



Nr U 6392
September 2020

Livscykelanalys av Papperstextil

På uppdrag av Ljungskile Triåk

Julia Lindholm, Tomas Rydberg, Cecilia Johannesson



Förord

Detta projekt har genomförts av IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Tor Ahlbom på Ljungskile Triåk AB. Projektet syftar till att undersöka miljöpåverkan från textil tillverkad av papper. Resultaten har även diskuterats i relation till andra publicerade studier för textil i alternativa material.

Uppdragsgivare och kontaktperson hos Ljungskile Triåk:

- Tor Ahlbom

Projektgrupp hos IVL:

- Tomas Rydberg, Projektledare (LCA)
tomas.rydberg@ivl.se
- Julia Lindholm, Projektmedarbetare (LCA)
julia.lindholm@ivl.se
- Cecilia Johannesson, Projektmedarbetare (LCA)
cecilia.johannesson@ivl.se
- Sofia Poulíkidou, Granskare (LCA)
sofia.poulíkidou@ivl.se
- Karin Sanne, Granskare Rapport (LCA)
karin.sanne@ivl.se

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
1 Introduktion	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Livscykelanalys	6
2 Mål, syfte och omfattning	8
2.1 Syfte och omfattning	8
2.2 Mål.....	8
2.3 Studerade produktsystem	8
2.3.1 Funktionell enhet	8
2.3.2 Typ av LCA.....	9
2.4 Käslighetsanalys	9
2.5 Systemgränser	9
2.6 Miljöpåverkansberäkning.....	10
2.6.1 Inkluderade miljöpåverkanskategorier	10
2.6.2 Betydelsen av olika miljöeffekter relativt globala utsläpp – Normalisering	11
3 Livscykelanalysinventering	12
3.1 Produktion papper	12
3.2 Övriga produktionssteg	13
3.3 Transporter.....	14
3.4 Andra fiberråvaror.....	14
4 Resultat.....	15
4.1 Papperstextil.....	15
4.1.1 Klimatpåverkan	15
4.1.2 Övriga påverkanskategorier.....	16
4.1.3 Bidrag av livscykelsteg till olika miljöeffektkategorier	16
4.1.4 Normaliserade resultat	17
4.2 Jämförelse mellan olika fiberråvaror.....	18
4.2.1 Klimatpåverkan	18
4.2.2 Övriga påverkanskategorier.....	19
4.2.3 Normaliserade resultat	20
4.3 Käslighetsanalys	21
4.3.1 Klimatpåverkan	21
4.3.2 Övriga påverkanskategorier.....	22
5 Diskussion och Slutsats	23
5.1 Tolkning av resultat och begränsningar	23
5.1.1 Papperstextil	23
5.1.2 Papperstextil jämfört med andra fibrer	24
5.1.3 Inventeringsdata	24
5.2 Förslag på framtida studie.....	24

5.3	Slutsats	25
	Referenser	26
	Bilaga A: Beskrivning av miljöpåverkanskategorier	27
	Bilaga B: Livcykelinventering.....	29
	Bilaga C: Resultat	35
	Papperstextil	35
	Jämförelse mellan olika fiberråvaror	39

Sammanfattning

Denna rapport är resultatet av ett projekt som IVL utfört på uppdrag av Ljungskile Trika AB som vill utvärdera miljöpåverkan av textil tillverkad från papper. För att utvärdera miljöpåverkan av produkten har livscykelanalys (LCA) använts som metod.

Målen med projektet är att:

1. Beräkna miljöpåverkan för papperstextil ur ett livscykelperspektiv genom att använda Livscykelanalys (LCA) som metodik
2. Identifiera de delar av tillverkningen som har en stor påverkan på resultatet, samt att
3. Jämföra miljöpåverkan från pappersfiber med produktion av textil från 100% bomull, 100% organisk bomull, 100% polyester, 100% viskos, 100% ull och 100% Lin.

Studien innefattar tillverkning av papperstextil från "vagga till grind" det vill säga från produktion av papper från svensk skogsråvara till färdig textil. Den funktionella enheten för studien sattes till 1 m² producerad papperstextil, men för jämförelse med andra fibertyper användes 1 kg tyg som funktionell jämförelse. Resultatet från studien presenteras för klimatpåverkan, försurning, övergödning, fotokemisk ozonbildningspotential, vattenanvändning, landanvändning, ekotoxicitet, humantoxicitet (cancer) och humantoxicitet (non-cancer). Resultatet för klimatpåverkan presenteras i huvudrapporten och resultaten för övriga miljöpåverkanskategorier presenteras i en bilaga.

Resultaten visar att för produktion av papperstextil så står pappersproduktionen och färgningsprocessen för en stor del av den totala klimatpåverkan. Det beror främst på användning av energi och produktion av elektricitet och andra energibärare som används i processerna, t ex produktion av biobränsle som används för uppvärmning av färgningsbad. Den totala klimatpåverkan för tillverkning av papperstextil beräknades till 0,8 kg CO₂-ekvivalenter per m² papperstextil. Känslighetsanalysen visar till exempel att om elektricitet med hög klimatpåverkan köps in till garnprocessen, så ökar den totala klimatpåverkan för tillverkning av papperstextil till 2,1 kg CO₂-ekvivalenter per m² papperstextil.

Jämförelsen mellan olika fiberråvaror visar att pappersfiber står sig bra mot andra alternativ. Om man endast jämför klimatpåverkan så har pappersfiber och organisk bomull lägst klimatpåverkan per kg fiber.

1 Introduktion

I detta kapitel ges en kort introduktion till bakgrunden till projektet. Kapitlet beskriver även metodiken som använts i studien dvs Livscykelanalys (LCA).

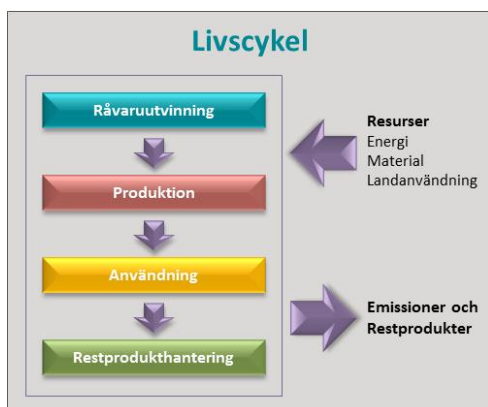
1.1 Bakgrund

Världens behov av textila material ökar kontinuerligt (Rydberg & Nilsson, 2019). Medvetenheten ökar om att jordens resurser är begränsade och att dagens konventionella textilproduktion har stora miljöutmaningar, inte minst vad gäller vattenförbrukning och föroreningar vid bomullsodling (Chapagain et al, 2005). Det bidrar till att öka efterfrågan på miljösmarta textilier. För svensk del innebär detta ett ökat intresse för textil från träråvara, då Sverige har förhållandevis stora tillgångar på skog. Samtidigt behöver nya material och koncept utvärderas ur miljösynpunkt för att undvika att stora nya miljöproblem uppstår. För att mäta miljöpåverkan på en produkt kan verktyget livscykelanalys (LCA) användas.

1.2 Livscykelanalys

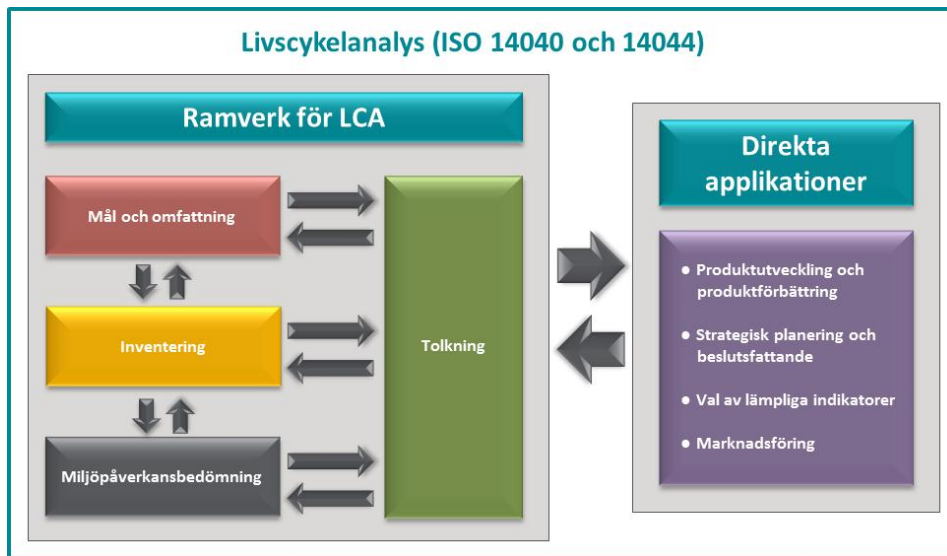
Livscykelanalys (LCA) är en sammanställning och utvärdering av relevanta inflöden och utflöden från ett produktsystem samt utvärdering av de potentiella miljöeffekterna hos produktsystemet över hela dess livscykel (ISO 14040:2006 och 14044:2006). Ett produktsystem avser de enhetsprocesser (delsteg) som inkluderas i en produkts livscykel. Med inflöden och utflöden avses användning av naturresurser respektive generering av emissioner och restprodukter som är knutna till systemet.

Livscykeln består av processer och transporter i alla stadier från uttag av naturresurser till och med slutligt omhändertagande av produkten samt kvittblivning av restprodukter (avfallshantering och återvinning) (Figur 1).



Figur 1. Illustration av ett LCA system.

En livscykelanalys består av fyra faser, vilka enligt ISO-standarderna benämns; definition av målsättning och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning och tolkning av resultaten (Figur 2).



Figur 2. LCA-studiens olika faser.

2 Mål, syfte och omfattning

I detta kapitel sammanfattas projektets mål och syfte samt omfattningen av studien. Här beskrivs även de avgränsningar som har gjorts för studien.

2.1 Syfte och omfattning

Projektet syftar till att undersöka miljöpåverkan för tillverkning av textil från papper. Resultaten för papperstextil ska även jämföras med och diskuteras för alternativa textilmaterial.

Livslängden för textilen har inte inkluderats eftersom studien inkluderar ”vagga till grind” dvs från produktion av råmaterial till färdig textil. Studien har inte heller tagit hänsyn till eventuella egenskaper hos textilen och hur det skiljer sig till andra typer av textila material.

2.2 Mål

Målen med projektet är att:

1. Beräkna miljöpåverkan för papperstextil ur ett livscykelperspektiv genom att använda LCA som metodik
2. Identifiera de delar av tillverkningen som har en stor påverkan på resultatet, samt att
3. Jämföra miljöpåverkan från pappersfiber med produktion av fiber från 100% bomull, 100% organisk bomull, 100% polyester, 100% viskos, 100% ull och 100% Lin.

2.3 Studerade produktsystem

Det studerade produktsystemet som har inkluderats är textil tillverkad papper från skogsråvara från Sverige. Tillverkning inkluderar produktion av pappersmassa och papper, garntillverkning, färgning, stickning och slutligen tillskärning och sömnad.

2.3.1 Funktionell enhet

Den funktionella enheten fungerar som beräkningsbas för studien och är den enhet som resultatet relaterar till. Som funktionell enhet valdes **1 m² papperstextil**.

För jämförelsen mellan pappersfibrer med övriga fibrer valdes 1 kg tillverkad fiber som funktionell enhet.

Den färdiga papperstextilen väger 400 g/m².

2.3.2 Typ av LCA

Det finns två olika typer av LCA-studier som skiljer sig åt genom att de svarar på olika frågor. En LCA-studie kan antingen vara en bokförings-LCA eller en konsekvens-LCA. En bokförings-LCA fokuserar på att undersöka miljöpåverkan från ett system medan en konsekvens-LCA undersöker miljökonsekvenserna av övergång från ett system till ett annat.

Denna studie är en bokförings-LCA och fokuserar på att undersöka miljöpåverkan för tillverkning av papperstextil.

2.4 Känslighetsanalys

Med känslighetsanalys avses analys av osäkra parameter som kan vara avseende indata eller antaganden som har gjorts i studien. Påverkan på resultat från analysen har utvärderats och presenteras separat efter huvudresultatet för studien (kapitel 4.3).

Följande scenarier har undersökts i en känslighetsanalys:

- Optimerad energiåtgång vid färgning. Erhållna data bygger på en pilotkörning i färgeriet. För att få värden motsvarande verklig produktion har vi i grundfallet antagit halv energianvändning i färgeriet jämfört med pilotkörningen. Detta motsvarar att man kan ha dubbla mängden garn i samma badvolym vilket enligt färgeriet är mera rimligt att anta i riktig produktion. Känslighetsanalysen innebär att de ursprungligen erhållna värdena från pilotkörningen använts i modellen.
- Byte av elmix i garnproduktionen. Garnproduktionen sker i Estland och ospecificerad elektricitet köps in för tillfället men det finns planer om att köpa in specifik sol-el. Därför räknas sol-el som basfall, och estländsk elmix som känslighetsanalys för att se vilken potentiell miljöpåverkan detta byte skulle kunna innebära.
- Byte till Kinesisk elmix i alla processteg efter pappersproduktion. Detta för att undersöka hur resultaten skulle påverkas om tillverkningen av papperstextil flyttades till Kina.

2.5 Systemgränser

Denna studie beaktar "vagga till grind", vilket innebär att livscykeln inkluderar råmaterialutvinning och olika bearbetningssteg från skogsbruk för skogsråvaran fram till en färdig textil redo för kund eller för fortsatt sömnad av klädesplagg (se Figur 3). LCA-studien inkluderar även relevanta transporter. Användning av textilen och avfallshantering är exkluderat från studien.

Studien reflekterar tillverkning av papper i Sverige samt även för övriga steg i tillverkningen förutom garntillverkningen som sker i Estland. Produktion av energi för tillverkning har antagits representera det land där produktionen äger rum där med undantag när specifika certifikat har köpts in.

Data för produktion av råvaror bygger på aggregerade data som främst baseras på genomsnittlig data från EU. I de fall där EU-baserade data inte varit tillgänglig har data från andra länder eller regioner använts.

2.6.2 Betydelsen av olika miljöeffekter relativt globala utsläpp – Normalisering

I studien har vi tagit fram resultat för ganska många olika typer av effektkategorier för miljöpåverkan. För att få en uppfattning om vad resultaten innebär har vi i detta avsnitt relaterat de olika utsläppen kopplade till textilernas livscyklar till de globala utsläppen för samma effektkategorier. För beräkningarna har globala värden enligt Tabell 2 använts.

Tabell 2 Normaliseringsfaktorer för de sju utsläppskategorier som beräknats i studien.

Effektkategori	Värde	Enhet	Källa
Klimatpåverkan (GWP)	4.22E+13	kg CO ₂ e	CML, 2015 ¹
Humantoxicitet, icke-cancer (HTPnc)	1.59E+06	CTUh	Crenna mfl, 2018 ²
Humantoxicitet, cancer (HTPc)	1.28E+05	CTUh	Crenna mfl, 2018 ³
Ekotoxicitet (ETP)	2.94E+14	CTUe	Crenna mfl, 2018 ³
Försurning (AP)	2.39E+11	kg SO ₂ e	CML, 2015 ²
Övergödning (EP)	1.58E+11	kg fosfat-ekvivalenter	CML, 2015 ²
Fotokemisk oxidantbildning(POCP)	3.68E+10	kg eten-ekvivalenter	CML, 2015 ²

Normaliseringsfaktorer är beräknade utifrån inventeringar av utsläpp globalt och karakteriseringsfaktorer för utsläppens relativa bidrag till en kategori. Det är därför viktigt att samma karakteriseringsfaktortabell används för den studerade produkten och för den globala beräkningen. Därför har två olika källor använts eftersom Crenna m.fl. har använt USETox 2.1 för beräkningarna av normaliseringsfaktorer för HTP och ETP, liksom vi har gjort för våra resultat i dessa kategorier. Vi har i vår studie däremot använt CML för våra resultat inom övriga kategorier och använder därför också normaliseringsfaktorer från CML i dessa.

