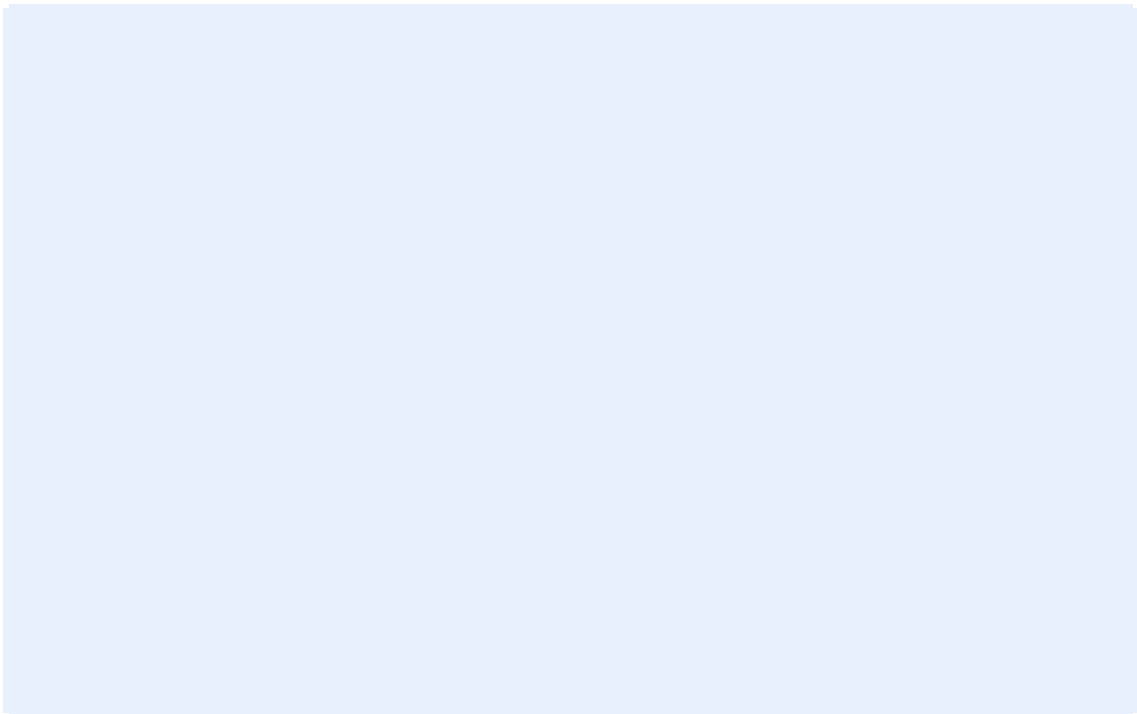




BIOEKONOMI OCH HÄLSA
HÅLLBAR KONSUMTION
OCH PRODUKTION



Klimatavtryck från engångsförkläden i sjukvården

Andras Baky

RISE Rapport 2021:16



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden



Klimatavtryck från engångsförkläden i sjukvården

Andras Baky

Abstract

Climate impact of disposable aprons used in healthcare

Currently Swedish healthcare uses large amounts of disposable products, many of which are made from plastic. For example, Region Uppsala annually uses 3,2 million disposable plastic aprons. Currently these aprons are manufactured from fossil based polyethene plastic. This causes emissions of 270 tonnes of carbon dioxide equivalents over their life cycle from extraction of raw material to end of life through incineration. If substituting the fossil polyethene with plastic manufactured from renewable material, there is a potential to reduce the climate impact from disposable plastic aprons. Current study has compared disposable plastic aprons made from fossil polyethene with aprons made from renewable raw materials. Two renewable plastics were evaluated, disposable apron made of polyethene manufactured from bioethanol from Brazilian sugar cane and disposable aprons made of the renewable plastic polylactide (PLA) origination from sugar cane grown in Thailand. The result is that using biopolyethene reduces climate impact with 60 % and PLA aprons with 40 % compared to fossil polyethene. PLA has a component that currently is of fossil origin. If in the future this component is substituted with a renewable component there is a potential to reduce the PLA climate impact with as much as 20 % compared to current reduction in comparison to fossil polyethene.

Key words: Bioplast, klimat, klimatpåverkan, klimatavtryck, systemanalys

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2021:16

ISBN: 978-91-89167-99-5

Uppsala 2021

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	2
Förord	4
Sammanfattning	5
1 Inledning	6
2 Mål och omfattning	7
2.1 Systemgränser och funktionell enhet	7
2.2 Avgränsningar.....	7
3 Indata för beräkning av klimatavtryck	8
3.1 Förkläden	8
3.2 Allmänna indata	8
3.3 Produktion av polyeten.....	9
3.3.1 Produktion av fossil polyeten	9
3.3.2 Produktion av biopolyeten från Brasilien	9
3.4 PLA tillverkad i Thailand.....	10
3.4.1 Odling och skörd av sockerrör i Thailand	11
3.4.2 Odling av spannmål och produktion av etanol från spannmål	12
3.4.3 Odling av sockerbetor och produktion av etanol från spannmål	13
Produktion av polybutyrat adipat tereftalat (PBAT)	14
3.5 Framställning av rapsolja	14
3.6 Produktion av kalciumkarbonat	15
3.7 Transporter	15
3.8 Anläggning för tillverkning av förkläden.....	16
3.9 Förbränningsanläggning och askdeponering	16
4 Studerade scenarier	17
4.1 Scenario 1, förkläden tillverkade av fossil polyeten.....	18
4.2 Scenario 2, Förkläden tillverkade av biopolyeten	19
4.2.1 Produktion av förkläden med sockerrör som råvara.....	19
4.2.2 Produktion av förkläden med spannmål som råvara	20
4.2.3 Produktion av förkläden med halm som råvara.....	20
4.3 Scenario 3, förkläden tillverkade av polylaktid	20
4.3.1 Produktion av förkläden med sockerrör som råvara.....	20
4.3.2 Produktion av förkläden med sockerbetor som råvara	21
5 Resultat	22
5.1 Scenarioranalys	23
5.2 Känslighetsanalyser	24

5.2.1	Öka minska transporter med 50 %: Transporterna ökas och minskas med 50 %	24
5.2.2	Variation av klimatavtryck från produktion av fossil polyeten.....	24
5.2.3	Marginaler i stället för medelenergi	25
5.2.4	Öka minska effekten av PBAT	25
6	Diskussion	26
6.1	Direkt och indirekt markanvändning	26
6.2	Använda restprodukter som råvara.....	27
7	Slutsatser	27
8	Referenser	27

Förord

Den svenska sjukvården använder stora mängder engångsmaterial av plast, bl.a. skyddsförkläden. Syftet med projektet är att både förstå var behoven finns för att kunna byta ut engångsmaterial av fossilt ursprung till engångsmaterial tillverkade av förnybara material. Detta görs för att minska miljöavtrycket, klimatpåverkan från regionens verksamhet samtidigt som en ny bransch öppnas upp för nytt företagande.

Råvaran till bioplasten kommer från biomassa som kan ha sitt ursprung från svenskt jord- och skogsbruk och vara lokalt producerad. Den areella näringen får möjligheter till ökad lönsamhet genom att utöka produktportföljen inom växtodlingen och uppgradering av olika restströmmar.

Projektet är finansierat av Tillväxtverket genom Europeiska unionen, europeiska regionalutvecklingsfonden. Delprojektet beräkning av klimatavtrycket för produktion, användning och omhändertagande av använda förkläden har utförts av RISE (Andras Baky)

Sammanfattning

I Sverige använder sjukvården stora mängder med engångsartiklar som slängs efter användning. I dagsläget använder exempelvis Region Uppsala varje år ca 3,2 miljoner engångsförkläden av plast som om de ersätts med biobaserade alternativ ger en sänkning av koldioxidutsläppen. Det finns även möjligheter att ersätta ytterligare produkter där skoskydd och soppåsar är produkter med stor potential.

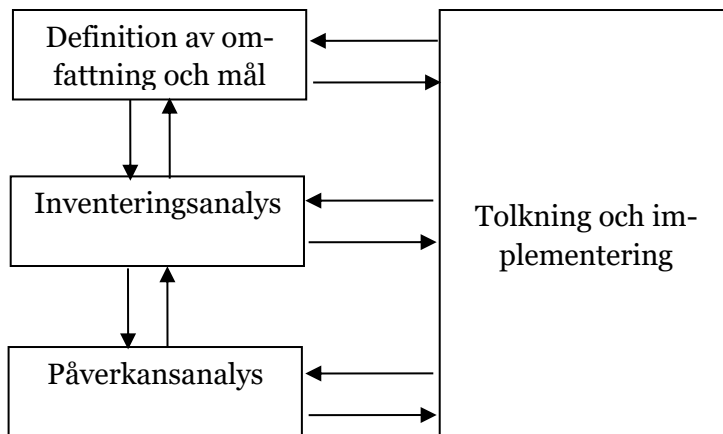
Syftet med denna studie är att beräkna klimatavtrycket från engångsförkläden tillverkade av polyeten från förnybara råvaror (BioPE) och från polylaktid (PLA) jämfört med förkläden tillverkade av fossil råvara (FPE). Målen är att beräkna hur mycket klimatavtrycket kan minska jämfört att använda fossil råvara.

Resultatet av klimatberäkningen visar på att det sker en minskning när plaster av fossilt ursprung ersätts av plaster producerade från förnybar råvara. Beroende vilken typ av plast som tillverkas och ersätter fossil polyeten sker en minskning av koldioxidutsläppen. Förkläden av biopolyeten minskar med ca 60 % och förkläden av polylaktid med 40 % jämfört förkläden från fossil plast från produktion av råvaror ända fram till dess att förklädena omhändertas efter användning. För fossil polyeten dominerar klimatpåverkan från tillverkning av granuler och utsläppen av fossil koldioxid vid förbränningen där kolet i polyeten släpps ut som koldioxid. När förkläden av Biopolyeten används försvinner nästan avfallshanteringen helt beroende på att kolet i biopolyeten är förnybar och därmed inte belastar klimatet. Biopolyetenens klimatavtryck domineras av steget med odling, skörd och etanolproduktion samt själva tillverkningsprocessen av plastgranuler. För polylaktid tillverkad från sockerrör är det produktion av en tillsats, en fossil råvara för att nå önskade egenskaper och produktion av själva plasten.