¹ Oers, L. van, 2015. CML-IA database, characterisation and normalisation factors for midpoint impact category indicators. Version 4.5, april 2015. downloaded from <http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

² Crenna E., Secchi M., Benini L., Sala S. 2018. Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalisation factors for LCA. Int. J. LCA
doi:10.1007/s11367-018-1534-9

3 Livscykelanalysinventering

Livscykelanalysinventering genomförs för att få en förståelse för de olika stegen i livscykeln och för att i nästa steg identifiera och samla in de data som behövs för att genomföra beräkningarna. I följande kapitel presenteras den information som använts till modelleringen. Den generiska data som används vid modellering samt data för livscykelinventeringen presenteras i Bilaga B. För modelleringen har LCA-programvaran GaBi (version 9) använts.

Data och information som används som underlag för studien har samlats in från olika källor såsom:

- Tillverkare och leverantörer
- Litteratur
- Personlig kommunikation
- LCA databaser t ex LCA-programvaran GaBi databas (Thinkstep AG, 2020), andra databaser som Ecoinvent eller data publicerad av branschorganisationer

3.1 Produktion papper

Data för produktion av pappersråvaran till textilproduktion inkluderar hela värdekedjan från skogsbruk inklusive framdrivning av plantor (Berg & Lindholm, 2005) fram till produktion av pappersmassa och produktion av papper. Data för produktion har hämtats från miljörapporter från Bäckhammars bruk där pappersmassan tillverkas samt Åmotfors bruk där pappret tillverkas. Miljörapporterna bygger på data som rapporterades in under år 2019. För att få förståelse för skillnaden mellan kemikalieförbrukningen för olika papperskvaliteter har även viss information givits via personlig kommunikation med Nordic Paper (Salomonsson, 2020).

Data från miljörapporterna täcker direkta emissioner till både luft och vatten, kemikalieförbrukning samt energiförbrukning. Bäckhammars bruk tillverkar inte bara pappersmassa utan till viss del tillverkar de även papper utav en del av den tillverkade massan (Nordic Paper Bäckhammar AB, 2019). På grund av att miljörapporten rapporterar de totala emissionerna för anläggningen så kunde ingen allokering mellan massaproduktion och pappersproduktion genomföras för de direkta emissionerna. För el och värmeförbrukningen däremot kunde förbrukningen för massaproduktionen härledas och beräkningarna för el och värme är därför allokaterat enbart till den totala massaproduktionen. Funktionskemikalier som är angivna i miljörapporten har antagits användas för pappersproduktionen och har därför inte inkluderats. Hjälpkemikalier som används i den interna vattenreningen har inte inkluderats på grund av dataluckor för uppströmsdata. Hjälpkemikalier står för mindre än 1% av den totala kemikalieförbrukningen. Mängden virke för produktionen beräknades utifrån rapporterad förbrukning och omvandling till kg via en uppskattad densitet på 500kg/m³. Indata för miljöpåverkan från skogsbruk baseras på data för svenskt skogsbruk som inkluderar markanvändning samt olja för skogsmaskiner. Både avfallshantering för icke-farligt och farligt avfall som rapporterats i miljörapporten har inkluderats.

Efter att massan producerats i Bäckhammar transporteras den till Åmotfors där pappret tillverkas. Transporten mellan Bäckhammar och Åmotfors har uppskattats till 156 km. I Åmotfors bruk tillverkas papper av olika kvaliteter (Nordic Paper Åmotfors AB, 2019). Energiförbrukningen har antagits oberoende av papperssorten i detta fall. Åmotfors producerar delvis egentillverkad el från

elpanna och inköpt el är både från elnät och från Åmotforsenergi där man förbränner avfall. Data för den inköpta elen till processen har i denna studie beräknats utifrån svensk genomsnittlig elmix. För våtstyrkemedlet samt för vätmedlet har approximationer gjorts eftersom generisk data för miljöpåverkan för produktionen av specifikt de kemikalier saknats. Tillverkning och förbränning av diesel för interna transporter är medräknat både i massaproduktionen samt produktion av papper i Bäckhammar.

Både för pappersmasseproduktionen samt för produktionen av papper har de biogena CO₂ utsläppen inte räknats med utan endast de fossila utsläppen. Detta för att upptaget av biogent CO₂ inte har inkluderats för biobaserad energi eller för skogsråvaran. Mer detaljerad information gällande data för beräkning av påverkan från pappersproduktionen beskrivs i Bilaga B.

3.2 Övriga produktionssteg

Garntillverkningen sker i Estland och där processas papper på rulle till remsor som sedan formas till garn. Processen använder enbart elektricitet. El köps på spotmarknaden fram till nu, men man avser köpa förnybar el framöver och därför har sol-el använts i modellen. Som jämförande illustration i känslighetsanalysen har även ospecificerad estländsk genomsnittlig elmix använts i modellen, såsom den är implementerad i LCA-databasen. Spill från processen beräknas vara 5% och antas kunna återanvändas. Produktionen av spillet är därför inkluderat i studien men ej avfallshantering av det.

Färgning sker i Sverige och processen använder elektricitet, biobränsle, vatten och kemikalier nödvändiga för att färga textilen mörkblå. Svensk genomsnittlig elmix har använts i modellen. Eftersom färgning av papperstextil inte sker i någon stor skala just nu så är data framtagna i samband med ett pilotprojekt. Färgningsprocessen kommer därmed med största sannolikhet kunna använda mindre mängd vatten och kemikalier för att färga papperstextil när produktionen har nått en kommersiell skala. Mängden kemikalier som används beror också på vilken färg/nyans som är önskvärd där mörka nyanser kräver mer för att färgas in än ljusare. Vi har här minskat energianvändningen till hälften av det som företaget angav, för att ta hänsyn till möjligheter till storskalig optimering.

Stickning sker i Sverige och processen använder endast elektricitet. Svensk genomsnittlig elmix används i modellen och spill från processen är i snitt 7% och antas kunna återanvändas. Produktionen av spillet är därför inkluderat i studien men ej avfallshantering av det.

Vävning inkluderar varpning och vävning av tyg och detta sker i Sverige med processer som endast använder elektricitet. Elektriciteten som köps in kommer specifikt från lokal vattenkraft och har modellerats med svensk vattenkraft. Spill från processen beräknas vara 2,5% och antas kunna återanvändas. Produktionen av spillet är därför inkluderat i studien men ej avfallshantering av det. Vävning har inte inkluderats i diagrammen men skiljer ganska obetydligt från stickning med avseende på el-åtgång.

Tillskärning och sömnad sker i Sverige och processen använder endast elektricitet. Svensk genomsnittlig elmix används i modellen. Spill från processen är i snitt 7% och antas kunna återanvändas. Produktionen av spillet är därför inkluderat i studien men ej avfallshantering av det.

All livscykelinventeringsdata för produktionsstegen presenteras i bilaga B.

3.3 Transporter

Alla relevanta transporter har inkluderats i studien. Typ av transport samt sträcka för samtliga transporter redovisas nedan i Bilaga B. För kemikalier till respektive tillverkningssteg har en transport med lastbil (Euro 6) på 500 km antagits.

3.4 Andra fiberråvaror

Bomullsfiberproduktionen modelleras med data från databasen Ecoinvent för ett globalt medelvärde för marknaden av fiberproduktion.

Organisk bomullsfiberproduktion modelleras också med data från Ecoinvent för ett globalt medelvärde för marknaden av fiberproduktion.

Polyester har modellerats med PET-fiberproduktion i Europa med ett dataset från databaser från Thinkstep/Sphera.

Viskosfiberproduktion har modellerats med ett dataset från Ecoinvent för ett globalt medelvärde för marknaden av fiberproduktion.

Lin har modellerats med data från Ecoinvent för ett globalt medelvärde för marknaden av fiberproduktion.

Ull har modellerats med ett dataset från Thinkstep/Spera som i aggregerad form inkluderar uppfödning av får i Europa och tillverkning av garn i Tyskland. Vi har sedan valt att dra bort miljöpåverkan från garntillverkningen motsvarande 2,5 kWh el per kg garn multiplicerat med miljöprofilen för tysk elproduktion. Därmed representerar resultatet bättre framställningen från fårfarm till balad ull.

4 Resultat

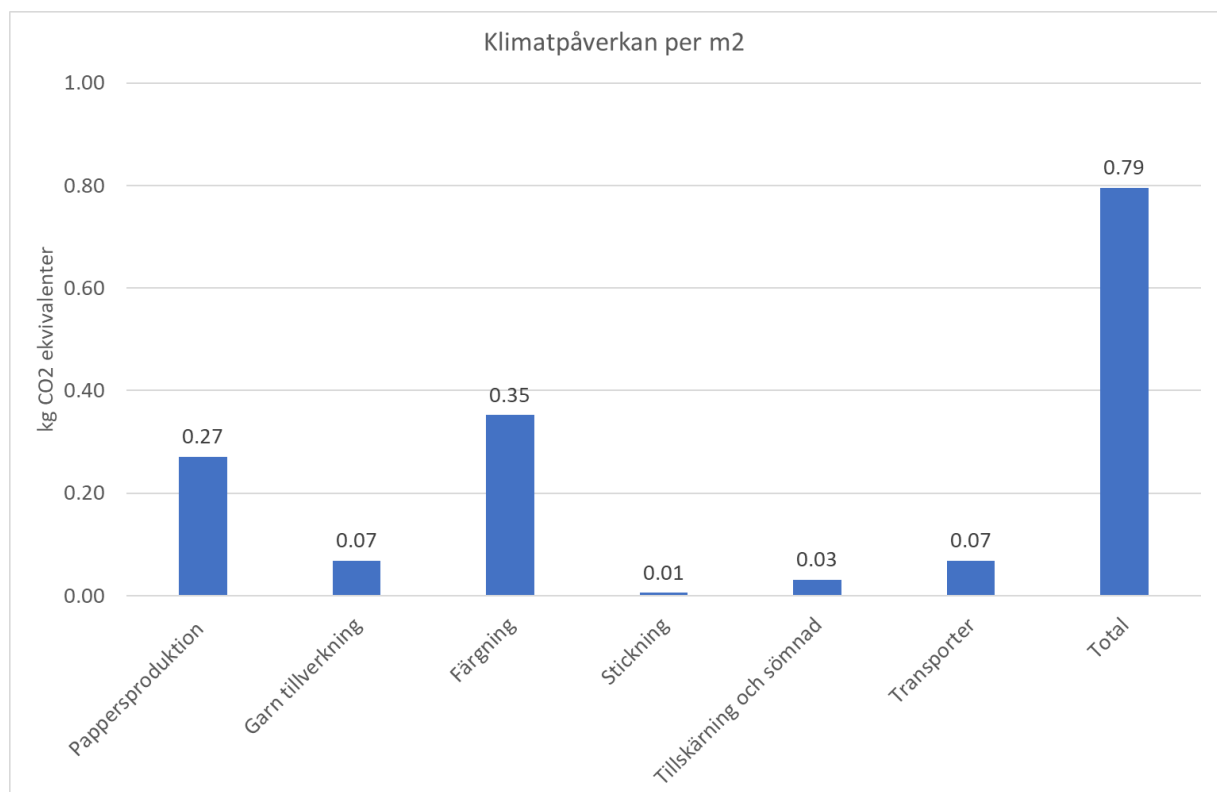
I det här kapitlet presenteras och beskrivs resultatet av LCA-studien. Resultatet som presenteras är främst för klimatpåverkan men övriga miljöpåverkanskategorier som inkluderats i studien presenteras i Bilaga C. Först presenteras resultatet för papperstextil följt av en jämförelse mellan pappersfiber, bomullsfiber (organisk och traditionell), viskosfiber, ullfiber, linfiber och polyesterfiber och därefter presenteras resultatet för de känslighetsanalyser som genomförts.

4.1 Papperstextil

4.1.1 Klimatpåverkan

I Figur 4 nedan visas resultaten för klimatpåverkan per kvadratmeter papperstextil. Papperstillverkning och färgning bidrar mest. Färgningsprocessen står för det högsta bidraget till klimatpåverkan. Uppvärmning av färgningsbadet står för ca 60% av den totala klimatpåverkan från färgningsprocessen medan produktion av kemikalier står för ca 40% av påverkan.

I Figur 5 framgår att ungefär 80% av den totala påverkan från pappersproduktionen kommer från skogsbruk och produktion av massa, och att resterande 20% kommer från produktion av papperet och transport. Den största delen av klimatpåverkan från produktionen av pappersmassa kommer från energiförbrukning men även till stor del från produktion av kemikalier som behövs till processen av massan.



Figur 4. Klimatpåverkan för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i kg CO₂ ekvivalenter per m2 tyg.



Figur 5. Klimatpåverkan från papperstillverkning.

4.1.2 Övriga påverkanskategorier

Resultaten för övriga påverkanskategorier var för sig presenteras i Bilaga C.

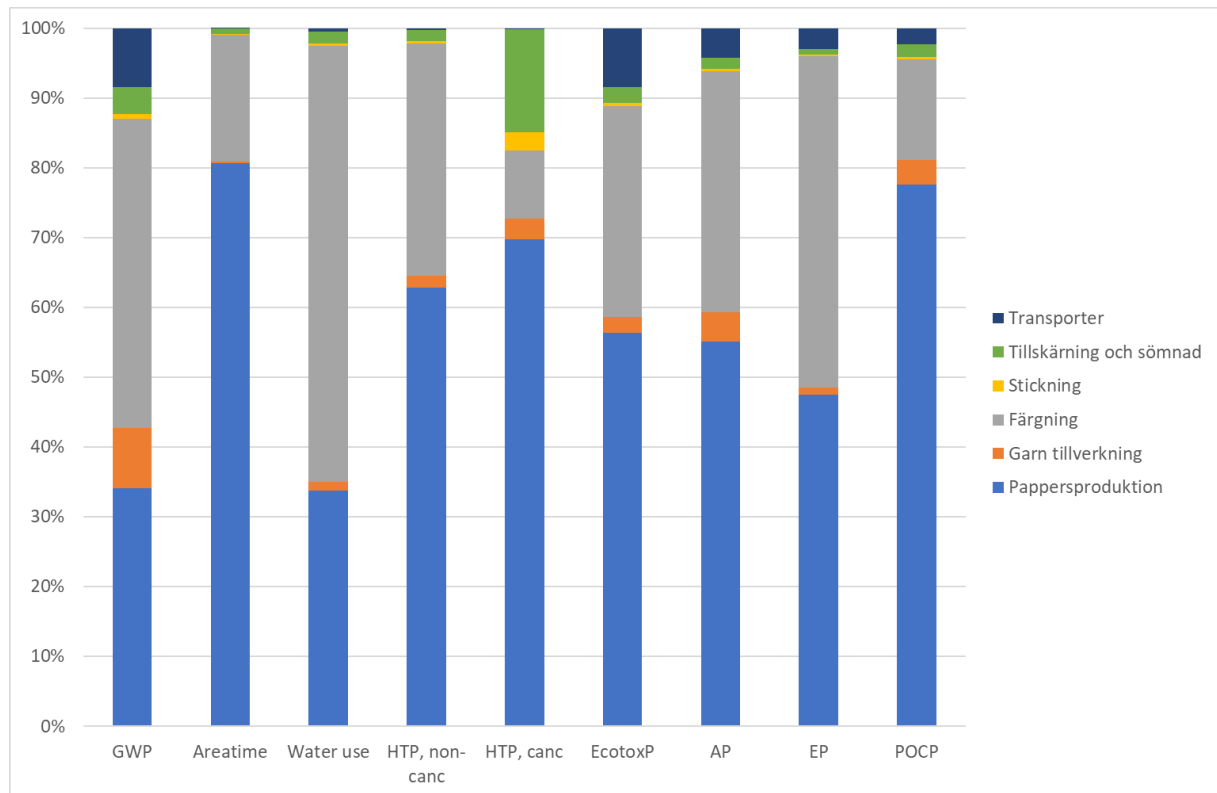
4.1.3 Bidrag av livscykelsteg till olika miljöeffektkategorier

Resultaten från Figur 4 och bilaga C har här sammanfattats i ett diagram Figur 6 genom att bidragen till miljöpåverkan genom livscykeln läggs i en stapel där totalresultatet utgör 100 %. Detta görs för samtliga miljöeffekter som i diagrammet därmed presenteras så att varje miljöeffekt utgör en stapel. Formatet ger en överblick över vilka steg i livscykeln som bidrar mest till olika miljöeffekter.

Liksom i avsnitt 4.1.1. ser vi att pappersproduktion och färgning står för de största bidragen till klimatpåverkan (GWP). Resultaten för förbrukningspotential följer någorlunda samma mönster som klimatpåverkan med hänsyn till vilka processteg som har störst påverkan. Pappersproduktionen ger det största bidraget till förbrukningspotentialen följt av färgningsprocessen. Färgningsprocessen har det största bidraget när det kommer till övergödning följt av pappersprocessen. Produktionen av papper står för det största bidraget för både fotokemisk oxidantbildning och landanvändning. För påverkanskategorin vattenanvändning så står färgningsprocessen för det största bidraget.

För de olika toxicitets-kategorierna³ så står generellt pappersproduktionen och färgningsprocessen för de största bidragen till den totala påverkan.

För påverkanskategorin vattenanvändning så står färgningsprocessen för det största bidraget.



Figur 6: Resultat för papperstextil presenterade i ett sammanfattningsdiagram, där resultaten för varje effektkategori lagts i en stapel och varje kategori summeras därmed till 100%.

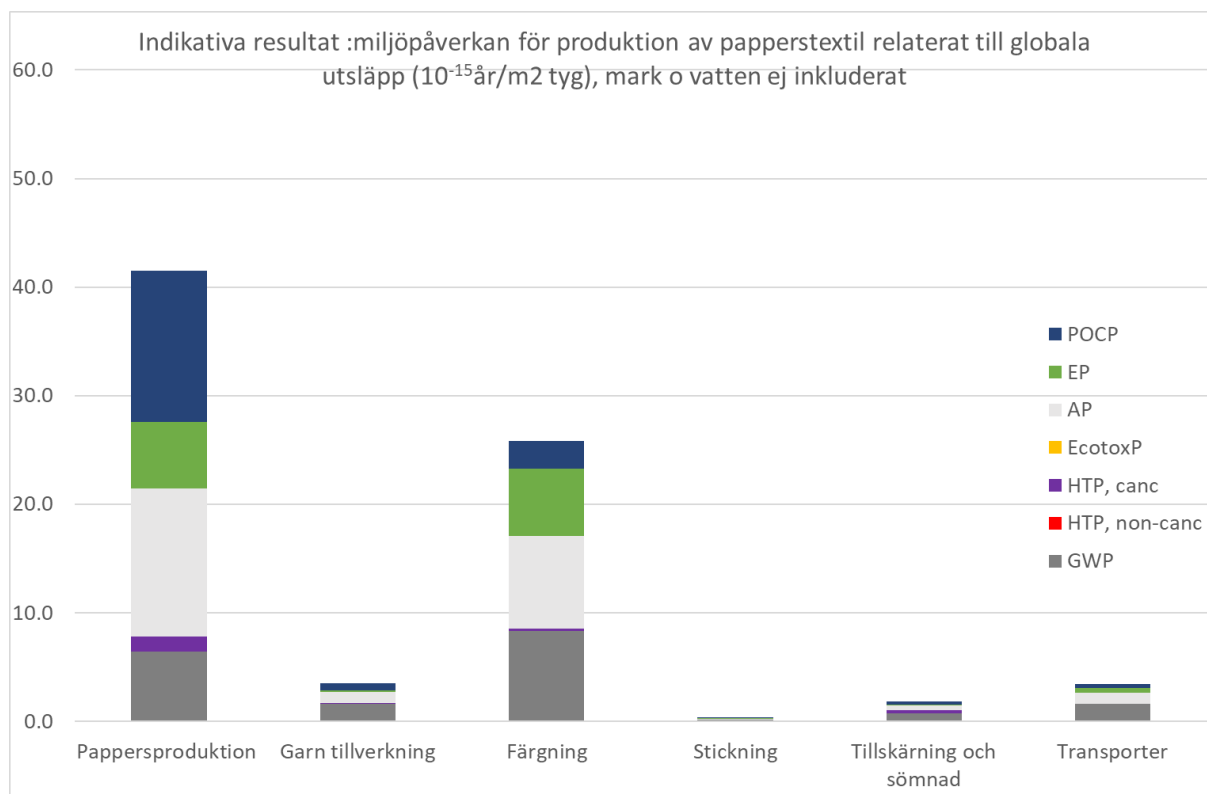
Vissa av bidragen till de olika kategorierna kommer från den egentliga processen, men i många fall kommer bidragen från framställning av bränsle/energibärare, och i vissa fall från material som används för att bygga produktionsanläggningar. Exemplet belyser en allmän utmaning i LCA-studier där man delvis använder dataset från databaser, att systemgränserna kan vara något olika mellan olika dataset.

4.1.4 Normaliserade resultat

I Figur 7 presenteras resultat för samtliga miljöeffektkategorier i en bild, sammantaget. Inom varje kategori har resultatet delats med den globala belastningen (se 2.6.2) Andel inom respektive kategori har presenterats för varje steg i livscykeln. Man kan notera att för pappersproduktion är

³ Modell framtagen för att beräkna påverkan för humantoxicitet och ekotoxicitet ur ett livscykelperspektiv (USEtox, 2020).

försurning (AP) och fotokemisk oxidantbildning (POCP) de två effektkategorier som har störst relativ betydelse, men för garntillverkning och färgning är det istället klimatpåverkan (GWP).



Figur 6. Beräkningsresultat för livscykelstegen för papperstextil i referensfallet, presenterat för samtliga effektkategorier som andel av de globala utsläppen.

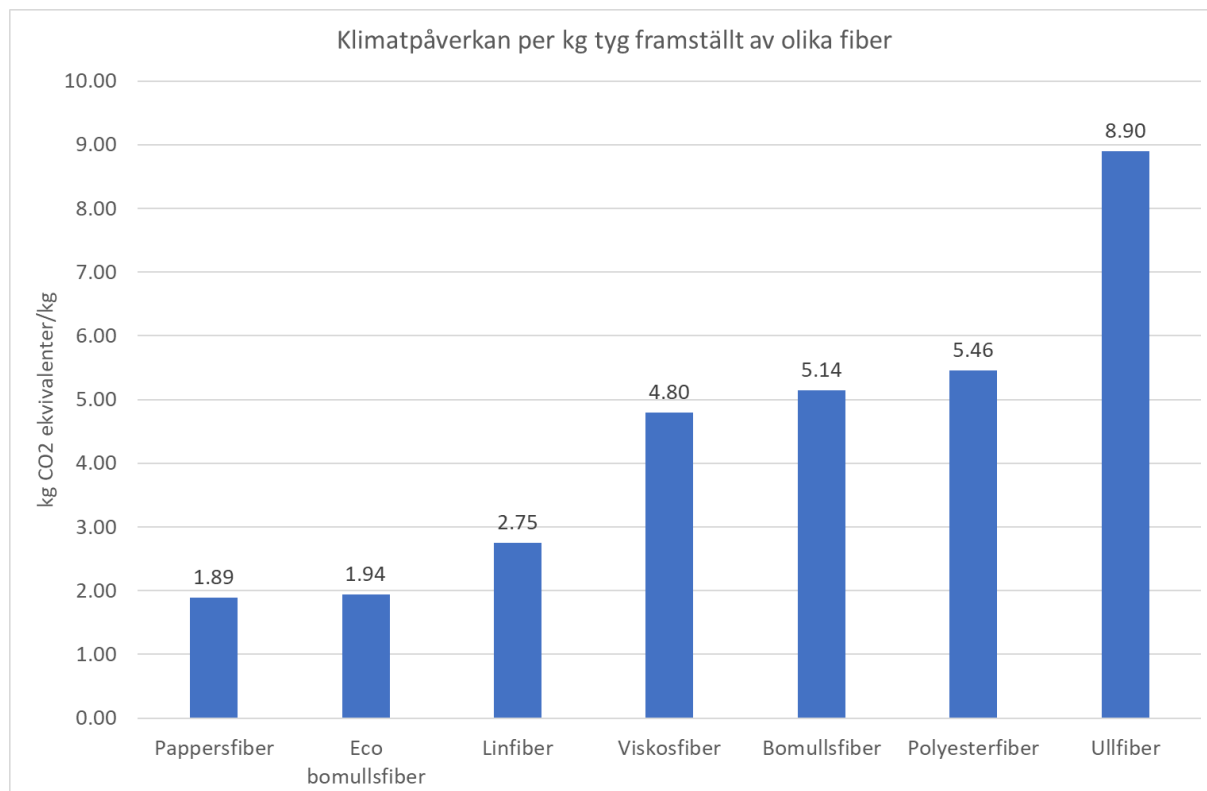
4.2 Jämförelse mellan olika fiberråvaror

4.2.1 Klimatpåverkan

Jämförelsen mellan olika fiberråvarors miljöpåverkan presenteras i 8. Resultaten presenteras per kg tyg från olika fiberråvara. Från garntillverkning och fram till färdigt tyg har räknats med samma miljöpåverkan oberoende av material. Jämförelsen visar att tyg av papper och organisk bomullsfiber har lägst påverkan per kg medan ullfiber har högst klimatpåverkan jämfört med de övriga.

Jämförelsen sker mellan specifika data för pappersfiber och generiska medelvärdesdata (globalt eller europeiskt genomsnitt) för resterande fiberråvaror. Se bilaga B för information om den

generiska data. Detta medför att jämförelsen inte är helt rättvis. För de övriga fibertyperna kan miljöpåverkan i specifika fall vara antingen lägre eller högre än de presenterade värdena⁴.



Figur 8. Jämförelse klimatpåverkan mellan tyg tillverkat från pappersfiber (denna studie) och övriga fibertyper - bomullsfiber (organisk och traditionell), polyesterfiber, linfiber, ullfiber och viskosfiber, uttryckt i kg CO₂ ekvivalenter per kg råvara. För samtliga övriga fibertyper är data från GaBi (2018) och representerar ett typvärde för fibertypen. Specifika värdekedjor för dessa fibertyper kan resultera i både högre och lägre värden.

4.2.2 Övriga påverkanskategorier

Resultaten för övriga påverkanskategorier presenteras i Bilaga C.

Resultaten för försurning har lite annorlunda fördelning gentemot klimatpåverkan. Traditionell bomullsfiber har högst försurningspotential.

För övergödning har både traditionell bomullsfiber och organisk bomullsfiber hög påverkan följt av linfiber.

För fotokemisk oxidantbildning så har viskosfiber högst påverkan.

Organisk bomullsfiber och ullfiber har högst påverkan i kategorin landanvändning.

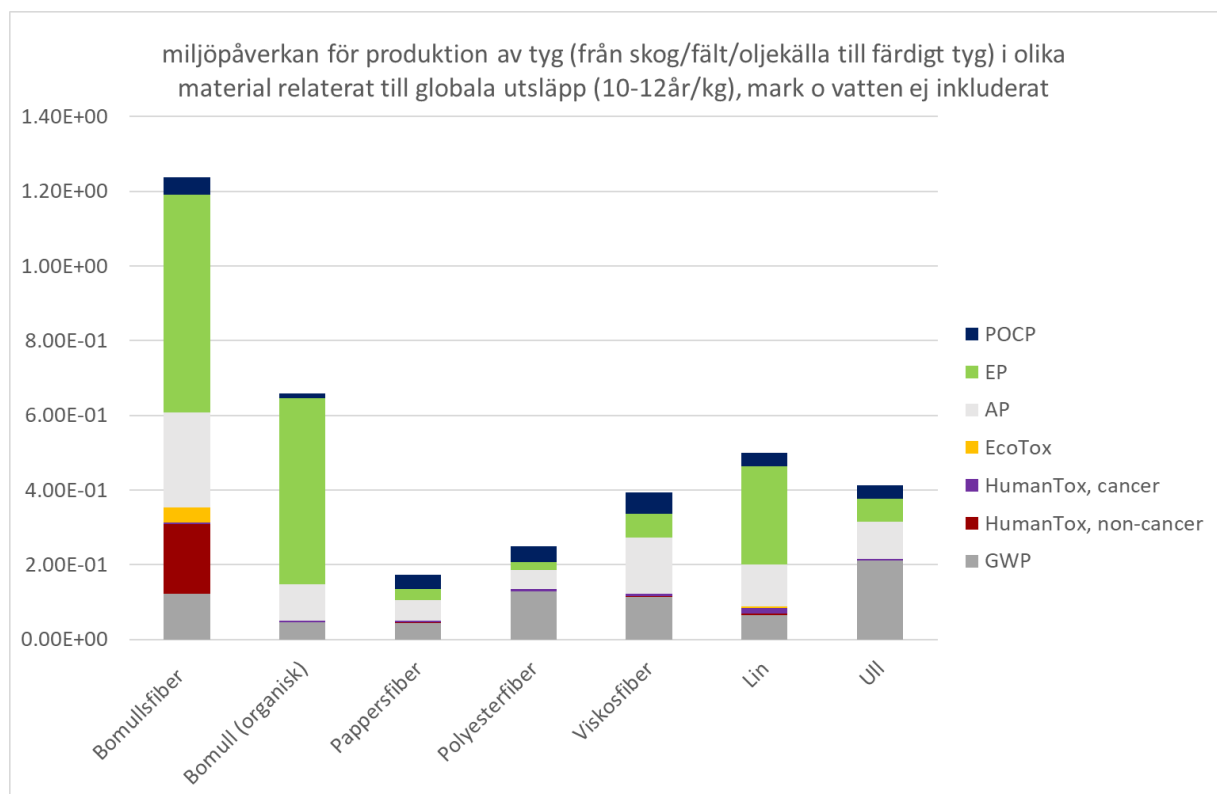
⁴ För ull finns värden från 1,7 till 36,2 kg CO₂ publicerade. (Sandin *et al*, 2019). En stor del av värdet kommer av att fåren liksom kor är idisslare och släpper ut metan, som är en kraftfull växthusgas. Omkring 75 % av klimatpåverkan anges härröra från metanutsläppen. Den stora variationen beror förstås på olika djurhållningssätt, foder, mm, men också mycket på hur man väljer att fördela miljöpåverkan mellan kött, mjölk och ull. Ett extremexempel nämnt i Sandins m fl rapport där utföraren hade räknat ullen som ett avfall och därmed ullgarnsproduktion som ett sätt att undvika avfall ledde till att ullfibern fick en tillskriven klimatpåverkan om -26 kg CO₂-e/kg ull.

Bomullsfiber och ullfiber har signifikant högre vattenanvändning än andra fiberråvaror. För bomullsfiber beror detta generellt på konstbevattning.

För de olika USEtox-kategorierna så har generellt bomullsfiber hög påverkan förutom för human toxicitet där Linfiber har högst påverkan.

4.2.3 Normaliserade resultat

Genom att normalisera beräkningsresultaten för de olika fibertyperna till de globala utsläppen kan man presentera resultat som gjorts i Figur 9, och då fås en översiktlig bild av vilka effektkategorier som är mer eller mindre betydelsefulla för produkten i relation till den globala föroreningsituationen. Man kan då tydligt se att för de jordbruksbaserade fibrerna är övergödningssrelaterade utsläpp (EP) ett dominerande problem. Vi har inte haft möjlighet att gå in på orsakerna till det i detalj, men det är relativt väntat. Man kan också se att papperstyg faller väl ut i denna översiktliga jämförelse.



Figur 9. Resultat av beräkningar för tyg tillverkat från pappersfiber (denna studie) och övriga fibertyper - bomullsfiber (organisk och traditionell), polyesterfiber, linfiber, ullfiber och viskosfiber, då alla sju utsläppskategorier inkluderats och normaliserats mot globala utsläpp inom respektive kategori. Data för stegen från garntillverkning fram till färdigt tyg är samma för alla materialen. För övriga fibertyper är data från GaBi (2018) och representerar ett typvärde för fibertypen. Specifika värdekedjor för dessa övriga fibertyper kan resultera i både högre och lägre värden.

4.3 Känslighetsanalys

I följande kapitel presenteras resultatet från känslighetsanalysen där alternativ elmix för garntillverkningen samt kinesisk elmix vid denna och övriga produktionssteg har undersökts. Därtill undersöks hur dubbel energiåtgång vid garnfärgning påverkar resultatet. Resultaten jämförs med det ursprungliga scenariot som har presenterats i kapitel 4.1.