I dagsläget produceras den mesta bioplasten i Sverige från importerad biomassa. Ett scenario av intresse är om det finns möjlighet att producera från jungfrulig råvara från biomassa som har sitt ursprung i Sverige eller från olika restprodukter. Att använda jungfruliga råvaror som olika socker- och stärkelsrika produkter från jordbruket medför en ökad riks för konkurrens med produktion av livsmedel och foder. Att använda biprodukter och restprodukter från olika industriell verksamhet är därför mer fördelaktigt än att använda jungfrulig råvara. Utöver jordbruket finns även tillgång till skogsråvara både direkt och i form av olika restprodukter.

1 Inledning

Inom sjukvården används stora mängder engångsmaterial av plast, bl.a. skyddsförkläden. Som exempel använder Region Uppsala ungefär 3,2 miljoner förkläden varje år. Förklädena är möjliga att ersätta med biobaserade alternativ som ger en sänkning av koldioxidutsläppen. Även andra produkter som skoskydd och soppåsar har potential att bidra till minskad klimatpåverkan. Syftet med denna studie är att beräkna klimatavtrycket från engångsförkläden tillverkade av polyeten från förnybara råvaror (BioPE) och från polylaktid (PLA) jämfört med förkläden tillverkade av fossil råvara (FPE).



Figur 1. Arbetsgången vid genomförande av en livscykelanalys (LCA)

Genom att använda metodik från livscykelanalys (LCA) kan klimatavtrycket beräknas. Livscykelanalys är en standardiserad metod för att främst kvantifiera miljöpåverkan för varor, tjänster mm över hela deras livscykel (Figur 1).

Studien är en förenklad LCA där enbart klimatpåverkan beräknas. Klimatpåverkan är bidraget till växthuseffekten uttryckt som GWP, global warming potentials. Klimatavtryck anges som koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv). Det beräknas genom att utsläpp som bidrar till ändrat klimat viktas med ett värde som anger vad effekten är om alla utsläpp vore koldioxid (CO₂). Förutom koldioxid sker bidrag till klimatpåverkan från utsläpp av metan (CH₄) och lustgas (N₂O). Påverkan på klimat angivet som Global Warming Potentials (GWP) använder i denna studie viktningsfaktorer från IPCC (2013) och kan anges för 20, 100 eller 500 års påverkan i atmosfären. I denna studie används 100-årsperspektivet GWP₁₀₀ (Tabell 1).

Processer av i en produkts livscykel kan generera andra produkter över sin livscykel. För att kunna ta hänsyn till dessa bi- och sidoflöden som uppstår används systemexpansion och allokering för att beräkna och ta hänsyn till att effekten av dessa produkter och biprodukter för det studerade systemet. Vid systemexpansion följer emissioner huvudprodukten och effekten av omhändertagande av biprodukterna adderas till huvudflödet. Vid allokering fördelas miljöpåverkan mellan olika produkter och biprodukter. Allokering kan ske genom fysisk allokering där man fördelar miljöpåverkan utifrån mängd eller volym, energiallokering där produkternas energiinnehåll styr fördelningen och ekonomisk allokering där produkternas värde styr fördelningen. Inom livscykelanalys vill man försöka undvika allokering där det är möjligt då resultatet påverkas av

vald allokeringsmetod. LCA rekommenderar systemexpansion där man istället följer de olika produkterna omhändertagande. Då systemexpansion inte alltid är möjlig att utföra, till exempel på grund av att komplexa system studeras väljs istället allokering. Hur allokering används beror av vad som studeras. Det finns LCA där olika allokeringsmetoder använts inom samma studie för olika delflöden och det finns studier där endast en metod använts. I denna studie kommer fysisk allokering och ekonomisk att användas.

2 Mål och omfattning

Målet är att beräkna ett klimatavtrycket från användning av engångsförkläden i sjukvården. Beräkningen vill visa att det finns en potential att minska klimatpåverkan när engångsförkläden tillverkas från förnybar råvara istället för fossil råvara. Studien omfattar hela kedjan från odling av biomassa alternativt uttag av olja eller naturgas (för fossil plast) för att tillverka olika engångsförkläden fram till att de omhändertas efter användning genom förbränning och energiutvinning.

2.1 Systemgränser och funktionell enhet

Systemet omfattar från produktion av råvara som biomassa eller olja för tillverkning av plaster till omhändertagande av uttjänt produkt. Fyra olika scenarier studeras för förkläden av plast

1. Tillverkning av förkläden från polyeten tillverkad av fossil råvara
2. Tillverkning av förkläden från polyeten tillverkad av förnybar råvara. A) Etanol producerad från sockerrör odlad i Brasilien. B) Etanol producerad från spannmål i Sverige
3. Tillverkning av engångsförkläden tillverkade av polylaktid tillverkad från sockerrör odlade i Thailand
4. Tillverkning av engångsförkläden tillverkade av förnybar plast (PLA) baserad på odling av svenska råvaror

Den funktionella enheten är den enhet som alla resultat relateras till. I denna studie kommer den funktionella enheten vara **g CO₂-ekv/ förkläde**.

2.2 Avgränsningar

Enbart miljöpåverkanskategorin klimatpåverkan, växthuseffekt kommer att beräknas. Klimatpåverkan kommer att presenteras som potentiell växthuseffekt (eng. global warming potential, GWP). Metodik för att bestämma klimatpåverkan hämtas från IPCC (2013). Resultatet presenteras som koldioxidekvivalenter, CO₂-ekv. Klimatavtrycket beräknas i denna studie som GWP₁₀₀ med viktningsfaktorer från IPCC (2013) inkluderat "carbon climate impact (cCi)", se Tabell 1. "Climate carbon feedback" hänvisar till effekten som ett föränderligt klimat har på kolcykeln, vilket påverkar atmosfärisk CO₂, vilket i sin tur förändrar klimatet ytterligare (Myhre m fl., 2013).

Tabell 1, Viktningsfaktorer för att beräkna klimatavtryck (IPCC, 2013)

Emission		Viktningsfaktor, GWP ₁₀₀ ^A
Koldioxid (Fossil)	CO ₂	1
Metan	CH ₄	34
Lustgas	N ₂ O	298

^Ainklusive carbon climate impact

3 Indata för beräkning av klimatavtryck

Data samlas in från olika källor och sammanställs till en beskrivning av klimatavtrycket för de studerade engångsförkläderna. Det mesta av data som används kommer från andra studier, både LCA och andra typer av studier. En stor del av den data som samlas in avseende de olika materialen till förkläderna anges per kg material. Detta översätts till den funktionella enheten g CO₂-ekv/ förkläde.

3.1 Förkläden

Förklädena som studeras är tillverkade av två olika plaster polyeten och polylaktid. Förutom plasterna innehåller förklädena andra material som krita i form av kalciumkarbonat, vegetabilisk olja och andra polymerer i detta fall polybutyrate tereftalat (PBAT). Blandningen av de olika materialen ger förklädena de eftertraktade egenskaper som ställs på dem avseende hållbarhet, smidighet, användbarhet mm. Förkläden av polyeten tillverkas antingen från fossil råvara, olja, eller från förnybar råvara, etanol producerad från sockerrör. Polylaktid produceras från socker producerad från sockerrör. Förklädena tillverkade av polyeten väger 22 g och de av polylaktid väger 18 g. Det gör att man från 1 kg plast, polyeten eller polylaktid, kan tillverka 45 förkläden av polyeten och 55 förkläden av polylaktid.

3.2 Allmänna indata

Allmänna indata är information som är gemensamma för samtliga studerade scenarier. Det är främst klimatpåverkan från generering av energi och data för transporter. Utöver detta är det klimatavtryck från produktion av växtnäring och bekämpningsmedel vid odling av biomassa (Tabell 2).

Tabell 2. Allmänna indata använda vid beräkning av klimatavtryck.

Parameter		Enhet
Svensk medelelmix	47	g CO ₂ -ekv/ kWh el levererad
Nordisk medelelmix	97	g CO ₂ -ekv/ kWh el levererad
El från naturgaskombi	258	g CO ₂ -ekv/ kWh el levererad
Kraftvärmeproduktion	81	g CO ₂ -ekv/ kWh värme & el levererad
Mineralgödsel, kväve	6,2	kg CO ₂ -ekv/ kg kväve producerad
Mineralgödsel, fosfor	1,1	kg CO ₂ -ekv/ kg fosfor producerad
Mineralgödsel, kalium	0,6	kg CO ₂ -ekv/ kg kalium producerad
Bekämpningsmedel	10,1	kg CO ₂ -ekv/ kg aktiv substans
Diesel	2,8	kg CO ₂ -ekv/ liter diesel
Skogsflis	2,4	g CO ₂ -ekv/ MJ energi i flis (enbart produktion & distribution)

Data för svensk elmix är från Energimyndigheten (www, 2018) och nordisk elmix, El från naturgaskombi och kolkondens från Gode m fl. (2011). Kraftvärmeproduktionsdata används i scenarierna för att kompensera skillnad i energi genererad vid förbränning av förkläden. Mineralgödselkväve och bekämpningsmedel ingår i beräkningen av klimatpåverkan i samband med odling av biomassa. Diesel används även för att beräkna klimatpåverkan från transporter. Utgörs av produktion och distribution samt användning (Gode m fl., 2011). Fördelningen är ca 0,1 kg CO₂/ liter är produktion och distribution och 2,6 kg CO₂/ liter är användning. Klimatpåverkan för skogsflis är hämtad från Gode m fl. (2011).

3.3 Produktion av polyeten

Polyeten produceras från fossil olja eller från förnybar etanol. Etanolen produceras från sockerrör i Brasilien. I scenariot där etanolen produceras i Sverige antas att spannmål från Sverige är råvaran.

3.3.1 Produktion av fossil polyeten

Utsläppen av CO₂-ekv vid tillverkning av fossil PE och PET varierar mellan 1,8 – 3,1 kg CO₂-ekv/ kg polymer som tillverkats (Tabell 3). Detta är emissioner från råvara till färdig polymer vid fabriksgrind. I denna studie används ett medeltal för tillverkning ett antal olika LDPE och HDPE hämtade från Ecoinvents databas. Medeltalet som används i studien är **2,188 kg CO₂-ekv/ kg PE**. Kolhalten för polyeten är 85,7 % och all kol är fossil till sitt ursprung. 1 kg PE ger 0,887 kg kol som ger ett utsläpp på 3,14 kg CO₂/ kg PE.