4.3.1 Klimatpåverkan

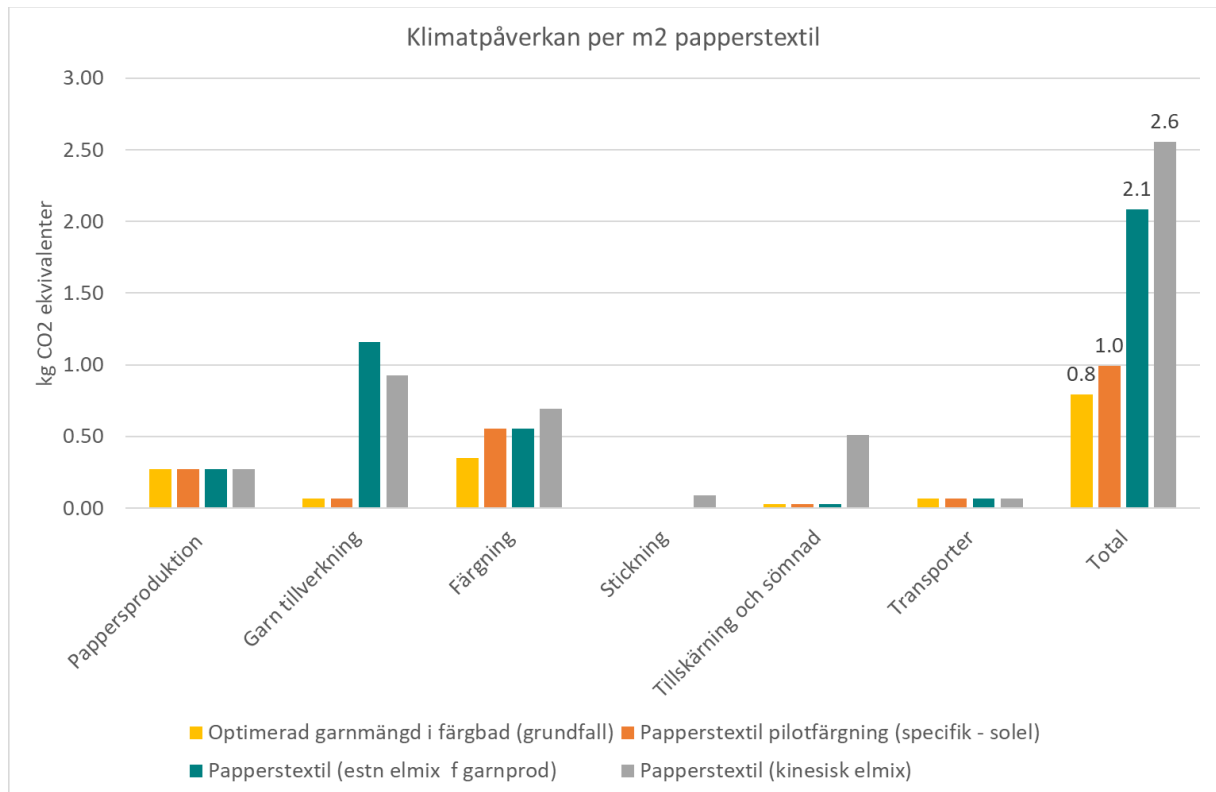
I Figur 10 presenteras (grundfall) resultaten för papperstextil när specifik el (sol-el) har köpts in till garnproduktionen i Estland och med det använda underlaget för färgningsprocessen.

Första känslighetsanalysen gäller färgningsprocessen. Känslighetsanalysen innebär att de erhållna värdena från pilotkörningen använts i modellen. Med pilotkörningens data blir klimatpåverkan 1,0 kg CO₂-ekvivalenter/kg textil, istället för utgångsfallets 0,8 kg.

Eftersom klimatpåverkan från estländsk medel-elmix är ca 1 kg CO₂e/kWh så skulle bidraget från garntillverkning drastiskt öka om estländsk medel-el användes istället för referensfallets sol-el. Totala klimatpåverkan för en kvadratmeter papperstextil ökar från ca 1,0 kg CO₂e till 2,1 kg CO₂e om estländsk medel-el används för garntillverkningsprocessen.

I Figur 10 visas även resultatet för den andra känslighetsanalysen med avseende på elmix och visar hur klimatpåverkan skulle kunna se ut om produktionsstegen från garntillverkning till tillskärning & sömnad äger rum i Kina istället, med den el-mix som råder där. Pappersråvaran och transporter antas vara samma som i basscenariot.

Man kan konstatera att resultaten är mycket känsliga för vilken el som köps och används i de olika process-stegen, vilket framgår tydligt i de två fiktiva räkneexemplen med kinesisk elmix i hela tillverkningskedjan respektive estländsk elmix i garntillverkningsprocessen. Estländsk elmix är enligt använd data (Thinkstep 2020) något mer kolintensiv än kinesisk så klimatpåverkan från garnprocessen är i räknefall Estland något högre än i räknefall Kina. Klimatpåverkan från övriga produktionssteg som använder elektricitet ökar med införandet av kinesisk medel-elmix, eftersom beräkningsfallet antar att denna då ersätter svensk elmix. Totala klimatpåverkan för papperstextil med kinesisk medel-elmix i processerna ökar då från 2,1 kg CO₂e/m² till 2,6 kg CO₂e/m².



Figur 10. Klimatpåverkan för papperstextil jämfört med de tre känslighetsanalyserna uttryckt i koldioxidekvivalenter per m² papperstextil.

4.3.2 Övriga påverkanskategorier

Känslighetsanalysresultat för övriga påverkanskategorier har inte inkluderats. Samtliga scenarier omfattar förändringar av energiinsatser eller dessas miljöpåverkansprofil, och de följer i allt väsentligt förändringarna i klimatpåverkan.

5 Diskussion och Slutsats

I detta kapitel presenteras en diskussion till resultatet samt de slutsatser som kan dras från studien. Diskussion innefattar beskrivning över hur resultatet ska tolkas samt vilka begränsningar resultatet innefattar. Vi ger även förslag på möjliga framtida studier som är av intresse för att bygga vidare på denna studie.

5.1 Tolkning av resultat och begränsningar

Vid tolkning av resultaten är det viktigt att ha i åtanke att resultaten bör tolkas i relation till de mål och omfattning som ligger till grund för studien. Målen för studien:

1. Beräkna miljöpåverkan för papperstextil ur ett livscykelperspektiv genom att använda LCA som metodik
2. Identifiera de delar av tillverkningen som har en stor påverkan på resultatet, samt att
3. Jämföra miljöpåverkan från pappersfiber med produktion av fiber från 100% bomull, 100% organisk bomull, 100% polyester, 100% viskos, 100% ull och 100% Lin.

Resultatet är även beroende av de antagande som gjorts i studien vilket innebär att andra antagande kan påverka resultatet. För att belysa påverkan av val av elmix i studien har känslighetsanalyser genomförts.

Resultaten från känslighetsanalyserna visar att elmixen har en stor betydelse för den totala klimatpåverkan från tillverkning av papperstextil. Den totala klimatpåverkan varierar mellan cirka 1 kgCO₂e/m² till cirka 3 kgCO₂e/m² för de olika känslighetsanalyserna.

Försiktighet skall tillämpas om resultatet från studien används i marknadsföringssyfte. Resultaten för papperstextil bygger på en specifik värdekedja med specifika förutsättningar och val av data för modelleringen. Livscykeldata för övriga fibrer utgörs av data från databaser, och kan anses peka på typiska miljöprestanda för dessa fibertyper. Men det är viktigt att komma ihåg att prestanda för dessa fibertyper kan vara både avsevärt lägre eller avsevärt högre, i enskilda och specifika värdekedjor, på liknande sätt som resultaten för papperstextil kan variera med specifika val och förutsättningar såsom påvisats i känslighetsanalysen.

5.1.1 Papperstextil

Teknikmognad

Eftersom papperstextil ej ännu produceras på en kommersiell skala så baseras mycket av den insamlade datan på hur förhållanden har sett ut under pilotstudier och tester. Detta medför att processerna inte är helt optimerade och effektiva för just papperstextil. För färgningsprocessen antas en halvering av energin kunna motsvara en optimerad process. Även en potentiell förbättring där mängden kemikalier (förutom färg och mjukmedel) skulle kunna halveras skulle kunna tänkas när processen är optimerad, men detta har inte lagts in i modellen. För resterande

processteg så är det oklart hur mycket lägre energiförbrukning en processoptimering skulle innebära men potential finns. Tillverkning av pappersråvaran kan däremot ses som en redan etablerad och optimerad process.

Garntillverkning

Miljöpåverkan från garntillverkningsprocessen omfattar i studien endast elanvändning. Vilken elmix som köps in, och därmed vilken miljöpåverkan el-produktionen har, får därmed avgörande betydelse för miljöpåverkan i detta steg. Mängden el är förstås också en viktig faktor. För papperstextilen är det använda värdet 2,5 kWh/kg garn (9 MJ/kg). För bomull (och likartat för andra stapelfibrer) finns värden i litteraturen som varierar kring detta värde, mellan 1,6 kWh/kg och 4,2 kWh/kg. I ett specifikt undersökt fall utgjordes knappt hälften av energiåtgången av spinnmaskinerna, medan kardning utgjorde 12 % och andra processer förbrukade de återstående 40 %⁵. Eftersom tillverkningen av garn från papper är en enklare process där behandlingen före spinning endast utgörs av ett moment där papperet skärs till strimlor, kan det vara möjligt att garnproduktionen för papperstextil kan dra mindre energi än för andra fiberslag vid optimerad produktion. Men man bör komma ihåg att garnproduktionen då utgår från papper på rulle jämfört med stapelfiber för andra material. Oavsett fibermaterial utgör garntillverkning därtill en relativt liten del av den totala livscykeln för textilier. Vi har därför valt att räkna med lika stor energiåtgång vid garntillverkning för alla fiberslagen.

5.1.2 Papperstextil jämfört med andra fibrer

Jämförelsen sker mellan specifika data för papperstextil och generiska data för andra fiberråvaror. Eftersom den generiska datan för jämförelsen även baseras på globala medelvärden för marknaden för fiberproduktion eller europeiska medelvärden så innebär detta att jämförelsen kan bli något missvisande, eller i alla fall måste framhållas baseras på inte helt likvärdig information. Resultatet för pappersfiber är specifik för svenska förhållande både vad det gäller skogsråvara och energimix.

Jämförelsen tar ej hänsyn till kvalitet eller livslängd för produkterna som kan tillverkas av fiberråvarorna. Detta innebär att en jämförelse mellan fiber och en färdig textils hela livscykel skulle kunna innebära väsentligt annorlunda resultat och slutsatser när det gäller potentiell miljöpåverkan.

5.1.3 Inventeringsdata

Bakgrundsdata för studien bygger främst på data hämtad från LCA-databaserna Thinkstep AG (2020) samt Ecoinvent (Wernet et al. 2016). Den största delen av data som använts för studien är representativ för 2016 och 2018 vilket kan antas representativt även för dagens tillverkning.

5.2 Förslag på framtida studie

Denna studie innefattar "vagga till grind" vilket innebär att användning av tyget och avfallshantering av produkten inte är inkluderat. Att inkludera hela livscykeln för tyget i

⁵ Kaplan E., Koç E.; Investigation of Energy Consumption in Yarn Production with Special Reference to Open-End Rotor Spinning. 7 FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2010, Vol. 18, No. 2 (79) pp. 7-13.

användning i en produkt är intressant för en framtida studie. Detta för att kunna dra slutsatser kring textilens hela livscykel med användning och avfallshantering.

Att ta fram en EPD (Miljövarudeklaration) när produkten finns på marknaden och har producerats under ett år kan rekommenderas. EPD är ett bra verktyg för kommunikation av resultat eftersom det ger verifierad och jämförbar information om miljöpåverkan.

5.3 Slutsats

Huvudsyftet med denna studie är att beräkna miljöpåverkan för olika papperstextil och identifiera de delar av processen som bär en stor del av miljöpåverkan, samt att jämföra miljöpåverkan för pappersfiber med några fibrer som idag finns på marknaden.

Resultatet från LCAn visar att en stor del av klimatpåverkan och annan miljöpåverkan för tillverkningsprocessen för papperstextil uppkommer från pappersproduktionen och färgning men även från andra processer kan bidraget vara stort om dessa köper el från koldioxid intensiv elektricitetsproduktion. Studien visar att tillverkning av 1 m² papperstextil med aktuellt scenario för industriell produktion skulle ge upphov till 0,8 kg CO₂e. Jämfört med typiska värden för övriga fibrer på marknaden idag så visar jämförelsen att pappersfibrer har lägre klimatpåverkan jämfört med övriga fibrer som är inkluderade. Viktigt att belysa med jämförelsen är dock att resultatet för pappersfiber bygger på specifika data där nästan alla delsteg i processen sker i Sverige med svensk genomsnittlig elmix eller bättre medan de övriga fibrerna bygger på generiska data med tillverkning globalt eller på specifika marknader med annan klimatprestanda i el-systemet. För specifika värdekedjor kan därmed de övriga fibrerna därmed uppvisa såväl bättre som sämre miljöprofil än den här presenterade.

Känslighetsanalyserna visar att energiåtgång och hur elektriciteten produceras har stor betydelse för den totala miljöpåverkan. Produktion av elektricitet med stor andel fossila bränslen ger stort utslag.

Referenser

Berg S, Lindholm E-L, Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden, Journal of Cleaner Production, 13 (2005) 33-42.

Chapagain AK, Hoekstra AY, Savenjie HHG, Gautam R, The water footprint of cotton consumption, UNESCO-IHE, September 2005

Crenna E., Secchi M., Benini L., Sala S. 2018. Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalisation factors for LCA. Int. J. LCA doi:10.1007/s11367-018-1534-9

Nordic Paper Bäckhammar AB. 2019. Miljörapport 2019 version 2.

Nordic Paper Åmotfors AB. 2019. Miljörapport 2019 version 2.

Oers, L. van, 2015. CML-IA database, characterisation and normalisation factors for midpoint impact category indicators. Version 4.5, april 2015. downloaded from <http://www.cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

Rydberg T, Nilsson J, Cirkulär bioekonomi - omvärld och trender, (2019) IVL rapport C388, för SIP Bioinnovation, maj 2019.

Sandin G, Roos S, Johansson M (2019). Environmental impact of textile fibers – what we know and what we don't know, the fiber bible part 2, Mistra Future Fashion Report 2019:03 part 2,

Salomonsson, Carl-Gustaf. 2020. Nordic Paper Åmotfors AB. Personlig kommunikation.

Thinkstep AG. 2020. GaBi Software System and database for Life Cycle Engineering 1992-2020 version 9. Leinfelden-Echterdingen, Germany.

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230. Tillgänglig: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>.

USEtox. 2020. Frequently asked questions. Tillgänglig: <https://usetox.org/faq#t23n120>. Hämtad den 24 juni 2020.

Bilaga A: Beskrivning av miljöpåverkanskategorier

Klimatpåverkan

Klimatpåverkan eller global uppvärmning är en betydande samhällsutmaning och orsakas av en ökning av koncentrationen av kemiska substanser som absorberar infraröd strålning. Den globala uppvärmningen leder till att medeltemperaturen ökar i jordens nedre atmosfär och i haven vilket bland annat leder till smältande glaciärer och en höjd havsnivå.

Klimatpåverkan uppstår på grund av utsläpp av växthusgaser som koldioxid, lustgas och metan. Växthusgaser uppkommer från mänskliga aktiviteter som förbränning av fossila bränslen men även olika biologiska aktiviteter ger upphov till utsläpp av växthusgaser.

Försurning

Försurning innebär ett lägre pH-värde i mark och vatten till följd av utsläpp av försurande ämnen. Försurning är ett problem eftersom det bland annat leder till läckage av substanser som kvicksilver och aluminium från jorden till vattensystem och som har ekotoxiska effekter för vattenlevande organismer. Emissioner av sura ämnen kan också orsaka skada på mänsklig hälsa, byggnader och andra konstruktioner.