Tabell 3. Emission av koldioxid från tillverkning av olika polymerer tillverkade från fossil råvara (kg CO₂-ekv/ ton polymer).

Polymer	Emission av CO ₂ -ekv	Referens
PE-HD granulate	1,800	Groot & Borén, 2010
PE-LD granulat	2,100	Groot & Borén, 2010
Petrochemical PE	2,100	Plastic Europe(www)
PET, granulate, amorphous, at plant	2,702	Ecoinvent ver 2.2
PET, granulate, bottle grade, at plant	2,897	Ecoinvent ver 2.2
HDPE, granulate, at plant	1,948	Ecoinvent ver 2.2
LDPE, granulate, at plant	2,103	Ecoinvent ver 2.2
LLDPE, granulate, at plant	1,853	Ecoinvent ver 2.2
Medeltal	2,188	

3.3.2 Produktion av biopolyeten från Brasilien

Sockerrör är råvaran som används vid tillverkning av biopolyeten. Polyeten tillverkas av det Brasilianska företaget Braskem. De har låtit utföra en LCA av deras produktion av polyeten (Zeim m fl., 2013). Tabell 4 visar klimatavtrycket från odling av sockerrör fram till färdig polyeten vid fabriksgrinden.

Tabell 4. Bidrag till GWP vid tillverkning av förnybar PE, 1 kg, från Brasilien (Braskem, www)

Processteg	Data från LCA		Använda data i denna studie
Sockerrörsodling			
Odling och skörd	0,91	27,5 kg sockerrör	0,91
Ändrad markanvändning	-1,10		0
Upptag av CO ₂ i biomassa	-3,14		0
Tillverkning av etanol		2,4 dm ³ (1,894 kg)	
Produktion	0,03		0,03
Förbränning av bagasse	0,16		0,16
Elproduktion	-1,17		-1,17
Tillverkning av PE		1,0 kg Bio-PE	
Transport av etanol	0,46		0,46
Produktion	0,76		0,76
Summa	-3,09		1,15

I Tabell 4 anger Braskem (www) den totala påverkan från odling av sockerrör till produktion av PE till -3,09 kg CO₂-ekv/ kg. Det negativa värdet beror av att hänsyn tas till att odlingen tar upp 3,14 kg CO₂-ekv/ kg från atmosfären, ändrad markanvändning sparar 1,1 kg CO₂-ekv/ kg samt att elproduktion i samband med tillverkning av etanol sparar 1,17 kg CO₂-ekv/ kg.

Upptag av CO₂ i biomassa kommer att korrigeras för att bli jämförbar med andra polymerer som PLA. Upptaget av kol i biomassa räknas bort då mängden kol som togs upp av biomassan släpps ut i slutet av livscykeln i samband med förbränning. Ändrad markanvändning tas bort då det saknas information om ändrad markanvändning när jämförelse ska ske med etanol tillverkad från spannmål eller sockerbeter.

3.4 PLA tillverkad i Thailand

Utsläppen av att tillverka polylaktid från thailändskt sockerrör anges till 0,5 kg CO₂e/ kg polylaktid som produceras (Groot & Borén, 2010). Orsaken till den låga klimatpåverkan från produktion av polylaktid i Thailand beror på att sockerrörsodlingen utgörs av sparad koldioxid från grödans upptag av koldioxid från atmosfären (Tabell 5). Polylaktid har kemisk beteckningen C₃H₄O₂ vilket ger en kolandel på 50 % dvs 1 kg polylaktid innehåller 0,5 kg C vilket motsvarar 1,8 kg CO₂ vid förbränning. Då polylaktid är biologiskt nedbrytbar genom kompostering och brännbar kommer denna mängd kol att åter släppas ut i atmosfären när polylaktidförklädet nått slutet på sin livscykel och förbränns. I livscykelanalys räknas normal inte biogent kol ha ett bidrag till den globala uppvärmningen på grund av detta resonemang. Därför är valet att inte ange odlingen som ett negativt värde för att kunna vara jämförbar med andra råvaror. Odling av sockerrör i Thailand är inte utan klimatpåverkan utan är beräknad till 0,23 kg/ kg PLA, se kapitel 3.4.1.

Tabell 5. klimatpåverkan (g CO₂-ekv/ kg PLA) vid tillverkning av polylaktid i Thailand (Groot & Borén, 2010) samt data som använts i denna studie.

Process	Från Groot & Borén (2010)	Använda data i denna studie
Odling av sockerrör	-1 800	230 ^A
Produktion av socker	100	100
Produktion av processkemikalier	800	800
Transporter	100	100
Elanvändning PLA-produktion	600	600
Ånga till PLA-produktion	700	700
Total	500	2 530

^A Beräkningen av klimatpåverkan från odling av sockerrör i denna studie finns beskrivet i kapitel 3.4.1.

3.4.1 Odling och skörd av sockerrör i Thailand

Data för odling av sockerrör är hämtad från Rathnayake m fl. (2018) och Groot & Borén (2010). Data avser tillförsel av växtnäring, användning av bekämpningsmedel, insatt energi som diesel till fältarbeten och skörd (Rathnayake m fl., 2018) och data avseende emissioner från odling är hämtade från Groot & Borén (2010). Fysisk allokering har använts för att fördela klimatavtrycket från odling till produkter med avseende på deras mängden olika produkter från odling. Detta för att data avseende priser på sockerrör, sockerrörsavfall i fält, socker i Thailand saknas och ekonomisk allokering inte är möjlig.

Tabell 6. Oallokerad klimatpåverkan från odling av sockerrör (Rathnayake m fl., 2018 och Groot & Borén, 2010)

parameter	Mängd	Enhet	Mängd CO ₂	Enhet
Drivmedel				
Diesel	167	liter	468	kg CO ₂ -ekv
Växtnäring				
Kväve (N)	101	kg kväve (N)	626	kg CO ₂ -ekv
Fosfor (P)	71,5	kg fosfor (P)	429	kg CO ₂ -ekv
Kalium (K)	192	kg kalium (K)	564	kg CO ₂ -ekv
Summa Växtnäring			1 620	kg CO ₂ -ekv
Bekämpningsmedel				
Paraquat	1,1	kg aktiv substans	11	kg CO ₂ -ekv
Glyphosate	0,16	kg aktiv substans	2	kg CO ₂ -ekv
Atrazine	3,9	kg aktiv substans	39	kg CO ₂ -ekv
Ametryn	3	kg aktiv substans	30	kg CO ₂ -ekv
Summa bekämpningsmedel	8,16	kg aktiv substans	82	kg CO ₂ -ekv
Emissioner				kg CO ₂ -ekv
Ammoniak (NH ₃ -N)	10%	av tillfört N	10,1	kg NH ₃ -N
Kväveoxider (NO _x)	1%	av tillfört N	1,01	kg NO _x -N
Lustgas (N ₂ O)	1,50%	av tillfört N	451	kg CO ₂ -ekv
Läckage	20%	av tillfört N		kg CO ₂ -ekv
Indirekt lustgas (N ₂ O)	1%	av NH ₃ , N-läckage och NO _x	93	kg CO ₂ -ekv
Summa emissioner			2 715	kg CO ₂ -ekv
Totala emissioner från odling			4 921	kg CO ₂ -ekv

Totalt är klimatavtrycket från odling av sockerrör 4 921 kg CO₂-ekv, 88 % följer sockerröret till sockerbruket. Vid sockerbruket allokeras 34 % till socker. Totalt belastas socker med $0,88 \cdot 0,34 = 0,299$ eller 29,9 % av klimatavtrycket från odling och skörd. Det ger att odlingens klimatavtryck per kg socker är 0,1449 kg CO₂-ekv/ kg socker. För att tillverka 1 kg PLA krävs 1,6 kg socker (Corbion, 2017) vilket ger att odlingens bidrag per kg PLA är **0,23 kg CO₂-ekv/ kg PLA**.

3.4.2 Odling av spannmål och produktion av etanol från spannmål

Som alternativ till sockerrör för att producera biopolyeten kan spannmål användas. I produceras etanol från spannmål vid Agroetanols anläggning i Norrköping (www.lantmannenagroetanol.se). I ett scenario prövas vad förändringen av klimatavtrycket blir om spannmål används som råvara för att producera etanol i stället för etanol från sockerrör.

Vid odling av höstveten beräknas bidraget till klimatpåverkan för användning av diesel vid odling och skörd, produktion av växtnäring (kväve, fosfor och kalium), bekämpningsmedel samt utsläpp av växthusgaser, främst lustgas (N₂O) vid odling (Tabell 7).

Tabell 7. Klimatavtryck vid odling av spannmål, höstveten.

Parameter		Enhet	Klimatpåverkan	Enhet
Skörd	5 693	kg/ ha		
Utsäde	194	kg/ ha		
Diesel till fältarbete & skörd	67,2	l/ ha	189,5	kg CO ₂ -ekv
Diesel till transport fält till gård	5,6	l/ha	15,8	kg CO ₂ -ekv
Eldningsolja till torkning	628	kWh	5,4	kg CO ₂ -ekv
Mineralgödsel, kväve	145	kg/ ha	899	kg CO ₂ -ekv
Mineralgödsel, fosfor	9	kg/ ha	32,5	kg CO ₂ -ekv
Mineralgödsel, kalium	12	kg/ ha	35,3	kg CO ₂ -ekv
Bekämpningsmedel	1,2	kg AS	12	kg CO ₂ -ekv
Emissioner från åkermark				
Lustgas från tillförsel av kväve	1,82	kg N ₂ O/ ha	542,4	kg CO ₂ -ekv
Lustgas från skörderester	0,365	kg N ₂ O/ ha	108,8	kg CO ₂ -ekv
Indirekt lustgasavgång	0,02	kg N ₂ O/ ha	5,96	kg CO ₂ -ekv

För att producera 1 kg polyeten behövs 2,43 liter etanol. Utbytet mellan spannmål och etanol är 2,7 kg spannmål per liter etanol. Behovet av spannmål för 1 kg polyeten är 6,6 kg spannmål. Vid tillverkning av etanol från spannmål produceras även en biprodukt, drank som används som djurfoder. Om en ekonomisk allokering av klimatpåverkan sker mellan etanol och drank, klimatpåverkan fördelas mellan produkterna baserad på deras ekonomiska värde kommer 98 % av klimatpåverkan följa med etanolen och 2 % allokeras till dranken.

Data för produktion av etanol från spannmål är hämtad från Ahlgren m fl. (2010). Från energianvändning vid anläggningen som klimatpåverkan sker (Tabell 8). El och ånga tillförs processen. El antas vara svensk medelelmix och ånga är restvärme från närliggande fjärrvärmeanläggning. Ångan belastas enbart med produktion och distribution av skogsflis. Ekonomisk Allokering sker sedan mellan etanol och drank där 98 % allokeras till etanolen och 2% till dranken (Ahlgren m fl. (2010)).

Tabell 8. Produktion av etanol till förnybar polyeten g CO₂-ekv/ l etanol

Process	El	Ånga
Fermentation	4,61	1,48
Destillering	2,76	8,68
Torkning av drank	7,68	10,14
Summa	15,05	20,30

3.4.3 Odling av sockerbetor och produktion av etanol från spannmål

Sockerbetor är en gröda som kan användas för att producera råvara till både polyeten och polylaktid. Etanol från sockerbetor produceras i Tyskland och Frankrike I dagsläget odlas inga sockerbetor i östra Mellansverige även om det har skett historiskt att sockerbetor odlats i regionen. Sockerbetor är en gröda med många bra egenskaper både avseende odlingsförutsättningar och effekter inom odlingssystemet. Höga skördar ger även höga utbyten per ytenhet vilket gör sockerbeta till en effektiv råvara för att producera bioplast. Odling av sockerbetor avser odling i södra Sverige, Skåne. Data för produktion av etanol är hämtad från Ahlgren m fl. (2010) och sockerproduktion från Nordzucker (www). Odling omfattar jordbearbetning och skörd, insatsvaror och lagring i stuka i väntan på transport till anläggning. Lagring i stuka omfattar transport från fält till lager, uppläggning av stuka.

Tabell 9. Klimatpåverkan från odling skörd och lagring av sockerbetor

		Enhet
Normskörd	64,6	ton/ ha
Utbyte, etanol	11,7	kg betor/ l etanol
Utbyte socker	6,3	kg betor/ kg socker
Jorbearbetning och skörd	385	kg CO ₂ / ha
Insatsvaror	349	kg CO ₂ / ha
Lagring	46	kg CO ₂ / ha
Total	780	kg CO ₂ / ha

Med de angivna utbytena blir bidraget från odlingen till **1 kg Biopolyeten är 343 g CO₂-ekv och till 1 kg polylaktid 122 g/ kg polylaktid.**

Data för produktion av etanol från sockerbetor är hämtad från Ahlgren m fl. (2010). Klimatpåverkan kommer från användning av energi, el och processvärme. El produceras från svensk medelelmix och processvärme hämtas från användning av skogsflis.

Tabell 10. Produktion av 1 liter etanol från sockerbetor

Parameter		Enhet
Elbehov	0,309	kWh/l etanol
Processvärme	0,0623	kWh/ l etanol
Klimatpåverkan	52,849	g CO ₂ -ekv/ l etanol

Produktion av polybutyrat adipat tereftalat (PBAT)

Data för produktion av PBAT är hämtad från Lindman (2015). Det saknas färdiga inventeringar (LCI) för PBAT. Det har gjorts en förenkling av PBAT genom att den representeras av tre andra kemikalier som utgör grunden till tillverkning av PBAT (Karli James, 2005). PBAT representeras av 50 % 1,4-butanediol, 25 % adipinsyra och 25 % tereftalatsyra (Tabell 11). Underlag för klimatavtryck för de olika kemikalierna hämtas från Ecoinvent databas (www) (Tabell 11).

Tabell 11. Hämtat från Ecoinvents databas anges klimatpåverkan från de kemikalier som ingår i PBAT till

Syra	Molformel	Andel	klimatpåverkan	Enhet
Adipinsyra	$C_6H_{10}O_4$	25%	25,2	kg CO ₂ -ekv/kg PBAT
Butan 1.4-diol	$C_4H_{10}O_2$	50%	2,18	kg CO ₂ -ekv/kg PBAT
Tereftalsyra	$C_8H_6O_4$	25%	0,45	kg CO ₂ -ekv/kg PBAT
PBAT	$C_{22}H_{30}O_8$	100%	9,03	kg CO ₂ -ekv/kg PBAT

Den stora klimatpåverkan vid produktionen av PBAT kommer från produktion av adipinsyra. Det är i första hand utsläpp av lustgas (N₂O) som orsakar den stora bidraget till klimatpåverkan. För klimatpåverkan för adipinsyra har hänsyn tagits till att teknik för att reducera utsläppen av lustgas finns tillgänglig på marknaden och används.

3.5 Framställning av rapsolja

Rapsoljan används som tillsats till förkläden för att ge önskvärda egenskaper avseende mjukt och smidighet. Oljan som används är rapsolja som antas komma från AAK fabrik i Karlshamn. Rapsen har olika ursprung och beroende på vart rapsen är odlad påverkar det oljans utsläpp av klimatgaser. Klimatpåverkan för rapsolja av utgörs till störat del av emissioner från odling, främst lustgas från åkermark samt lustgas från tillverkning av mineralgödselkväve. De flesta rapsoljorna från AAK har sitt ursprung i svensk och europeisk raps. Fördelningen mellan länder är okänd. Enligt en uppskattning från Jordbruksverket (2012) utgörs 70 % av oljeväxtfröerna hos AAK av svensk raps. Det antas att fördelningen är 70 % - 30% mellan svensk och importerad olja vilket ger en klimatpåverkan i medeltal på 1 700 kg CO₂/ ton olja med en variation mellan 1 400 – 2 400 kg CO₂/ ton olja.

- Klimatpåverkan från svensk rapsolja är 1 400 kg CO₂-ekv/ ton olja (Angervall & Sonesson, 2008)
- Klimatpåverkan från rapsolja från dansk raps är 2 220 kg CO₂-ekv/ ton olja (Schmidt, 2010)
- Klimatpåverkan från tysk raps där olja utvinns vid AAK i Karlshamn är 2 400 kg CO₂-ekv/ ton olja

Andra källor anger klimatpåverkan från rapsolja till 262 kg CO₂-ekv/ ton (inkl. iLUC, indirect land use change eller indirekt markanvändning) och -96 kg CO₂-ekv/ ton (exkl. iLUC) (Muñoz m fl., 2014). Rapsoljan har i dessa studier fått tillgodoräkna sig, det vill säga man har gjort ett avdrag, för kol, upptag av koldioxid från atmosfären, som tagits upp i biomassan samt återfinns i oljan. Om detta inte görs så ökas värdena med 2

800 kg CO₂-ekv/ ton olja. Detta ger då att rapsolja (inkl. iLUC) blir 3 062 kg CO₂-ekv/ ton rapsolja och för rapsolja (exklusive iLUC) blir 2 704 kg CO₂-ekv/ ton rapsolja, vilket är högre än rapsolja från AAK som används i denna studie.

I denna studie används medelvärdet 1 700 kg CO₂-ekv/ ton rapsolja exklusive iLUC-effekter.

3.6 Produktion av kalciumkarbonat

Kalciumkarbonat används dels som utfyllnadsmaterial samt att ge förkläderna vissa önskvärda egenskaper. I detta fall hämtas data för tillverkning av CaCO₃ från Ecoinvents databas och ger klimatpåverkan från brytning och hantering till färdig produkt. Sedan tillkommer transporter av CaCO₃ till kund. Den transporten antas ske med lastbil och släp

Produktion av kalk 1 693 kg CO₂-ekv/ ton kalk, beräknat från Sjunnesson (2005) 1 ton CaCO₃, 23,1 kg CO₂ (Ecoinvent, Manufacture of basic chemicals, 2011). I denna studie kommer värdet från Ecoinvent att användas. **23,1 kg CO₂-ekv/ ton CaCO₃**

3.7 Transporter

Lastbilstransporter sker under hela processen från odling av råvara fram tills att de använda förkläderna samlas in och förbränns samt att aska och slagg från förbränningen deponeras. Transporter sker i Sverige, i Europa samt utanför Europa.

Klimatpåverkan från transporter med olika fordon, lastbilar och lastfartyg, i och mellan olika länder skiljer sig åt beroende på vilken typ av fordon, storleken på fordonet, hur mycket de kan lasta, fyllnadsgrad etc. Data för transporter har beräknats utifrån data hämtade från NTM (2010) Nätverket för trafik och miljö (NTM) version 2010-06-17 (Tabell 12).

Vid lastbilstransporter på väg används följande fordon från NTM (2010); "Road transport, lorry >32 ton, Euro 5", för insamling av förkläden används "road transport, lorry 7,5-16 ton, euro5". Fartygstransport från Brasilien av biopolyeten och PLA från Thailand använder "Freight tanker, 150 000 ton dwt" hämtad från NTM (www, 2018).

Tabell 12. Utsläpp av CO₂ från transporter.

Typ av transport	Utsläpp av CO ₂	Enhet
Road transport, lorry >32 ton, Euro 5	0,0223	kg CO ₂ /tonkm
Road transport, lorry 7,5-16 ton, Euro5	0,0128	kg CO ₂ /tonkm
Freight tanker, 150 000 ton dwt	0,00564	kg CO ₂ /tonkm

Beräkning av transporters bidrag görs enligt följande, ingående parametrar är

- Utsläpp av CO₂ i kg CO₂/tonkm
- Transportavstånd
- Lastkapacitet
- Fyllnadsgrad
- Andel av transport

Utsläpp av koldioxid vid transporten hämtas från Tabell 12, transportavstånd hämtas från Google maps™, lastkapaciteten är given från NTM (2010), maxlasten för landsvägstransport är 32 ton per ekipage, fordon för insamling av använda artiklar lastar 12 ton per ekipage och lastfartyg lastar 150 000 ton. Fyllnadsgraden för lastbilstransporter är satt till 50 % vilket indikerar att det är tom returtransport och till 100 % vid fartygstransport där man antar att ett lastfartyg har en last vid returen. Andel av transport för 1 kg förkläde beräknas utifrån andelen som aktuellprodukt utgör av ett förkläde, kg material i 1 kg förkläde dividerat med total lastkapacitet i kg.

3.8 Anläggning för tillverkning av förkläden

Sammansättningen av de olika råvarorna som används vid tillverkning av plastförkläden sker vid anläggningen. Det spill som uppstår vid tillverkning av förkläden samlas upp och återanvänds. Energi i form av el används vid tillverkningsprocessen. Elanvändningen vid tillverkning av förkläden av PE använder dubbelt så mycket energi som vid tillverkning av förkläden av PLA. Detta beroende på att temperaturen vid tillverkning av förkläden av PLA är ca 160 °C och ca 240 °C vid tillverkning av förkläden av PE.