Substanser som bidrar mest till försurning är svaveldioxid, kväveoxider, ammoniak och saltsyra. Svaveldioxid och kväveoxider bildas bland annat från förbränning av fossila bränslen.

Övergödning

Övergödning (eutrofiering) uppstår på grund av utsläpp av gödande växtnärsämnen i mark och vatten, exempel på ämnen är fosfor och kväve. Övergödning ses idag som ett stort miljöproblem och att begränsa övergödningen ingår i Sveriges miljömål för att skapa en bättre miljö. Övergödande ämnen släpps till exempel ut med avloppsvattnet och från jordbruket. Utsläpp av mycket näringsämnen orsakar en ökad algbloomning i vattendrag. Konsekvenserna av algbloomningen blir i sin tur syrebrist, bottendöd, minskad biologisk mångfald och gifter som utsöndras från växtplankton under algbloomning.

Fotokemisk oxidantbildning (POCP)

Utsläpp till luften av främst kolväten och kväveoxider, bidrar genom solljusdrivna reaktioner till bildning av olika ämnen som är skadliga för antingen människors hälsa eller för växande gröda. Den viktigaste reaktionsprodukten anses vara ozon. Ozon anses idag vara skadligt för hälsan redan vid de relativt låga koncentrationer som förekommer i södra Skandinavien. Att ozon också skadar växtlighet vid dessa koncentrationer är numera välkänt. Marknära ozon bildas från kväveoxider (NO_x) och flyktiga organiska ämnen (VOC, Volatile Organic Compounds) under inverkan av solljus. Olika VOC skiljer sig åt vad gäller deras förmåga att bilda ozon. Beräkning av POCP-värden (POCP, Photochemical Ozone Creation Potential) är en metod att rangordna förmågan att bilda ozon hos olika VOC. POCP-värdet ger ett mått på ozonbildningsförmågan hos ett enskilt VOC och NO_x.

Landanvändning

Olika typer av landanvändning anses ha olika värde beroende på markens beskaffenhet. Användning av mark leder generellt till: markkonkurrens, förlust av ekologiska tjänster såsom produktionsförmåga och biodiversitet. I detta projekt har vi redovisat markanvändning enbart som

en yta upptagen över tid, det vill säga som $m^2 \cdot \text{år}$. Det är också en lämplig enhet för skogsprodukter och jordbruksprodukter, då utbyte av dessa ofta anges i massenheter per kvadratmeter och år.

Vattenanvändning

År 2002 introducerades begreppet vattenfotavtryck som ett verktyg för att bedöma miljöpåverkan från vattenanvändning. Sedan dess har begreppet utvecklats till att inkludera många olika beräkningsmetoder. I denna studie har vi inkluderat en mycket enkel modell för vattenanvändning, där alla former av vattenanvändning, undantaget vatten som strömmar genom vattenkraftsturbiner, är inkluderade som en volym vatten.

Ekotoxicitet

Ekotoxicitet är den skadeverkan som kemiska substanser har på organismer. Inom LCA bygger bedömningar av ekotoxicitet på data för skadeverkan på ett standardiserat urval testorganismer, såsom små planktonkräftdjur, fiskar och alger i kombination med modeller av hur substanser sprids och omvandlas i naturen. I projektet har modellen USETox använts, som är rekommenderad av EU-kommissionen att användas i LCA-sammanhang.

Humantoxicitet (non-cancer)

Humantoxicitet bygger på samma grund som ekotoxicitet, där en modellberäknad exponeringsfaktor kombineras med en effekt-/farlighetsfaktor. Om effektfaktorn finns etablerad för människa, så kan den användas, men de flesta faktorer är extrapoleringar/härledningar från ekotoxiska effektstudier. USETox är den rekommenderade modellen, och version 2.1 har använts i denna studie. Man har två olika kategorier: för cancerogena effekter och för icke-cancerogena.

Humantoxicitet (cancer)

Kategorin för cancerogena ämnen fungerar på samma sätt som för icke-cancerogena, men effektfaktorerna är annorlunda, eftersom de skall representera cancer-potens hos olika substanser.

Bilaga B: Livcykelinventering

Tabell B1. Livcykelinventering produktion massa (Nordic Paper Bäckhammar AB, 2019).

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg massa	Enhet
Ut	Avfall	FA		1.90E-04	kg
Ut	Avfall	ej FA		2.95E-01	kg
In	Energi	Biobaserat	Totalt	6.02E+00	kWh
In	Energi	El	Inköpt extern (svensk elmix)	1.49E-01	kWh
In	Energi	Eldningsolja (lätt)		4.92E-03	kWh
In	Energi	Eldningsolja (tung)		6.53E-02	kWh
In	Energi	Värme	Tillförd	3.64E+00	kWh
In	Processkemikalier			6.19E-02	kg
In	Funktionskemikalier			2.54E-02	kg
In	Hjälpkemikalier			3.76E-04	kg
In	Intern transport	Diesel		1.44E-06	m3
In	Skogsråvara			2.02E+00	kg
Ut	Emission luft	As		2.25E-08	kg
Ut	Emission luft	Cd		1.43E-08	kg
Ut	Emission luft	CO2	Fossil	1.94E-02	kg
Ut	Emission luft	Cu		8.58E-08	kg
Ut	Emission luft	Hg		2.50E-09	kg
Ut	Emission luft	N2O		4.51E-05	kg
Ut	Emission luft	NH3		2.93E-04	kg
Ut	Emission luft	Ni		8.27E-08	kg
Ut	Emission luft	NMVOC		1.21E-03	kg
Ut	Emission luft	NOx		9.44E-04	kg
Ut	Emission luft	Pb		8.58E-08	kg
Ut	Emission luft	PM10		5.38E-04	kg
Ut	Emission luft	Zn		3.76E-07	kg
Ut	Emission Vatten	As		2.86E-08	kg
Ut	Emission Vatten	Cd		4.02E-09	kg
Ut	Emission Vatten	Cr		2.31E-07	kg
Ut	Emission Vatten	Cu		1.31E-07	kg
Ut	Emission Vatten	Hg		4.47E-10	kg
Ut	Emission Vatten	N-tot		2.96E-04	kg
Ut	Emission Vatten	Pb		2.28E-08	kg

Ut	Emission Vatten	P-tot		3.29E-06	kg
Ut	Emission Vatten	TOC		1.04E-03	kg
Ut	Emission Vatten	Zn		9.90E-07	kg

Tabell B2. Livscykelinventering produktion papper (Nordic Paper Åmotfors AB, 2019).

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg papper	Enhet
In	Energi	El	Process el	1.15E+00	kWh
In	Process kemikalier			6.49E-03	kg
In	Funktionskemikalier			2.58E-02	kg
In	Hjälpkemikalier			9.11E-03	kg
In	Intern transport	Diesel		5.51E-07	m3
Ut	Emission vatten	Zn		2.53E-06	kg
Ut	Emission vatten	As		2.63E-08	kg
Ut	Emission vatten	BOD		1.49E-03	kg
Ut	Emission vatten	COD		7.17E-03	kg
Ut	Emission vatten	Cu		1.27E-06	kg
Ut	Emission vatten	Hg		7.68E-09	kg
Ut	Emission vatten	N-tot		4.62E-04	kg
Ut	Emission vatten	P-tot		8.16E-06	kg

Tabell B3. Livscykelinventering för garntillverkning.

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg papper	Enhet
In	Energi	Elektricitet		9.02	MJ

Tabell B4. Livscykelinventering för färgningsprocessen.

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg papper	Enhet
In	Kemikalier	Blandade kemikalier för färgning		0.9	kg
In	Energi	Elektricitet		1.44	MJ
In	Energi	Biobränsle		0.8	liter
In	Vatten	Vatten		10	kg

Tabell B5. Livscykelinventering stickningsprocess.

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg papper	Enhet
In	Energi	Elektricitet		0.94	MJ

Tabell B6. Livscykelinventering vävningsprocess.

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg papper	Enhet
In	Energi	Elektricitet		7.11	MJ

Tabell B7. Livscykelinventering tillskärning och sömnad.

Flöde	Parameter	Typ	Kommentar	Värde per kg papper	Enhet
In	Energi	Elektricitet		5.9	MJ

Tabell 2. Typ av transport, sträcka för samtliga transporter som inkluderats i studien.

Transport	Typ av transport	Sträcka (km)	Lastgrad (%)	Referens
Pappersmassa produktion (Bäckhammar) – pappersproduktion (Åmotfors)	Lastbil Euro 6, 34- 40 ton, maxlast 27 ton	156	85	Thinkstep AG (2020)
Pappersproduktion (Åmotfors) – garntillverkning (Narva)	Lastbil Euro 6, 28- 32 ton, maxlast 22 ton	660	85	Thinkstep AG (2020)
	RoRo fartyg	380	48	Thinkstep AG (2020)
Garntillverkning (Narva) – Färgning (Kinnahult)	Lastbil Euro 6, 28- 32 ton, maxlast 22 ton	835	85	Thinkstep AG (2020)
	RoRo fartyg	380	48	Thinkstep AG (2020)
Färgning (Kinnahult) – Stickning (Ljungskile)	Lastbil Euro 6, 28- 32 ton, maxlast 22 ton	125	85	Thinkstep AG (2020)
Stickning (Ljungskile) – Vävning (Horred)	Lastbil Euro 6, 28- 32 ton, maxlast 22 ton	123	85	Thinkstep AG (2020)

Vävning (Horred) – Sömnad (Ljungkile)	Lastbil Euro 6, 28- 32 ton, maxlast 22 ton	123	85	Thinkstep AG (2020)
Råmaterial	Lastbil Euro 6, 28- 32 ton, maxlast 22 ton	500	85	Thinkstep AG (2020)

Tabell B9. Dataset som använts vid LCA-modelleringen i GaBi.

Resurs typ	Resurs	LCI dataset	Referens år	Källa
Skogsbruk	Massaved	From IVL GaBi database	1995-1999	Berg & Lindholm 2005
Kemikalier	Natriumklorid	EU-28: Sodium chloride (rock salt)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Natriumhydroxid	EU-28: Sodium hydroxide (caustic soda) mix (100%)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kalciumhydroxid	DE: Calcium hydroxide (Ca(OH) ₂ ; dry; slaked lime)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Svavelsyra	EU-28: Sulphuric acid (96%)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	EU-28: C12-14 Alcohol (oleo) Ethoxylate, 3 moles EO (No. 9 - Matrix) ERASM	2011	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	GLO: Softener (fatty acids amino compounds)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	EU-28: Sodium hydroxide (caustic soda) mix (100%)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	GLO: Dispersion agent (mixture of phosphate with polyacrylate)	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	GLO: Reactive dyes	2019	Thinkstep AG (2020)

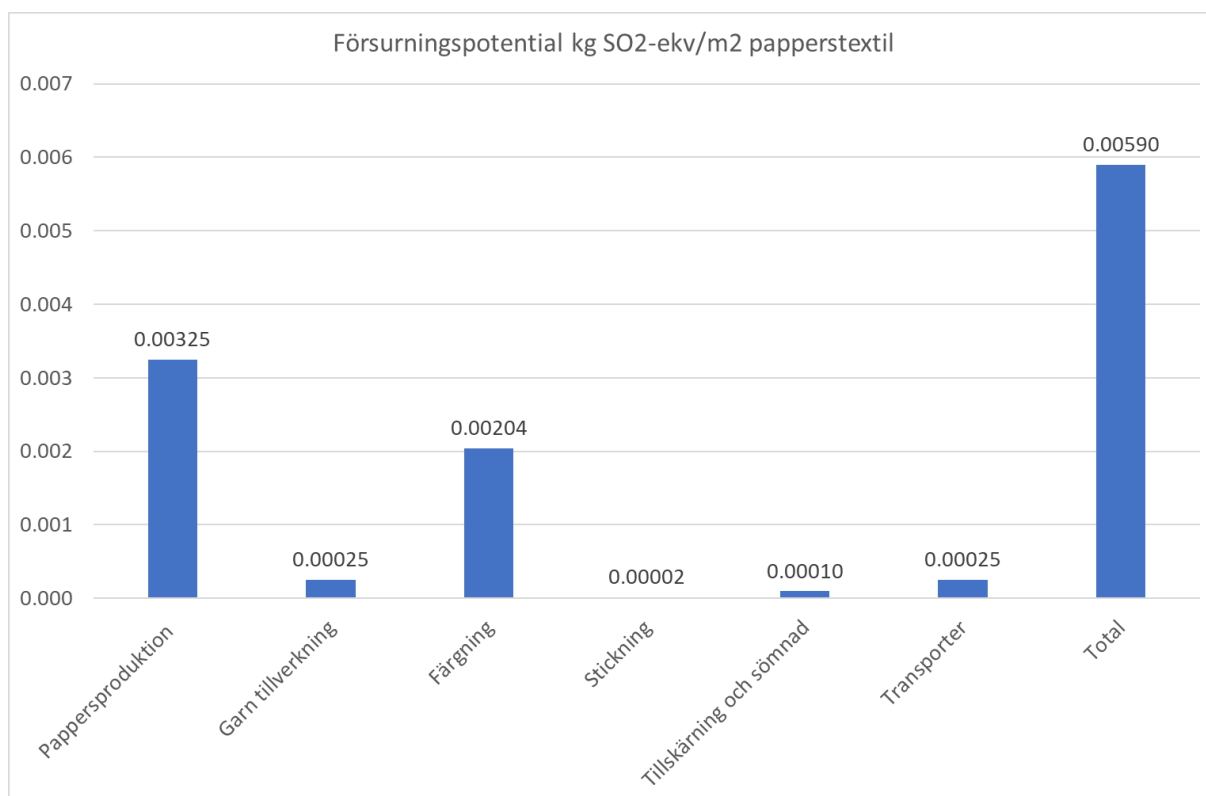
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	GLO: Sequestering agent	2019	Thinkstep AG (2020)
Kemikalier	Kemikalie till färgningsprocess	GLO: Non-ionic surfactant (ethylene oxid dervatives)	2019	Thinkstep AG (2020)
Energi	Svensk elmix	SE: Electricity grid mix 1kV-60kV	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Estländsk elmix	EE: Electricity grid mix 1kV-60kV	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Kinesisk elmix	CN: Electricity grid mix 1kV-60kV	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Tysk elmix	DE: Electricity grid mix 1kV-60kV ts	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Elektricitet från Svensk vattenkraft	SE: Electricity from hydro power	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Elektricitet från solkraft	EU-28: Electricity from photovoltaic	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	LFO	EU-28: Light fuel oil at refinery	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	HFO	EU-28: Heavy fuel oil at refinery (1.0wt.% S)	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Biobränsle	SE: Thermal energy from biomass (solid	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Biobränsle	EU-28: Biodiesel based on rape seed methyl ester (RME)	2016	Thinkstep AG (2020)
Energi	Svensk fjärrvärme		2014	Svensk Fjärrvärme (2014)
Energi	Diesel för intern transport	EU-28: Diesel mix at refinery	2016	Thinkstep AG (2020)
Fiberråvara	Bomull	GLO: market for fibre, cotton	2019	ecoinvent, 3.6
Fiberråvara	Organisk Bomull	GLO: market for fibre, cotton, organic	2019	ecoinvent, 3.6

Fiberråvara	Polyester	EU-28: Polyethylene terephthalate fibres (PET)	2019	Thinkstep AG (2020)
Fiberråvara	Viskos	GLO: Market for fibre, viscose	2019	ecoinvent, 3.6
Fiberråvara	Lin	GLO: Market for fibre, flax	2019	ecoinvent, 3.6
Fiberråvara	Ull	DE: Sheep wool yarn (from Europe (EU) sheep wool)	2019	Thinkstep AG (2020)
Vatten	Vatten	EU-28: Tap water from groundwater	2019	Thinkstep AG (2020)
Avfallshantering	Farligt Avfall	EU-28: Hazardous waste (statistical average) (C rich, worst case scenario incl. landfill)	2019	Thinkstep AG (2020)
Avfallshantering	Ej farligt Avfall	SE: Inert material in waste incineration plan	2019	Thinkstep AG (2020)

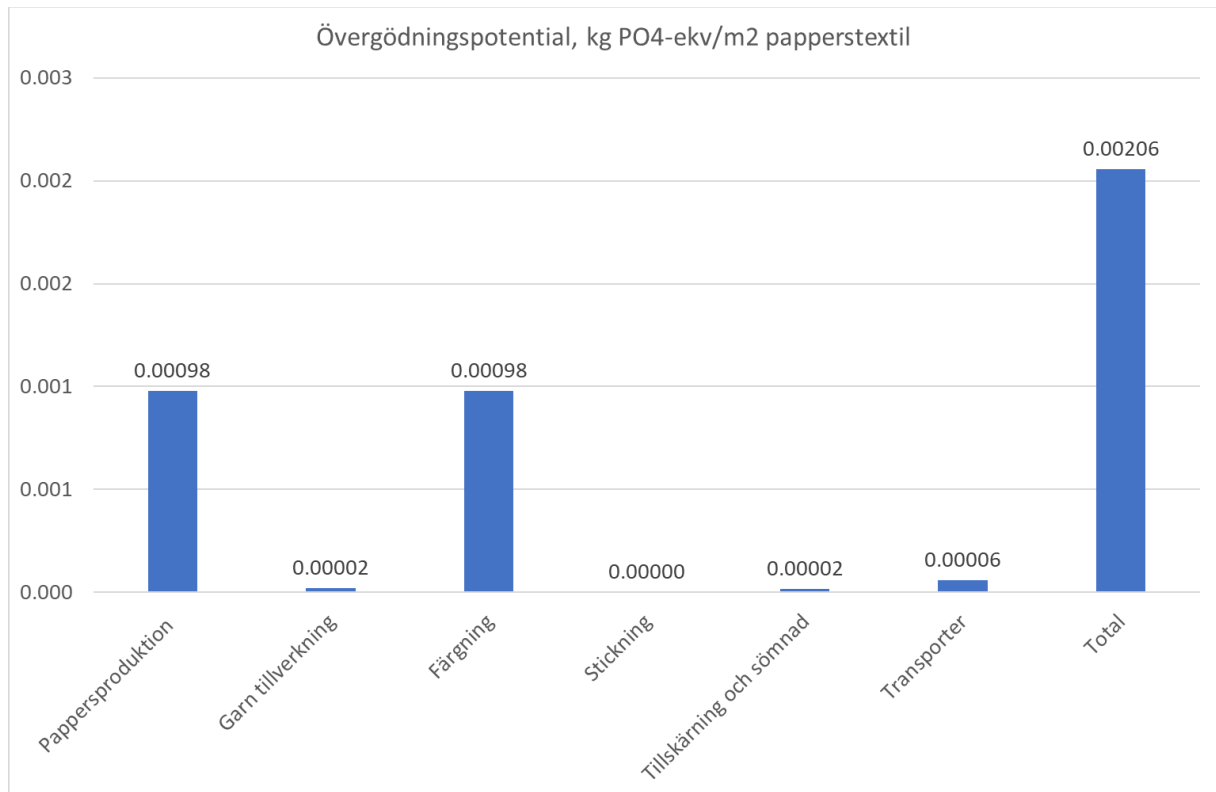
Bilaga C: Resultat

I följande bilaga presenteras resultat för resterande miljöpåverkanskategorier som ej presenterats i huvudrapporten.

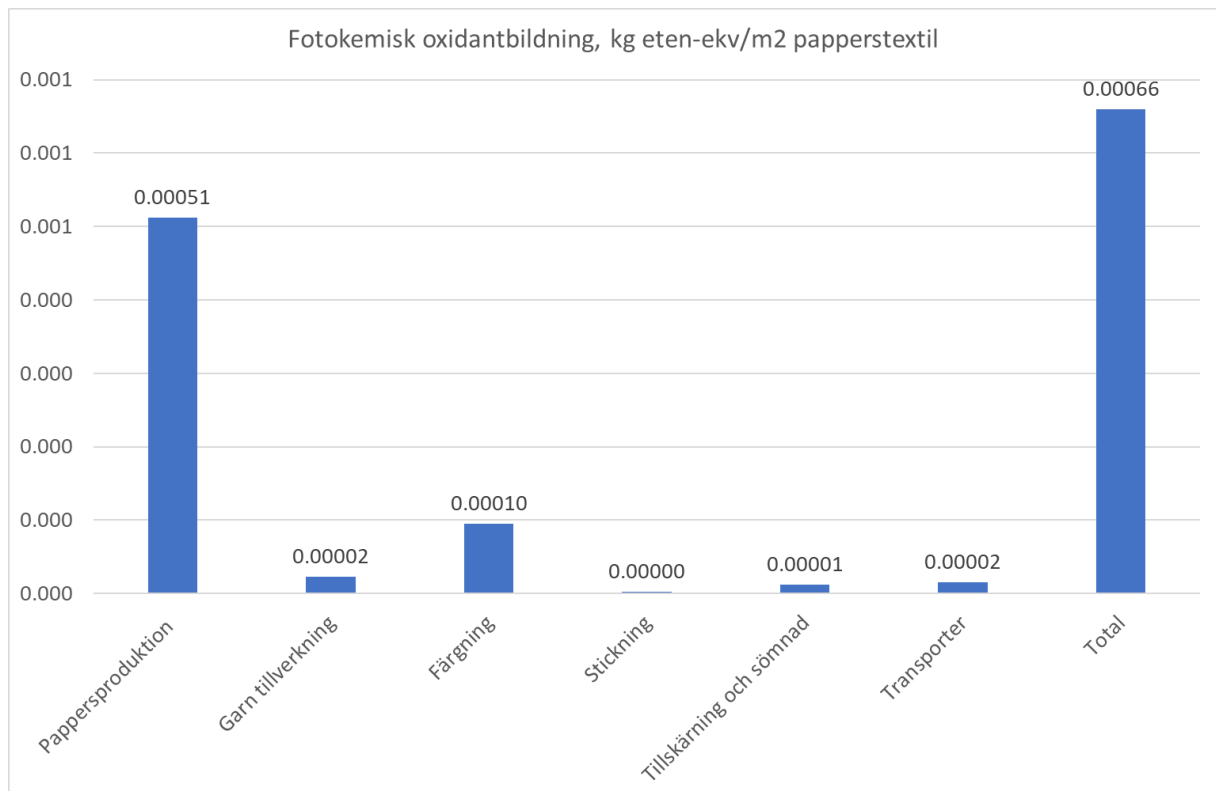
Papperstextil



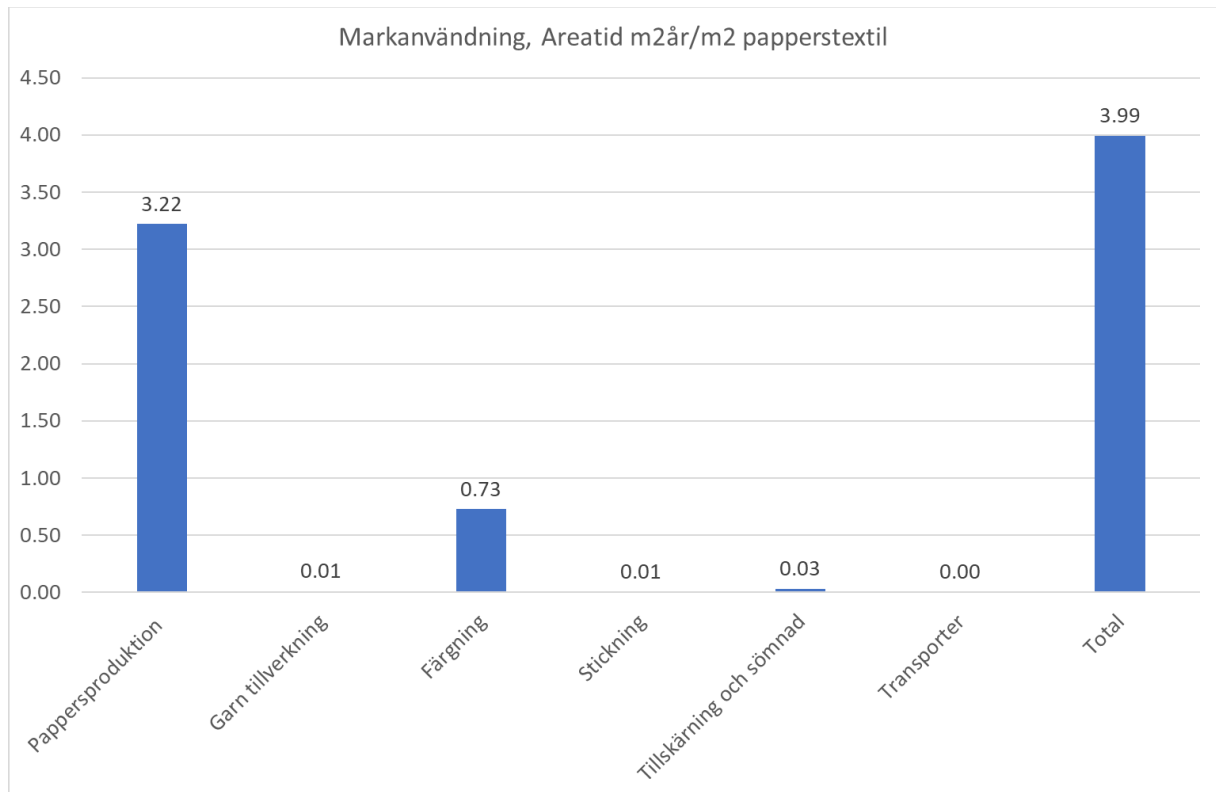
Figur C1. Försurningspotential för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i kg SO₂ ekvivalenter.



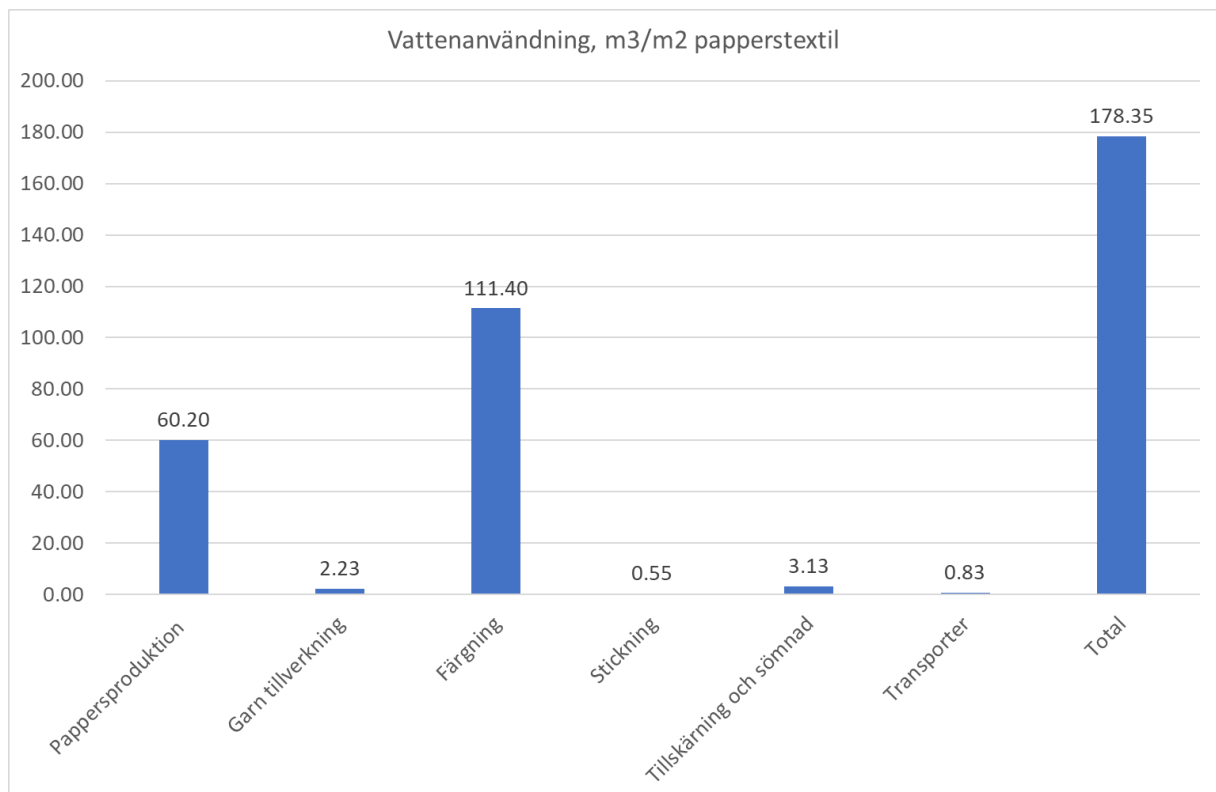
Figur C2. Övergödningspotential för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i kg PO4 ekvivalenter.



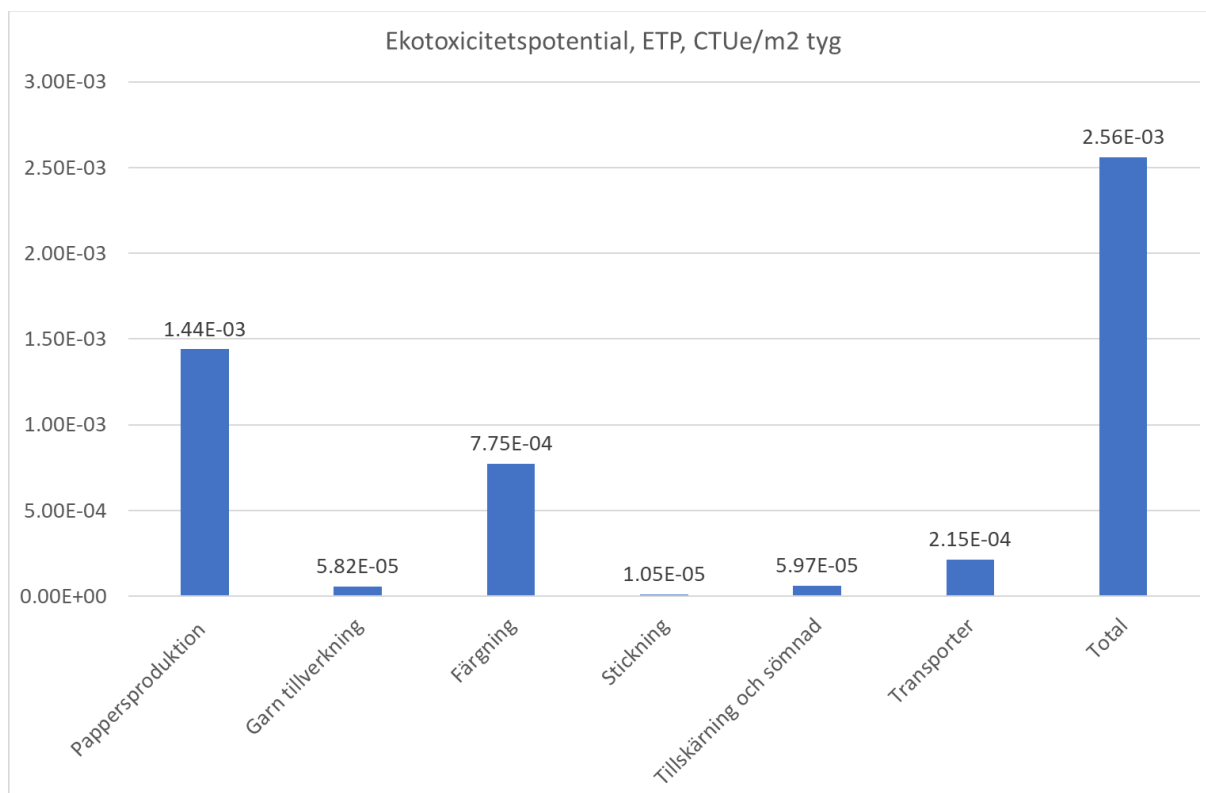
Figur 7. POCP för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i kg Ethene ekvivalenter.