- El till tillverkning av förkläden av PE (FPE och BPE): 0,676 kWh/ kg förkläde
- El till tillverkning av förkläden av PLA: 0,471 kWh/ kg förkläde

Den el som används antas vara svensk medelel som har ett klimatavtryck på **47 g CO₂-ekv/ kWh el använd (Energimyndigheten, www)**.

Tabell 13. Elbehov och klimatavtryck från elanvändning om svensk medelel används vid produktion av förkläden vid fabrik.

Polymer	Elanvändning	Enhet	klimatavtryck	Enhet
FPE & BioPE	0,676	kWh/ kg förkläde	0,024	kg CO ₂ -ekv/ kg förkläde
PLA	0,471	kWh/ kg förkläde	0,017	kg CO ₂ -ekv/ kg förkläde

3.9 Förbränningsanläggning och askdeponering

Förbränningsanläggningen är en svensk avfallsförbränningsanläggning och deponin är en askdeponi. Emissioner från förbränning av avfall och deponering av aska har hämtats från avfall Sverige (2010). De emissioner som bidrar till klimatpåverkan är:

- Kväveoxider, NO_x, som ger upphov till bildning av lustgas. Vid avfallsförbränningen anges att mängden kväveoxider som bildas är 1,97 kg NO_x/ ton kol i avfallet. Av denna mängd kväveoxider antas det att 10 % bildar lustgas. Detta motsvarar 0,197 kg N₂O/ ton avfall. Lustgas har viktningsfaktorn 298 kg CO₂/ kg N₂O vilket ger ett bidrag till klimatavtrycket på 58,7 kg CO₂-ekv/ ton. Kväveoxider bildas till från luftens kväve och höga temperaturer i samband med förbränningen. De flesta anläggningar har gränsvärden och koncessioner avseende koncentrationer av kväveoxider angivet som mg NO_x per kubikmeter rökgaser.
- Den främsta källan till klimatpåverkan vid förbränning av mängden kol i materialet som förbränns. Det är endast kol av fossilt ursprung som antas belastat systemet. Kol med biologiskt ursprung antas ingå i kolets korta kretslopp

och bidrar inte till klimatpåverkan. Det bildas 1,97 kg koldioxid per kg kol som förbränns. Kolhalten i polyeten, både fossil och förnybar är 0,86 kg C per kg polyeten vilket motsvarar 3,15 kg CO₂/ kg PE. Andelen kol i polylaktid är 50 % vilket motsvarar 1,83 kg CO₂/ kg PLA. PBAT innehåller 63% kol vilket ger ett utsläpp av 2,31 kg CO₂/ kg PBAT.

- Förbränningsanläggningen använder 69,4 kWh el per ton avfall och vid askdeponeringen används 1,11 kWh diesel per ton aska deponerad. Svensk medellev antas och driften av avfallsanläggningen genererar 2,5 kg CO₂/ ton plast som förbränns

Tabell 14. Emissioner från förbränning av 1 kg förkläden.

Polymer	CO ₂ från plast	CO ₂ från NO _x	CO ₂ från elanvändning	CO ₂ total	Enhet
Fossil PE	2,21	0,058	0,0025	2,27	kg CO ₂ -ekv/ kg förkläde
BioPE	0	0,058	0,0025	0,06	kg CO ₂ -ekv/ kg förkläde
PLA	0	0,058	0,0025	0,06	kg CO ₂ -ekv/ kg förkläde
PBAT	1,27	0,058	0,0025	1,33	kg CO ₂ -ekv/ kg förkläde

Den totala klimatpåverkan från förbränning av förkläden antas utgöras av kol i materialet där allt kol i förklädet förbränns och bildar koldioxid. Endast kol av fossilt ursprung räknas. Kol med ursprung i biomassa ingår i kolets korta kretslopp och mängden kol upptaget i biomassan motsvaras av mängden kol som släpps ut vid förbränningen. Fossilt kol belastar systemet med koldioxid. Det fossila kolet finns i fossil PE samt kol i PBAT

Vid förbränning av polyeten och polylaktid genereras el och värme. Mängden el och värme är ett medeltal för svensk avfallsförbränning. Mängden energi genererad utgår från förbränning av förkläden tillverkade av fossil polyeten. Värmevärdet för polyeten är 6,4 kWh/ kg PE och 5 kWh/ kg PLA och 6,76 kWh/ kg PBAT. Från andelen polyeten, polylaktid och PBAT i förkläden kan mängden genererad energi beräknas. Skillnaden mot genererad energi från förkläden producerad från fossil polyeten jämförs mot förkläde av biopolyeten eller polylaktid. Differensen mellan energi genererad från förkläde av förnybar råvara och fossil råvara beräknas. Positivt värde betyder att mer energi fås vid förbränning av förnybar råvara och negativt värde att det är underskott av energi. Positiv balans ger en besparing av energi och negativ balans ett behov av tillsatsenergi för att generera samma mängd energi som förbränning av polymer ger. Svensk fjärrvärme släpper ut **81 g CO₂-ekv/ kWh producerad el och fjärrvärme** (Energiföretagen, www).

4 Studerade scenarier

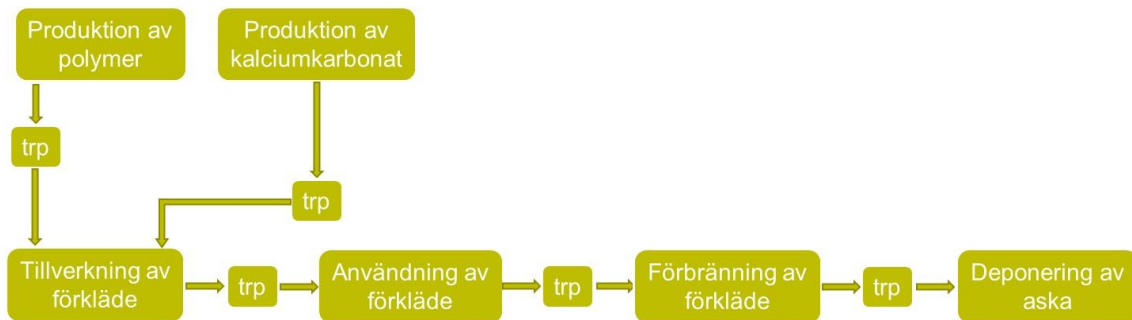
De studerade scenarierna utgår från ett fall där förkläden används inom Region Uppsala. Region Uppsala använder ca 3,2 miljoner förkläden varje år.

Tre olika scenarier kommer att utvärderas.

1. Producera förkläden av polyeten från fossil råvara
2. Producera förkläden av polyeten från förnybar råvara
3. Producera förkläden av PLA från förnybar råvara

Referensscenariot är scenario 1 där fossil polyeten utgör polymeren. Den kommer att jämföras mot scenario 2 där den fossila polyeten är utbytt mot polyeten tillverkad från förnybar råvara. I scenario 3 är polymeren som används polylaktid (PLA).

4.1 Scenario 1, förkläden tillverkade av fossil polyeten



Figur 2. Livscykeln för engångsförkläden tillverkade av polyeten från fossil råvara.

Produktion av polymer: Värdet är hämtat från Ecoinvents databas för produktion av PE-granuler. Livscykeln anges fram till fabriksgrind

Produktion av kalciumkarbonat (CaCO₃): Värdet är hämtat från Ecoinvents databas för produktion av CaCO₃. Livscykeln anges fram till fabriksgrind

Tillverkning av förkläden: Samtliga råvaror kommer till anläggningen och blandas samman till den sammansättning som förklädena har. Emissioner från tillverkningen är från elförbrukningen. Svensk medelelmix antas användas.

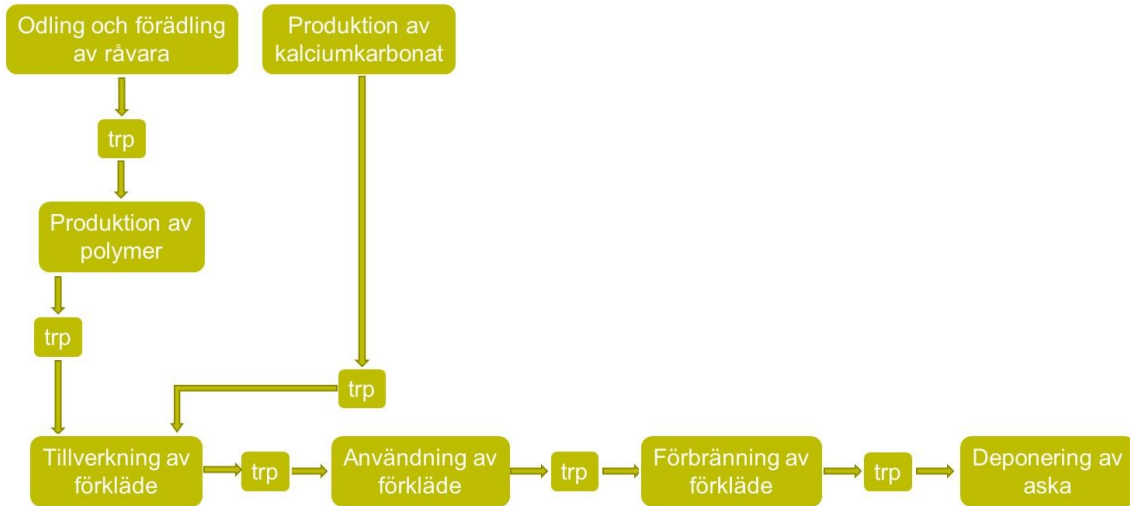
Användning av förkläden sker vid region Uppsala. Hanteringen antas vara manuell från distribution till avdelningar via användning till omhändertagande av avfall.

Förbränning och energiutvinning av förkläden antas ske vid avfallsförbränningsanläggning. Från förbränningen genereras el och värme. Förbränning av engångsförkläden från sjukvården förbränns normalt därför sker ingen ansats om alternativ generering av el och värme. För detta scenario. PET har värmevärdet 23 MJ/ kg PET. **Deponering** av aska sker vid askdeponi.