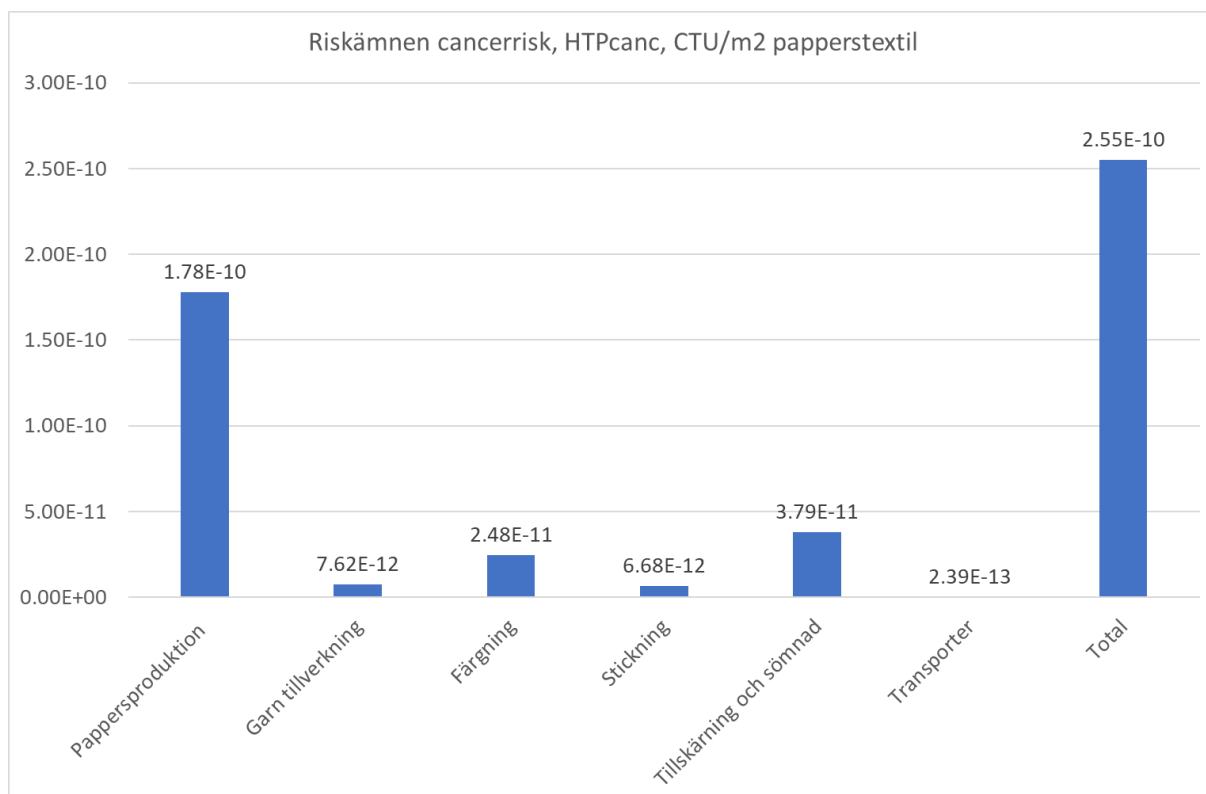
FigurC4. Landanvändning för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i m²/år.



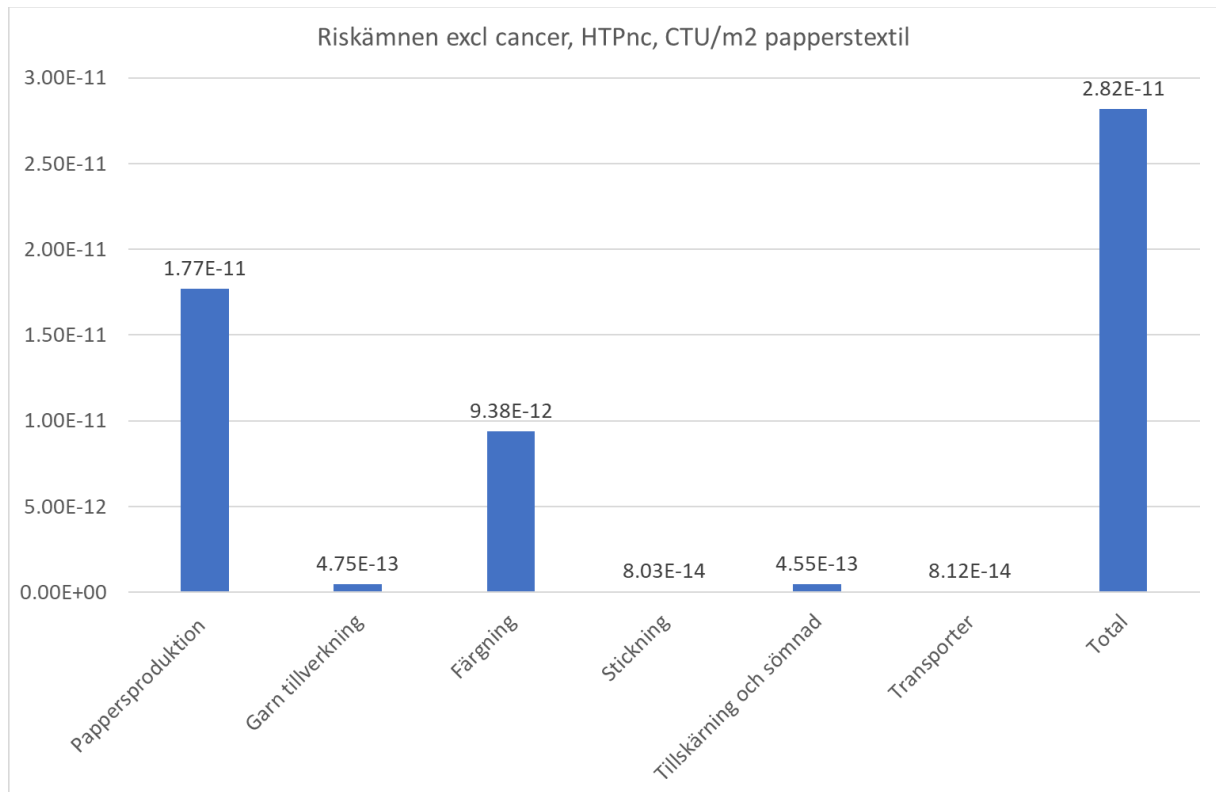
FigurC5. Vattenanvändning för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i kg.



Figur C6. Ecotoxicitet för papperstextil fördelat på de olika tillverkningsstegen uttryckt i CTUe.



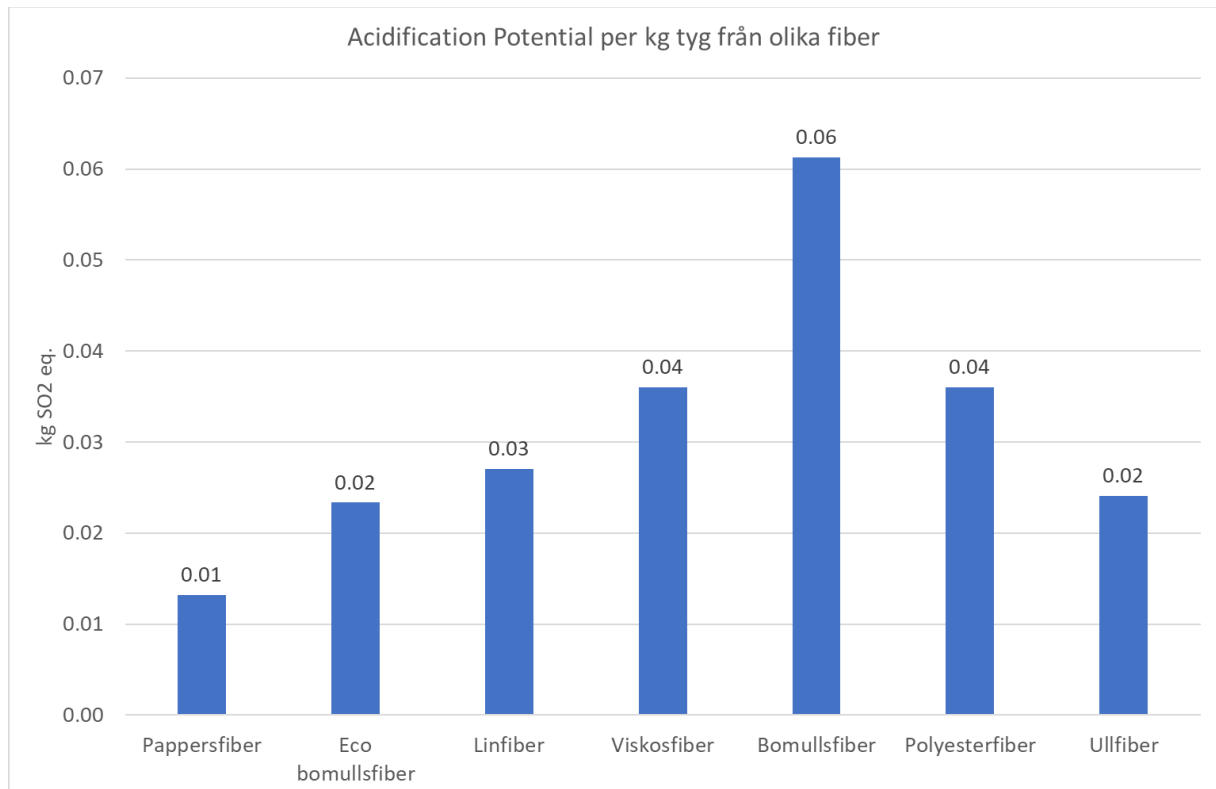
Figur C7. Humantoxicitet (cancer) för papperstextil för de olika tillverkningsstegen uttryckt i CTUh.



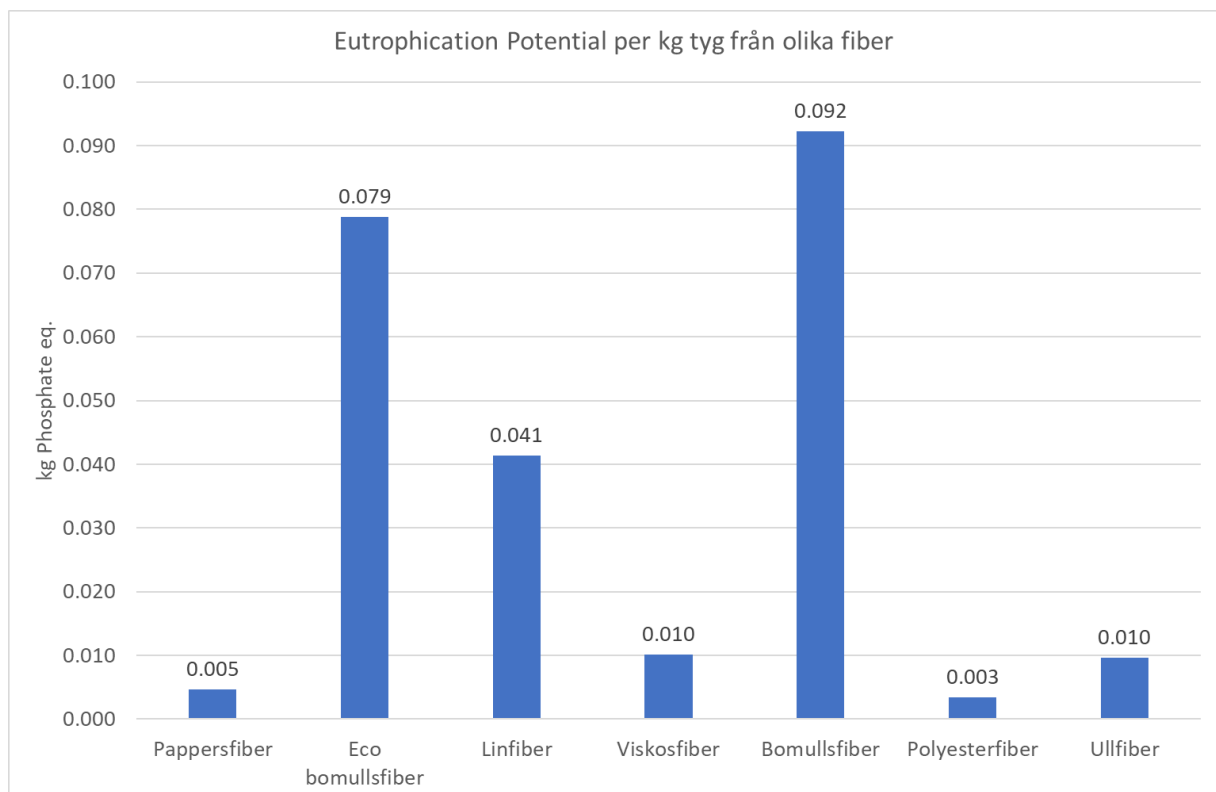
FigurC8. Humantoxicitet (non-cancer) för papperstextil för olika tillverkningsstegen uttryckt i CTUh.

Jämförelse mellan olika fiberråvaror

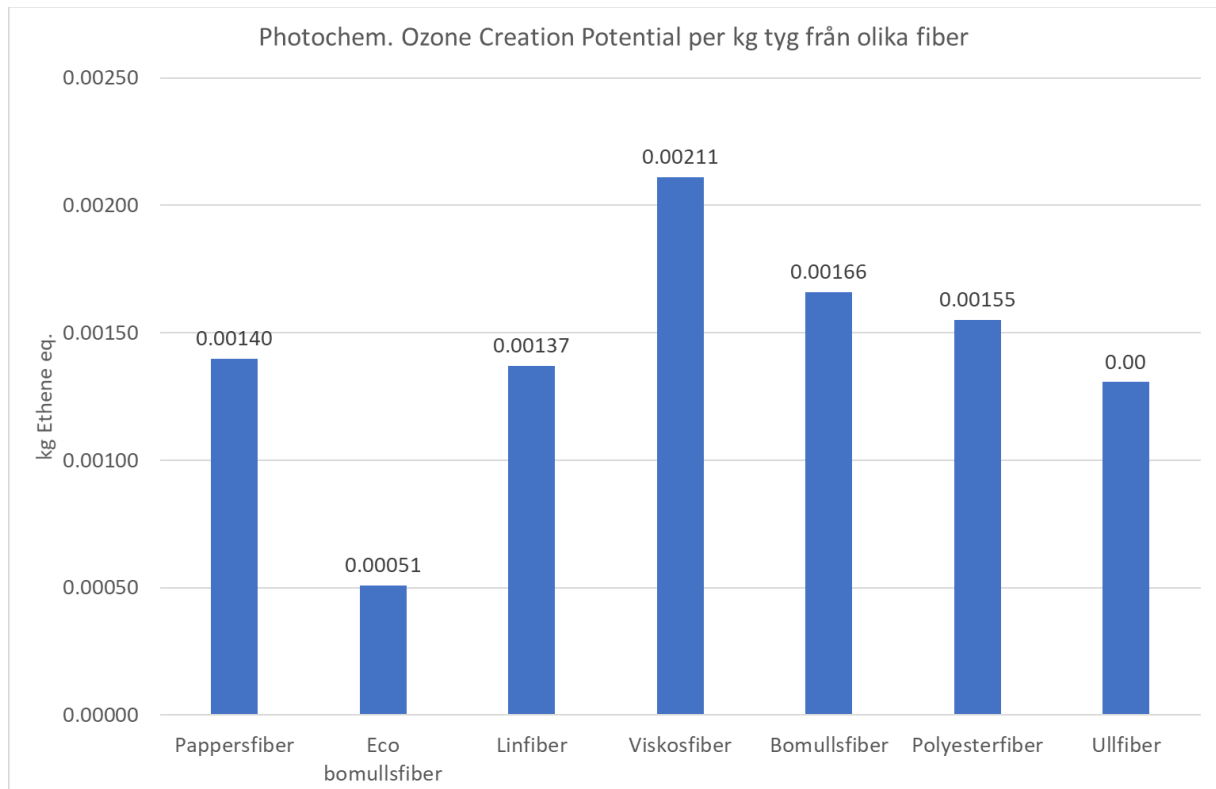
Jämförelsen mellan tyg framställt av olika fiberråvaror presenteras per kg.