Transporter som ingår i systemet är

- Transport från PE-granulatfabrik till förklädesfabrik, 1 345 km
- Transport av CaCO₃ förklädesfabrik, 445 km
- Transport av förkläden från förklädesfabrik till användare, 650 km
- Insamling av förkläden från användare och transport till förbränningsanläggning, 50 km
- Transport av aska från förbränningsanläggning till askdeponi, 30 km

4.2 Scenario 2, Förkläden tillverkade av biopolyeten



Figur 3. Livscykeln för engångsförkläden tillverkade av polyeten från förnybar råvara

4.2.1 Produktion av förkläden med sockerrör som råvara

Odling av råvara: Råvaran som odlas är sockerrör i Brasilien. Data för odling av sockerrör är hämtad från Tabell 4.

Produktion av biopolyeten: Data för produktion av biopolyeten hämtas från LCA genomförd av Braskem som är ett Brasilianskt företag som producerar kemikalier. I produktionen ingår odling av sockerrör, produktion av etanol samt produktion av polyetengranulat samt transporter som är förknippade med processen.

Produktion av kalciumkarbonat (CaCO₃): Värdet är hämtat från Ecoinvents databas för produktion av CaCO₃. Livscykeln anges fram till fabriksgrind

Tillverkning av förkläden: Samtliga råvaror kommer till anläggningen och blandas samman till den sammansättning som förklädena har. Emissioner från tillverkningen är från elförbrukningen. Svensk medelelmix antas användas.

Användning av förkläden Hanteringen antas vara manuell från distribution till avdelningar via användning till omhändertagande av avfall.

Insamling av förkläden sker med lastbil som använder diesel som drivmedel

Förbränning av förkläden antas ske vid avfallsförbränningsanläggning. Från förbränningen genereras el och värme. Förbränning av engångsförkläden från sjukvården förbränns normalt därför sker ingen ansats om alternativ generering av el och värme. För detta scenario. PET har värmevärdet 23 MJ/ kg PET. **Deponering** av aska sker vid askdeponi.

Transporter som ingår i systemet är

- Fartygstransport, Brasilien till Europa, 9 500 km
- Transport från PE-granulatfabrik till förklädesfabrik, 1 345 km

- Transport av kalciumkarbonat till förklädesfabrik, 445 km
- Transport av förkläden från förklädesfabrik till användare, 650 km
- Insamling av förkläden och transport till förbränningsanläggning, 50 km
- Transport av aska från förbränningsanläggning till askdeponi, 30 km

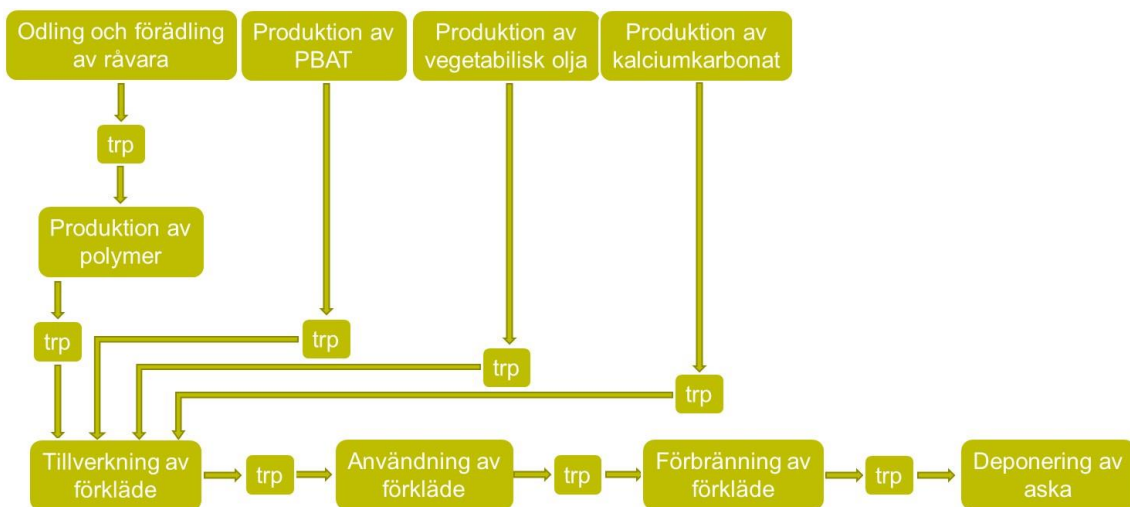
4.2.2 Produktion av förkläden med spannmål som råvara

Sockerrör från Brasilien ersätts med spannmål från Sverige. Produktion av etanol och biopolyeten antas ske i Sverige. Från tillverkning av förkläden är systemet identiskt med systemet som använder sockerrör som råvara

4.2.3 Produktion av förkläden med halm som råvara

Halm används som råvara för att producera etanol. Etanolen används för produktion av Biopolyeten. Systemet samma som den för spannmålsetanol med skillnaden att processen att producera är för etanol för halm.

4.3 Scenario 3, förkläden tillverkade av polylaktid



Figur 4. Förnybar. Livscykeln för engångsförkläden tillverkade av PLA från förnybar råvara

4.3.1 Produktion av förkläden med sockerrör som råvara

Data för **odling av sockerrör** är hämtad från Rathnayake m fl. (2018) och **framställning av socker** hämtas från Groot & Borén (2010)

Produktionen av polylaktid (PLA) sker i Thailand och data för produktionen är hämtad från Groot & Borén (2010)

Den **PBAT** som används är av fossilt ursprung och produceras av BASF i Ludwigshafen, Tyskland

Vegetabilisk olja antas produceras vid AAK anläggning i Karlshamn. Värdet är ett medeltal för svensk och importerad raps.

Produktion av kalciumkarbonat (CaCO₃): Värdet är hämtat från Ecoinvents databas för produktion av CaCO₃. Livscykeln anges fram till fabriksgrind

Tillverkning av förkläden: Samtliga råvaror kommer till anläggningen och blandas samman till den sammansättning som förklädena har. Emissioner från tillverkningen är från elförbrukningen. Svensk medelelmix används.

Användning av förkläden Hanteringen antas vara manuell från distribution till avdelningar via användning till omhändertagande av avfall.

Förbränning av förkläden antas ske vid avfallsförbränningsanläggning. Från förbränningen genereras el och värme. Förbränning av engångsförkläden från sjukvården förbränns normalt därför sker ingen ansats om alternativ generering av el och värme. Polyeten har värmevärdet 23 MJ/ kg PE. **Deponering** av aska sker vid askdeponi.

Transporter, Transporten av biomassa samt råvaran (socker) för produktion av PLA är hämtad från Groot och Borén (2010). Övriga transporters data är hämtad från NTM (2010).

- Transport med lastbil av råvara och etanol: påverkan från denna transport är hämtad från Groot och Borén
- Transport av Polymer från Thailand till Nederländerna med fartyg, Data för transport med fartyg.
- Transport av polymer med lastbil från Nederländerna till Sverige
- Transport med lastbil av PBAT från Ludwigshafen i Tyskland till Sverige
- Transport med lastbil av vegetabilisk olja till fabrik för tillverkning av förkläden
- Transport med lastbil av Kalciumkarbonat till förklädesfabrik
- Transport med lastbil av förkläden från fabrik till användare
- Insamling av använda förkläden med insamlingsfordon till förbränning
- Transport med lastbil av aska från förbränningsanläggning till askdeponi

4.3.2 Produktion av förkläden med sockerbetor som råvara

Samma system som för produktion av polylaktid från sockerrör med skillnaden att sockerrör från Thailand byts ut mot sockerbetor från Sverige. Socker utvinns vid sockerbruk och används som råvara vid tillverkning av polylaktid. Tillverkning av polylaktid antas ske samlokaliserat med sockerbruket. Transport av polylaktid till förklädesfabrik. Från förklädesfabriken är systemet identiskt med systemet som använder sockerrör som råvara.

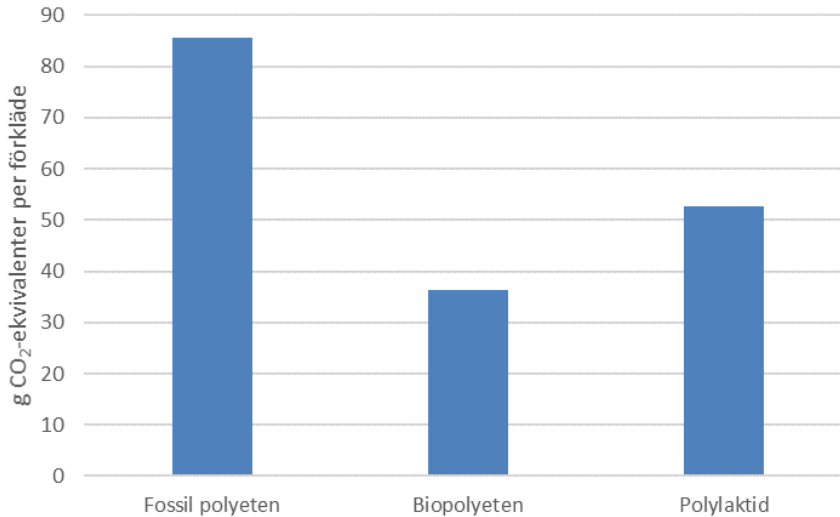
Odling skörd, lagring av sockerbetor: Odling av sockerbetor avser odling och hantering av sockerbetor från Sverige. Data för sockerbruk är hämtat från svensk framställning av socker.

Produktion av polylaktid: Det saknas data för svensk produktion och därför har data från Groot och Borén (2010) använts för klimatavtryck från produktion av polylaktid. Anpassning av klimatpåverkan har skett för användning av energi. Thailändsk elmix och ånga från naturgas har ersatts med svensk elmix och ånga från biobränsle.

Transport av polylaktid förklädesfabrik.

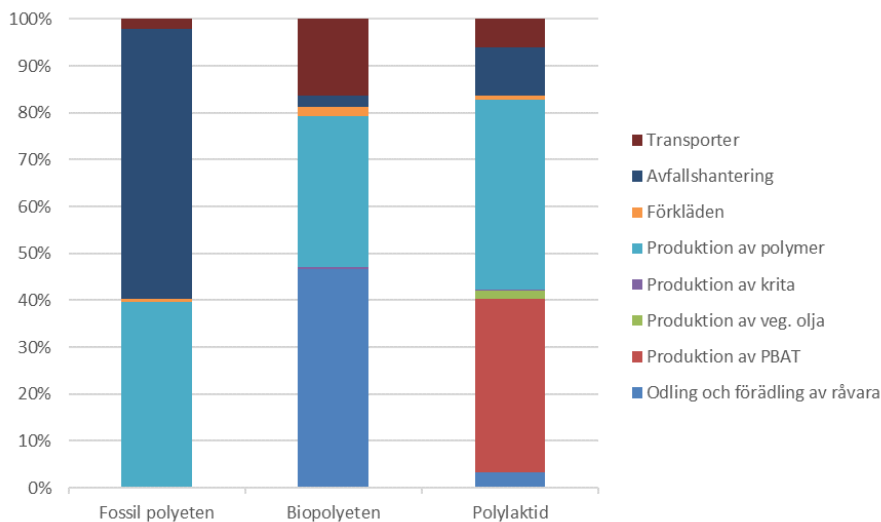
5 Resultat

Att tillverka engångsförkläden av förnybar plast minskar klimatpåverkan jämfört med att använda förkläden av fossil plast från 85 gram koldioxid per förkläde till 35 gram och 52 g koldioxid för biopolyeten respektive polylaktid (Figur 5). Att använda förkläden tillverkade av biopolyeten minskar klimatavtrycket med 58 % jämfört fossil råvara. Motsvarande minskning för polylaktid är 25 %.



Figur 5. Emissioner per förkläde (g CO₂-ekv per förkläde)

Förklädena av förnybara material utgörs av biopolyeten tillverkad i Brasilien från sockerrör och polylaktid tillverkad från sockerrör odlade i Thailand. Resultaten påverkas av att till förklädena tillsätts olika material för att ge dem deras önskade egenskaper. Till plasterna av polyeten, både fossil och förnybar, är krita (CaCO₃) tillsatt. I förklädena av polylaktid finns det även en fossil plast PBAT, krita samt vegetabilisk olja för att få önskvärde egenskaper. Detta påverkar klimatavtrycket då produktion och distribution av dessa andra beståndsdelar har en egen klimatpåverkan som adderas till plastandelen.



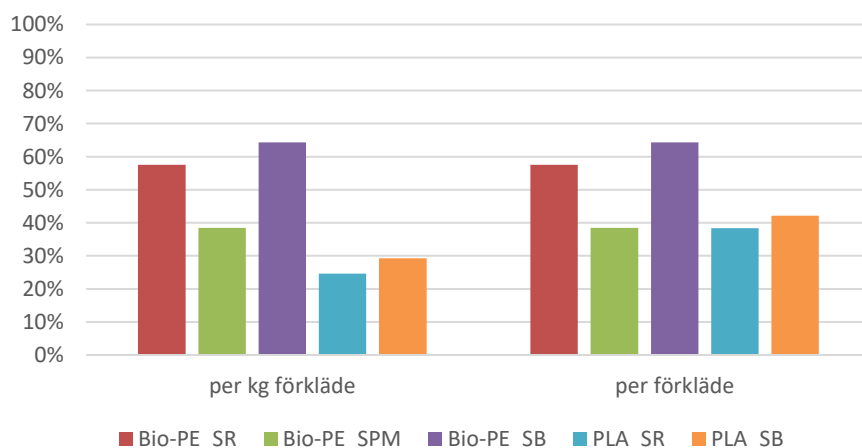
Figur 6. Klimatpåverkans procentuella (%) fördelning mellan olika processer vid produktion av förkläden från fossil och förnybar polyeten samt polylaktid.

För fossil polyeten, domineras klimatpåverkan av två faktorer, tillverkning av polyeten-granuler och av avfallshanteringen (Figur 6). Avfallshanteringen är i detta fall förbränning och den kolet i polyetenen släpps ut som koldioxid. Kolet är fossilt och belastar klimatavtrycket för förkläden av fossil polyeten. När förkläden av biopolyeten används försvinner nästan avfallshanteringen helt beroende på att kolet i biopolyeten är förnybar och därmed inte belastar klimatet. Biopolyetenens klimatavtryck domineras av steget med odling, skörd och etanolproduktion samt själva tillverkningsprocessen av plastgranuler. För polylaktid tillverkad från sockerrör är det produktion av PBAT och produktion av plastgranuler som är stor. Avfallshanteringen är högre jämfört förnybar polyeten då PBAT är av fossilt ursprung vars kol ger ett bidrag till klimatpåverkan i samband med förbränning och energiutvinning.

5.1 Scenarioanalys

I scenarioanalysen testas större förändringar än bara värdet av enskilda parametrar. Biopolyeten och polylaktid kan produceras från andra råvaror än sockerrör. I scenarioanalysen studeras vilken effekt som det får för resultatet. Scenarioanalyser har genomförts för biopolyeten där sockerrör ersätts av spannmål från Sverige samt sockerbeter. För Polylaktid har råvaran ändrats från socker från sockerrör till socker från sockerbeter.

Det är av intresse att se vad effekten på klimat blir när bioplasterna tillverkas av råvaror som är tillgängliga i Sverige. Potentiellt kan svenska grödor användas för tillverkning av bioplast som polyeten och polylaktid även om användning av grödor som kan användas som livsmedel och foder är ifrågasatt ur ett resurshushållningsperspektiv. Det är socker och stärkelserika grödor som sockerbeter, spannmål. Dessutom finns det möjligheter att använda restprodukter som halm. Även skogsråvara kan användas för tillverkning av olika bioplast.



Figur 7. Minskning i procent av klimatavtrycket jämfört fossil polyeten när biopolyeten produceras från svensk sockerrör (Bio-PE_SR), spannmål (Bio-PE_SPM) och sockerbeta (Bio-PE_SB) samt PLA från sockerrör (PLA_SR) och sockerbeta (PLA_SB).

Förkläden av biopolyetenen reducerar klimatavtrycket mer än förkläden av polylaktid. Främsta orsaken är den fossila plasten PBAT som används i förkläden av polylaktid, se känslighetsanalys av alternativ till polylaktid (kapitel 5.2.4).

5.2 Känslighetsanalyser

Indata varierar beroende på olika förutsättningar. I många fall är indata angivet som ett medel eller medianvärde inom en viss variation. Variationerna beror på många olika faktorer som exempelvis hur energi genereras, variationer mellan olika anläggningar för produktion, transportavstånd, antaganden om medelenergi eller marginalenergi mm. Följande känslighetsanalyser har genomförts:

- Transportavståndet ökas eller minskas med 50 %
- Klimatpåverkan från produktion av fossil PE
- Ändra el och värmeanvändningen från medelenergi till marginalenergi
- Ändra påverkan från PBAT från fossil till delvis förnybar eller ändra från PBAT till polybutylene succinate PBS
- Ta med effekter av direkt markanvändning

5.2.1 Öka minska transporter med 50 %: Transporterna ökas och minskas med 50 %

Transporter haren liten påverkan på det totala klimatavtrycket. I Tabell 15 visas hur en förändring av transporterna med $\pm 50\%$ påverkar det totala klimatavtrycket.

Tabell 15. Klimatavtryckets förändring när transporter ändras $\pm 50\%$.

Typ av plast till förkläde	Råvara	Transporter $\pm 50\%$
Fossil polyeten	Olja/naturgas	$\pm 1,0\%$
Biopolyeten	Sockerrör	$\pm 8,2\%$
Biopolyeten	Spannmål	$\pm 2,4\%$
Biopolyeten	Sockerbetor	$\pm 4,6\%$
Polylaktid	Sockerrör	$\pm 2,9\%$
Polylaktid	Sockerbetor	$\pm 2,3\%$

5.2.2 Variation av klimatavtryck från produktion av fossil polyeten

Max- och minvärden för fossil polyeten varierar mellan 1,8 – 2,9 kg koldioxidekvivalenter per kilo polyeten med ett medelvärde på 2,19 kg koldioxidekvivalenter per kilo. I Tabell 16 visas hur stor den procentuella minskningen av klimatavtrycket blir när förkläden tillverkade av biopolyeten och polylaktid jämförs med max- och minvärden för fossil polyeten. Jämförelsen görs för biopolyeten och polylaktid med sockerrör som råvara. Enbart variationen i data för att producera PE-granuler från fossil råvara kan påverka resultaten med 4 – 7 %.

Tabell 16. Minskning av klimatavtryck för förkläden av förnybar polyeten jämfört förkläden av fossil polyeten när värdet för produktion av polyetengranulat varierar mellan 1,8 - 2,9 kg CO₂-ekv/ kg granulat

	Biopolyeten	polylaktid
Maxvärde fossil polyeten	62%	45%
Grundscenario	58%	38%
Minvärde fossil polyeten	54%	34%

5.2.3 Marginalel i stället för medelenergi

I studien har medelelmixar för olika platser används. För svensk elproduktion har svensk elmix använts som har en koldioxidavtryck på 47 g CO₂-ekv per kWh el. Det antas att istället används en marginalproduktion av el från nordisk elmix (97 g CO₂-ekv per kWh el), naturgaskombi (258 g CO₂-ekv per kWh el) och kolkondens (433 g CO₂-ekv per kWh el).

Elanvändningen som påverkas är i första hand elanvändningen vid tillverkning av förkläden i Sverige, vid produktion av råvara till polymer och polymerproduktion i Sverige. I grundfallet används svensk elmix vid elanvändning i Sverige (Tabell 17). Svensk elmix har en låg klimatpåverkan då största delen av elen genereras från vatten- och kärnkraft. Vid elanvändning och effekten av den i processer som sker utanför Sverige är den ofta med som en delmängd av en process klimatavtryck och kan inte brytas ut ur den tillgängliga informationen. Nationella elmixar i länder som Brasilien, Thailand mm har ofta stora inslag av fossila bränslen som naturgas, olja och kol.

Att använda svensk eller nordisk elmix ger ingen eller mycket liten påverkan på klimatavtrycket. När elen har fossilt ursprung, kol eller naturgas sker en viss påverkan på klimatavtrycket.

Tabell 17. Det totala klimatavtrycket för förkläden när elens ursprung varierar.

	Biopolyeten sockerrör	Biopolyeten spannmål	Biopolyeten sockerbetor	Polylaktid sockerrör	Polylaktid sockerbetor
Svensk elmix	57%	37%	63%	38%	42%
Nordisk elmix	57%	37%	63%	38%	42%
Naturgaskombi	55%	34%	59%	38%	42%
kolkondens	54%	30%	55%	39%	42%

5.2.4 Öka minska effekten av PBAT

PBAT är i dagsläget tillverkad från fossil råvara och har en hög klimatbelastning per mängd PBAT. Det är från produktion av adipinsyra som utgör 25 % av beståndsdelarna i PBAT. PBAT kan tillverkas från förnybara råvaror och har en potential att minska miljöpåverkan. Att ersätta fossil PBAT med förnybar PBAT eller polybutylene succinate (PBS) påverkar klimatavtrycket för förkläden av polylaktid. Dels genom att produktionens klimatavtryck förändras men främst genom att klimatavtrycket från avfallshanteringen minskar när förkläden tas omhand.