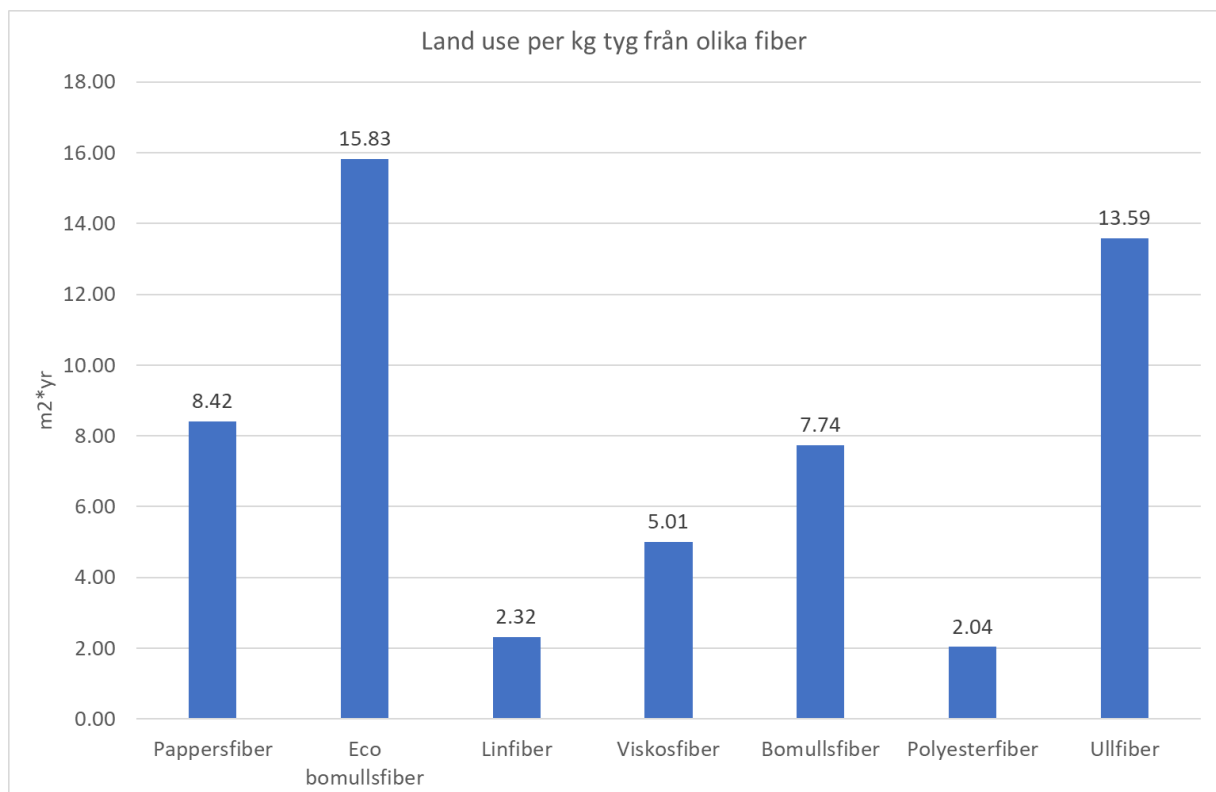
Figur 8. Försurningspotential för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i kg SO2 ekvivalenter.



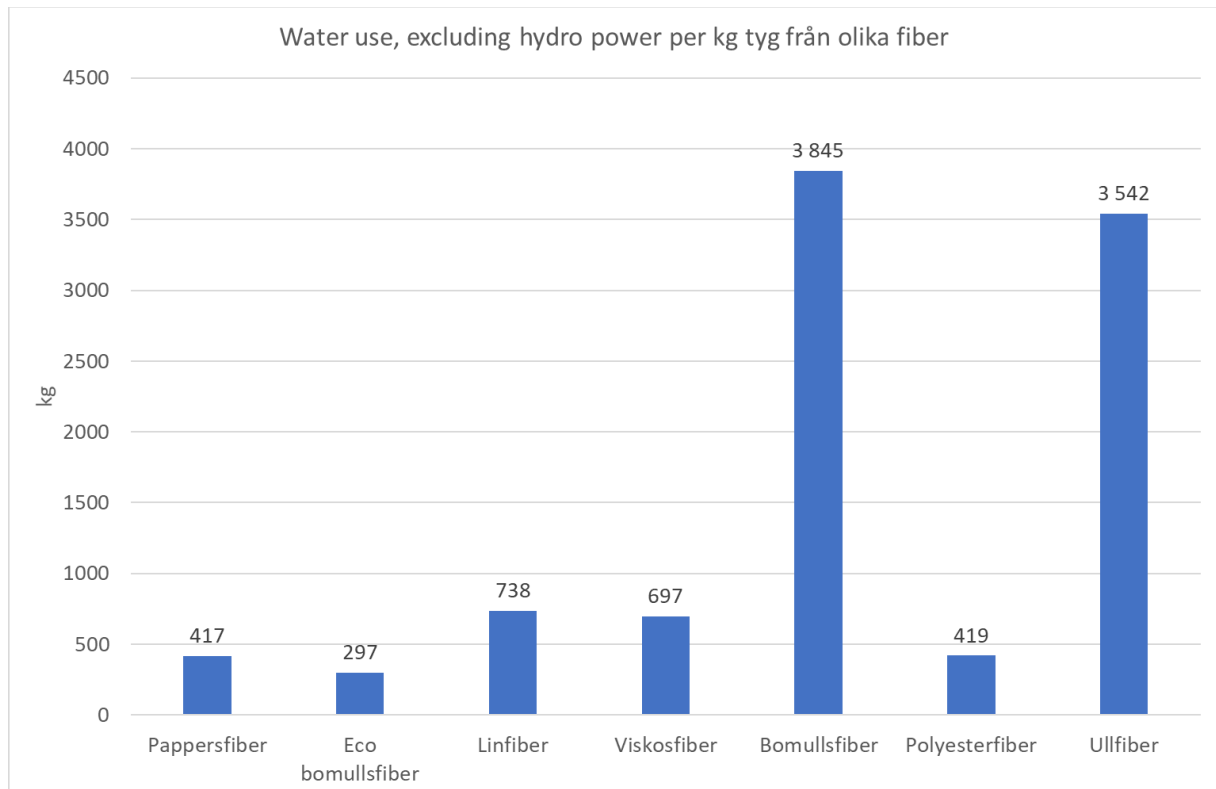
Figur C10. Övergödningspotential för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i kg PO4 ekvivalenter.



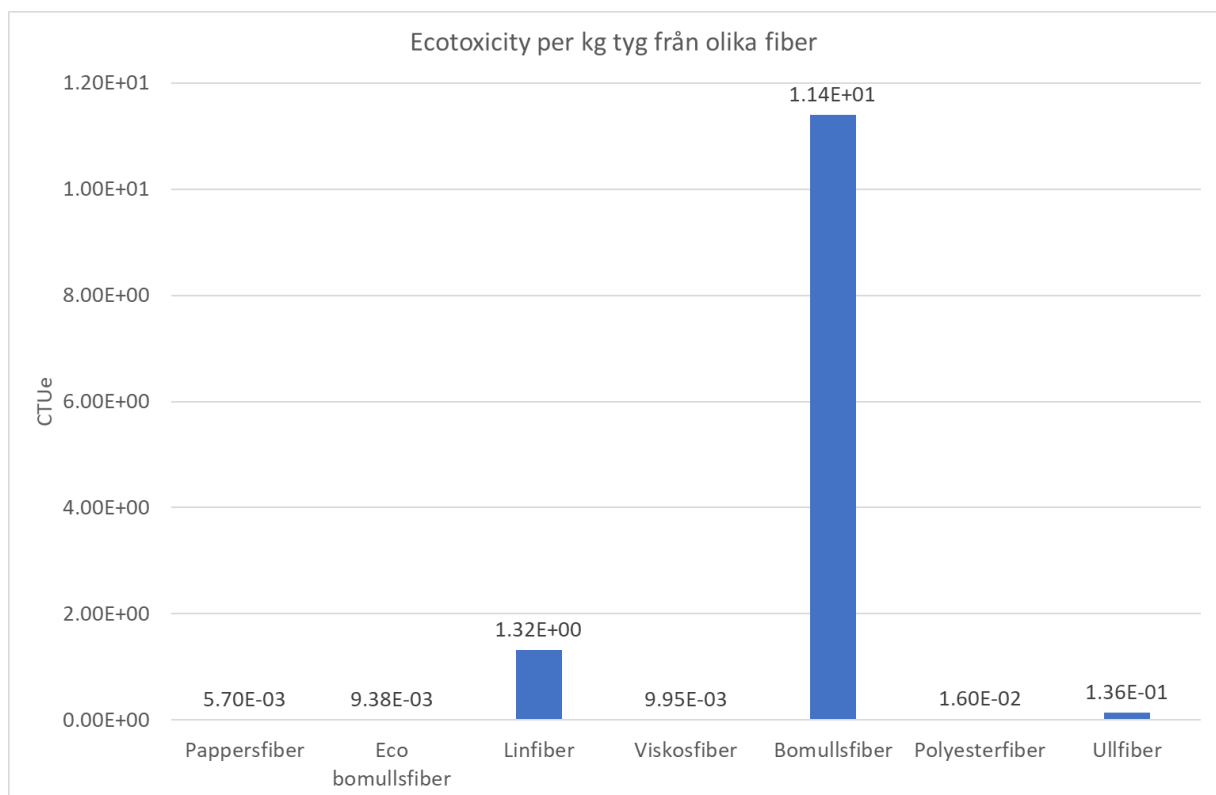
Figur C11. POCP för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i kg Ethene ekvivalenter.



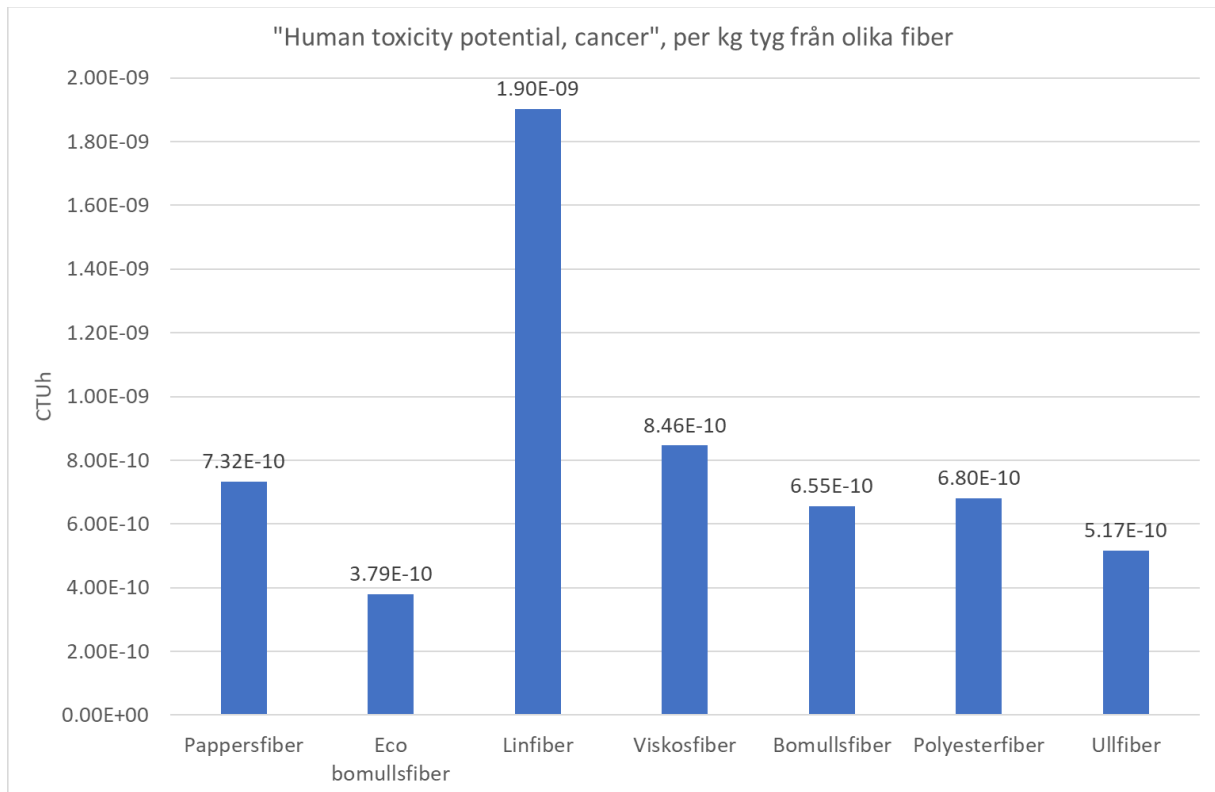
Figur C12. Landanvändning för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i m²/år.



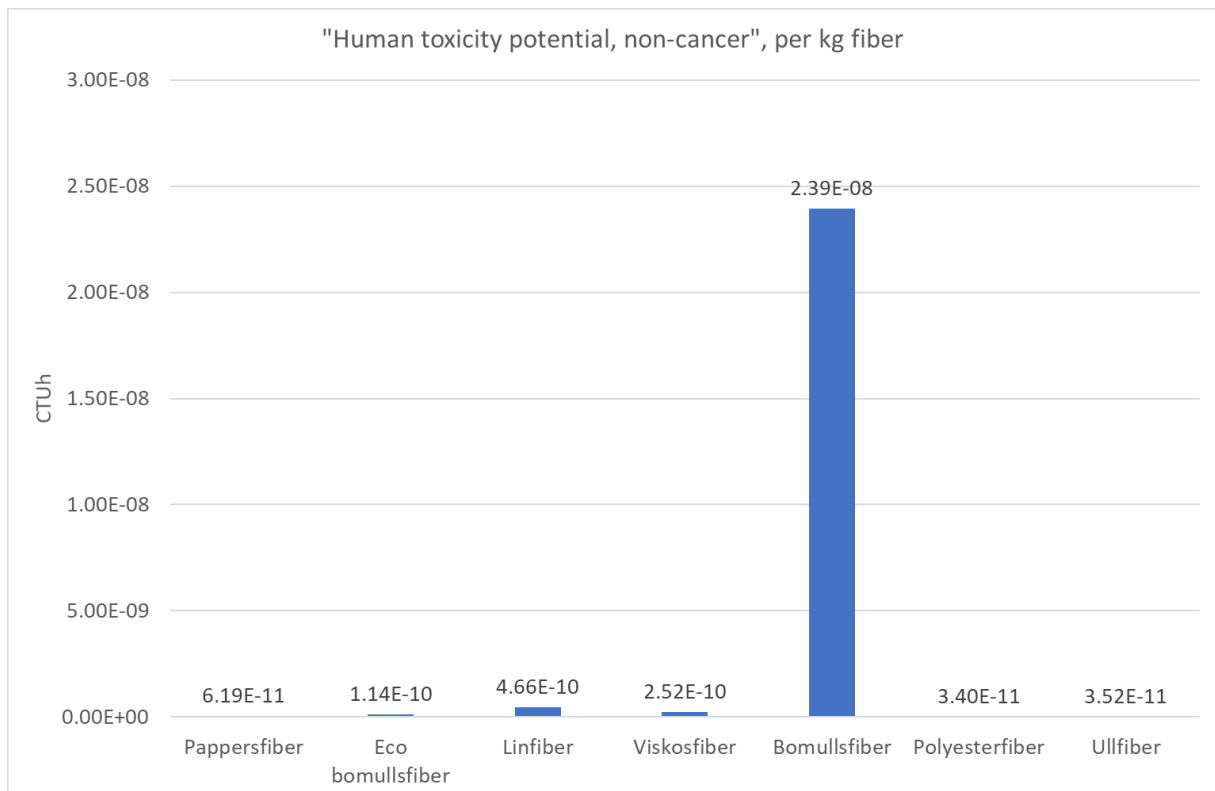
FigurC13. Vattenanvändning för produktion av tyg från olika fiberråvaror uttryckt i kg.



Figur C14. Ecotoxicitet för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i CTUe.



Figur C15. Humantoxicitet (cancer) för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i CTUh.



Figur C16. Humantoxicitet (non-cancer) för produktion av olika fiberråvaror uttryckt i CTUh.