Klimatavtrycket från produktion av PBS enligt Tecchio m fl., (2016) är mellan 4,00 – 6,35 kg CO₂-ekv/ kg PBS och Moussa & Young (2012) anger 6,6 kg CO₂-ekv för torra PBS-pellets. I känslighetsanalysen har värdet för produktion varierats i ett min och max där min är 4,00 kg CO₂-ekv/ kg PBS och max 6,35 kg CO₂-ekv/ kg PBS använts för att beskriva produktionens bidrag till klimatavtrycket (Tecchio m fl., 2016). Tabell 18 visar hur klimatavtrycket förändras om förkläderna av PLA använder PBAT från fossil och förnybar råvara eller PBS.

Klimatpåverkan påverkas ytterligare av att andelen fossilt material minskar i både PBAT och PBS. PBAT (FBAT) ersätts med PBAT där andel förnybart är 50 % och med polybutulen succinat (PBS) som är förnybar till 80 % (Sanz Mirabal m fl., 2013)

Utifrån den data som finns om förnybar PBAT och PBS är det fördelaktigt att byta ut fossil PBAT (Tabell 18).

Tabell 18. Procentuellt minskat totalt klimatavtryck för förkläden av PLA jämfört med fossil polyeten (FPE) och förkläden av polylaktid med fossil PBAT och PBS

Typ av förkläde	I förhållande till fossil polyeten	I förhållande till fossil PBAT
Polylaktid med förnybar PBAT	40%	5%
Polylaktid med förnybar PBS	48%	18%

6 Diskussion

6.1 Direkt och indirekt markanvändning

Direkt markanvändning (LUC = Land Use Change) är den ändrade användning som sker av marken när produktionen ställs om till annan produktion. Det kan exempelvis vara att mark som används för att odla spannmål, används som betesmark etc. ställs om för att producera sockerrör till socker och etanol. I Sverige kan det vara en ökad efterfrågan på spannmål och sockerbeter som råvara till bioplast. Mark som används till andra ändamål används istället till att producera råvara till industri.

Indirekt markanvändning iLUC (engelska för indirect land use change) är den markanvändning som sker när det sker en ökning av användningen av jordbruksmark som i sin tur medför att jungfrulig icke jordbruksmark måste tas i anspråk. I den jungfruliga marken, gräsmark, skog mm finns det kol lagrat som släpps ut när marken tas i anspråk. Detta sker exempelvis när jordbruksgrödor som används som livsmedel och foder istället används som råvara i industriella processer för produktion av exempelvis bioplast. Behovet av grödorna för det ursprungliga syftet finns kvar och till sist måste mark på marginalen tas i bruk vilket leder till iLUC. Det finns kritik mot iLUC att iLUC är implementerad i EU:s direktiv om förnybara bränslen. Vad händer om markanvändningen krediteras produktion av Biopolyeten från Brasilien. I grundfallet är den inte värderad för att bli jämförbar med Biopolyeten från spannmål och sockerbeta. Enligt Zeim m fl, (2013) varierar LUC från -2,4 – 0,7 kg CO₂/ kg BioPE med ett medelvärde på -1,1 kg CO₂-ekv/ kg BioPE.

6.2 Använda restprodukter som råvara

Att använda restprodukter från jord- och skogsbruk är ett sätt att undvika effekter av direkt och indirekt markanvändning. Restprodukterna är en konsekvens av en existerande produktion som inte ändras eller anses kräva att ny mark tas i anspråk. Restprodukter från jordbruket kan exempelvis vara halm som finns tillgänglig från odling av spannmål. Det borde finnas ett intresse att inventera potentialen för restprodukter som råvara till bioplaster.

7 Slutsatser

- Både förkläden tillverkade av biopolyeten och polylaktid har lägre klimatavtryck än förkläden tillverkade från fossil råvara
- Polylaktid har en stor andel av sin klimatpåverkan från produktion av PBAT när fossil råvara används till PBAT
- Det finns en god potential att minska klimatpåverkan från Polylaktid om PBAT byts ut till PBAT som är förnybar till 50% eller PBS som är förnybar till 80%.
- Ju större andel förnybart kol som finns i förkläden desto mindre blir klimatpåverkan vid avfallshanteringen.
- Om effekter av direkt och indirekt markanvändning inkluderas påverkas resultaten i stor omfattning. Biopolyeten och polylaktid får en än större skillnad i klimatavtryck jämfört fossil polyeten

8 Referenser

Ahlgren, S., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, Å., Hansson, P.-A., 2010, Det svenska jordbrukets framtida drivmedelsförsörjning, JTI-rapport Lantbruk & Industri 392, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala

Angervall, T., Sonesson, U., 2011, Förenklad metod för klimat-/GWP-beräkningar av livsmedel, Slutrapport, ver 1, SR 817, Uppdragsrapport, SIK, <https://www.jordbruksverket.se/download/18.5df17f1c13c13e5bc4f8000105/1370042502106/F%C3%B6renklad+metod+f%C3%B6r+klimatber%C3%A4kningar+av+livsmedel+ve.pdf>

Avfall Sverige, UPPDATERA

Braskem, www, I'm green™ PE Life Cycle Assessment, <http://www.braskem.com/Portal/Principal/Arquivos/ModuloHTML/Documentos/1191/Life-Cycle-Assessment-v02.pdf>

Corbion, 2017, PLA plastics for a brighter future, <https://www.total-corbion.com/media/1075/total-corbion-pla-brochure-170424.pdf>

Energiföretagen 2017, Energiföretagens klimat- och miljöpåverkan, Energiåret 2016, https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/energiaret2016_miljo_27-september.pdf?v=qh4qjlb85gunRX8Yp8bBRsCSwbw

- Energimyndigheten, www, Svensk elmix, 2013,
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fra-gor-och-svar/vaxthusgasberakning/>, Skapad 2015-10-21 kl.09:00
- Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J., Palm, J., 2011, Miljöfaktaboken 2011. Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el värme och transporter, Anläggnings- och förbränningsteknik 1183, Värmeforsk, Stockholm
- Groot, W., J., Borén, T., 2010, Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand, Int J Life Cycle Assess. DOI 10.1007/s11367-010-0225-y, Springer - Verlag
- Hansson, A., Christensson, K., Algerbo, P-A. 2006. Kartläggning av tillgängliga mängder halm i området kring planerat kraftvärmeverk i Örtofta mellan Lund och Eslöv. Bilaga 2 till: Mattsson, J. E. 2006. Affärsutveckling – närodlade stråbränslen till kraftvärmeverk. Rapport 2006:8. Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU, Alnarp.
- Jordbruksverket, 2012, Marknadsöversikt vegetabilier, Rapport 2012:26, Jordbruksverket, Jönköping,
https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra12_26.pdf
- Jordbruksverket, 2017, Sveriges utrikeshandel med jordbruksvaror och livsmedel 2014–2016, Rapport 2017:20, Jordbruksverket, Jönköping
- Karli James, T. G. (2005). LCA of Degradable Plastic Bags. Centre for Design at RMIT University.
- Lindman, P., 2015, LCA screening olika tallriksmaterial, rapport 69, Miljögiraff, Göteborg, <http://www.jegrelius.se/wp-content/uploads/2015/12/LCA-Screening-Tallriksmaterial-Milj%C3%B6giraff-Rapport-69-v.4-2015-08-18-1.pdf>
- Myhre, G.; Shindell, D.; Breón, F.-M.; Collins, W.; Fuglestvedt, J.; Huang, J.; Koch, D.; Lamarque, J.-F., Lee, D.; Mendoza, B.; et al. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, Supplementary Material. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, Change; Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2013.
- Moussa, H., I., Young, S., B., 2012, Polybutylene succinate life cycle assessment variations and variables, 12 AIChE annual meeting, Pittsburgh, PA, USA
- Muñoz, I., Hoejrup Schmidt, J., Dalgaard, R., Comparative life cycle assessment of five different vegetable oils, Proceedings of the 9th International conference on life cycle assessment in the agrifood sector, <http://lcafood2014.org/pfunctional> unitapers/165.pdf
- Nilsson, D., Bernesson, S., 2009, Halm som bränsle – Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter, Report 011, Institutionen för energi och teknik, SLU, Uppsala.
https://pub.epsilon.slu.se/4854/1/nilsson_d_et_al_100630.pdf
- Nordzucker, <https://www.nordzucker.com/en/home.html>

NTM 2018, www

NTM, 2010, NTM – Environmental data for international cargo transport, Calculation methods and default data – mode specific issues, Road transport Europe, Version 201-06-17

NTM, www, 2018, www.transportmeasures.org/en/wiki/manuals/sea/introduction-of-method

Plastic Europé www

Rathnayake m fl., 2018

Rosenquist, H., 2017, Kalkyler för energigrödor 2017, Jordbruksverket, Jönköping

Sanz Mirabal, A., Scholz, L., Carus, M., 2013, Bio-based polymers in the world, Nova Institute GmbH, Tyskland

SCB, 2016, Normskördar för skördeområden, län och riket 2016, Sveriges officiella statistik, statistiska meddelanden, JO 15 SM 1601, Statistiska centralbyrån, Örebro

Schmidt, J., H., 2010, Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil, Int J Life Cycle Assess (2010) 15:183 – 197, Springer Verlag

Sjunnesson, J., 2005, Life cycle assessment of concrete, Master Thesis, Department of technology and society, Lund University,
<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=4468239&fileOId=4469176>

Tecchio, P., Freni, P., Benedetti, B., Fenouillot, 2016, Ex-ante life cycle assessment approach developed for a case study on bio-based polybutylene succinate, Journal of cleaner production (2016) 316-325

Zeim, S., Chudziak, C., Taylor, R., Bauen, A., Murphy, R., Guo, M., Akhurst, M., 2013, Summary of the life cycle assessment, land-use change and water footprints reports, E4tech & LCAworks

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Hållbar konsumtion och
produktion
RISE Rapport 2021:16
ISBN: