

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5084

Lund 2015

Livscykelanalys på en solfångare med aluminiumabsorbator - med en mindre jämförande analys

Jonas Esaiasson



LUND
UNIVERSITY

Livscykelanalys på en solfångare med aluminiumabsorbator - med en mindre jämförande analys

Jonas Esaiasson

© Jonas Esaiasson

ISRN LUTVDG/TVBH-15/5084--SE(41)

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Sammanfattning

I denna studie görs en livscykelanalys på en solfångare som Kristianstads Industri Service AB (KISAB) utvecklar. Även en mindre jämförelse görs med en solfångarstudie från Battisti, R (2005). KISAB:s solfångare har inga absorbatörflänsar utan den fungerar liknande en integrerad vattentank men med väldigt lite medium i den. KISAB:s solfångare består till 80 % av aluminium eftersom både absorbatören och ramen är av aluminium. Täckmaterialet är polykarbonat och isoleringen i solfångaren är en blandning av aluminium och polyeten.

Den funktionella enheten är en solfångare. Inga pumpar, rör eller ackumulatortankar ingår i den funktionella enheten. Livscykelanalysen (LCA) följer den internationella ISO standarden för att få en så enhetligt LCA som möjligt.

Målet med studiens livscykelanalys är att identifiera miljöpåverkan från olika delsystem i solfångaren för att på så sätt eventuellt kunna minska inverkan på miljön. LCA:n görs också för att bygga upp en referensbas med svenska solfångare och för att kunna jämföra den med andra solfångare.

KISAB:s solfångare har i denna rapport jämförts med en liknande solfångare med integrerad vattentank. Solfångaren som Battisti, R (2005) har gjort en LCA på är uppbyggd av koppartuber som fungerar både som vattentank och som absorbatör. Dessa hålls fast av en stålram och har även den polykarbonat som täckmaterial.

Studien är gjord med LCA programmet OpenLCA och Excel. OpenLCA har använts för majoriteten av uträkningarna och Excel har använts för sammanslagning av delsystem samt vissa mindre uträkningar. Datan kommer från ecoinvent 2.2 vars insamling är gjord runt 2007.

Resultaten visar att aluminiumproduktionen, anodisering och extrudering tillsammans står för de största utsläppen. Därefter kommer i de flesta fallen produktionen av polykarbonaten, dessa utsläpp kan sänkas något om undersidan är gjord av återvunnen polykarbonat.

Återbetalningstiden av energin var väldigt låg med 0,58 år och även om en 27W pump inkluderades så ökade inte återbetalningstiden nämnvärt. Återbetalningstiden på CO₂-ekvivalenter var även den låg. Drygt tre år om solfångaren ersätter en värmepump.

Jämförelsen mellan Battisti, R (2005) och KISAB:s solfångare visar att KISAB:s solfångare har mindre utsläpp i alla kategorier förutom övergödning. I global uppvärmingspotential så har KISAB:s solfångare 43 % av utsläppen jämfört med Battisti, R (2005).

Även en känslighetsanalys gjordes på återvinningsfraktionen för aluminiumproduktionen. Analysen visar att utsläppen kan skilja mycket beroende på hur stor del av aluminiumet som återvinns. Utsläppen för 100 % återvinning var ofta endast 30 -40 % av utsläppen för 0 % återvinning.

Abstract

This paper reports the result of a life-cycle analysis done on a solar thermal collector in Sweden. Kristianstad Industri Service AB (KISAB) is developing a solar thermal collector with a framework and absorbing plate made out of aluminium and no flow tubes. The aluminium is instead hollow and the whole area of the absorbing plate is therefore in contact with the coolant. The solar thermal collector therefore consist of 80 % aluminium. The covering for the collector is made of polycarbonate and the isolation is a mix of polyethylene and aluminium. The collector from KISAB is also compared with a similar collector done by Battisti, R (2005).

The functional unit is the whole solar thermal collector which excludes pumps, tubes and accumulator tank. The life-cycle analysis is in accordance with the international ISO standard to create a comprehensive report.

The aim of the study is to identify large environmental impact categories from subsystems and therefore possible be able to reduce them. The life-cycle analysis is also done to produce a Swedish reference database of solar thermal collectors.

The collector from KISAB has in this report been compared with a solar thermal collector with an integrated water tank. The collector from Battisti, R (2005) is made of large copper tubes which function both as an absorbator plate and a water tank. The tubes is held together by a steel frame and has a covering of polycarbonate.

The study is done with a LCA program called OpenLCA and Excel. OpenLCA has been used for the majority of the calculations and Excel for the merger of subsystems. Ecoinvent 2.2 provides the data for the different subsystem and the collection of data was done around 2007.

The results show that the production of aluminium, anodizing and extrusion accounts for the larges emissions. The next largest emissions in most cases are the production of polycarbonate, though it is possible to lower them if the polycarbonate underneath is from recycled material.

The energy payback time was very low with a time of 0.58 years. Similar the CO₂-eqv payback time was low with a payback time of 3 years if the collector replaces a heat pump.

In the comparison the collector form KISAB shows smaller emissions in all categories except eutrophication. The collector from KISAB also has global CO₂ emissions which are 43 % of the emissions from Battisti, R (2005).

In the sensitivity analysis of the recycling fraction of aluminium a clear correlation with fraction recycled and emissions can be seen. Emissions from 100 % recycled aluminium was often only 30-40 % of the emission compared to if no recycling occurred.

Förord

Följande rapport är ett examensarbete för Ekosystemteknik som är en del av civilingenjörsprogrammen på Lunds tekniska högskola (LTH). Studien är gjord på beställning av Kristianstad Industri Service AB (KISAB) som har utvecklat en egen solfångare.

Jag vill tacka min handledare, Elisabeth Kjellsson på avdelningen för Byggnadsfysik och examinator Lars-Erik Harderup på avdelningen för Byggnadsfysik för hjälpen med arbetet. Jag vill även tacka Lars Persson på KISAB för hjälpen med insamlandet av information till livscykelanalysen.

Jonas Esaiasson

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
Innehållsförteckning	vii
1 Introduktion.....	1
1.1 Disposition	1
1.2 Bakgrund	1
1.3 Metodik	2
1.3.1 Mål och omfattning	2
1.3.1.1 Funktionell enhet (FE)	2
1.3.1.2 Systemgränser	3
1.3.1.3 Datakvalitet	3
1.3.1.4 Jämförelse mellan system	3
1.3.2 Inventeringsanalys (LCI)	3
1.3.2.1 Allokering	3
1.3.3 Miljöpåverkansbedömning (LCIA)	4
1.3.3.1 Miljöpåverkanskategori	4
1.3.3.2 LCI resultat	5
1.3.4 Tolkning	5
1.3.4.1 Känslighetsanalys	6
1.3.4.2 Osäkerhetsanalys	6
1.3.4.3 Resultat	6
2 Mål och omfattning	7
2.1 Beskrivning av produkten	7
2.2 Funktionell enhet	9
2.3 Systemgränser	9
2.4 Ecoinvent	10
2.5 Datatyp och datakällor	10
2.6 Miljöpåverkanskategorier	10
2.7 Övriga kategorier	10
2.8 Datakvalitet	10
2.9 Center of Environmental Science of Leiden University (CML)	11
2.10 OpenLCA	11
2.11 Allokering	11
2.12 Återvinning	11
2.13 Jämförelse	11
3 Inventeringsanalys.....	13
3.1 Aluminium	13
3.2 Polykarbonat	14
3.3 Isolering	14
3.4 Ytbehandling	15
3.5 Svetsning	16
3.6 Glykol	16
3.7 Lim	16
3.8 Underhåll	16
3.9 Transport	16

3.10	Elektricitet	19
4	Resultat.....	21
4.1	Miljöpåverkansbedömning	21
4.1.1	Global uppvärmningspotential (GWP)	21
4.1.2	Försurningspotential (AP)	21
4.1.3	Övergödningspotential (EP)	22
4.1.4	Ozonnedbrytande potential (ODP)	23
4.1.5	Mänsklig toxicitet (HTP)	23
4.1.6	Marknära ozon (POCP)	24
4.1.7	Total miljöpåverkan	25
4.2	Resursåtgång	25
4.3	Kumulativ energianvändning (CED)	26
5	Tolkning	27
5.1	Återbetalningstid	27
5.2	Jämförelse	29
5.3	Känslighetsanalys	30
6	Diskussion	35
7	Slutsats	37
8	Referenser.....	39

1 Introduktion

Under det senaste årtiondet har konsumenter blivit mer intresserade av vad som släpps ut i miljön. Framförallt är utsläpp av koldioxid ett omdebatterat ämnesområde. Dessa utsläpp har blivit intressanta för att de bidrar till stora klimatförändringar på jorden i form av extrema väder som till exempel orkaner och värmeböljor. Med hjälp av nya teknologier så har trenden för utsläppsnivåer de senaste årtionden i Sverige kommit att stabiliseras (Energiläget, 2013). För att bibehålla trenden samtidigt som levnadsstandarden ökar måste vi ständigt utveckla metoder för att producera energi effektivare. Solfångare är en möjlig teknologi för att hjälpa denna trend.

Solfångare kan användas för att värma pooler, varmvatten eller till uppvärmningen av hus. En solfångare kan under gynnsamma förutsättningar helt stå för uppvärmning av varmvatten och bostad. Under vinterhalvåret så kan solfångaren stå för delar av uppvärmningen.

I denna rapport så skall miljöpåverkan av en solfångare som Kristianstads Industri Service AB har utvecklat studeras. För att göra studien används en livscykelanalys (LCA) som följer den internationella standarden (ISO), nummer 14040–14044. En livscykelanalys studerar en produkt eller ett flöde och dess utsläpp till miljön samt produktens egen energiåtgång. Analysen fungerar därmed utmärkt till att lokalisera system inom produkten som har höga utsläpp eller drar mycket energi. Detta kan sedan användas för att göra förändringar i produktionskedjan som till exempel minskar energianvändning.

En ökad användning förnyelsebar energi i Sverige (Energiläget, 2013), som solenergi, medför också att det är viktigt att studera produktionskedjan. För även om solkraft använder en förnybar energikälla så är inte produktionen och avfallshantering nödvändigtvis miljövänlig. En LCA kan avgöra om produktionskedjan är miljömässigt försvarbar och om den är effektivare än dagens teknologier.

1.1 Disposition

Rapporten börjar med en teoretisk genomgång av vad en LCA skall innehålla enligt International Organization for Standardization (ISO). Detta för att introducera en lekman till hur en LCA är uppbyggd och utförd. Den försätter sedan med en genomgång av KISAB:s solfångare och vilka systemgränser som har antagits. Därefter kommer en inventeringsanalys (LCI) där de insamlade data redovisas för att sedan följas av resultat. Resultat innehåller en miljöpåverkansbedömning som relaterar datan från LCI till olika miljöpåverkan, till exempel uppvärmningspotential och förurningspotential. Till sist görs en känslighetsanalys och en diskussion förs om resultaten.

1.2 Bakgrund

Kristianstads Industriservice AB (KISAB) är ett verkstadsföretag som ger industrin service i form av reparationer och legotillverkning i egen verkstad samt montage, reparationer och service ute hos kund. KISAB har utvecklat en ny solfångare, som skall ha en stor värmeöverföringskapacitet, där totala miljöpåverkan är av intresse. Solfångaren finns ännu inte på marknaden men ska släppas inom kort. KISAB:s solfångare skiljer sig en del från industristandarden genom att den har en unik absorbatör och har täckplast istället för täckglas.

Absorbatoren från KISAB använder inga flänsar utan hela absorbatorröret, som innehåller värmebäraren, används för att absorbera solstrålning. Detta innebär att det blir en större kontaktyta mellan absorbatoren och värmebäraren och även en lägre ramprofil då inte lika stora luftspalter behövs.

1.3 Metodik

Studien är genomförd i två delar. Den först delen redovisar insamling av data från KISAB, tillverkare av solfångarens delar och vetenskapliga litteratur, se sektion 3 *Inventeringsanalys*. Ecoinvent 2.2 används sedan för att bedöma utsläppen från de olika delarna i solfångaren, se sektion 2.4 *Ecoinvent*.

Den andra delen är en analys av insamlade data i ett LCA program som heter OpenLCA (OpenLCA. 2015), se sektion 2.10 *OpenLCA*. OpenLCA beräknar miljöpåverkan för de inbördes delarna i solfångaren. De sammanslagna resultatet och vissa delar av återbetalningstiden beräknas sedan i Excel.

Livscykelanalysen (LCA) följer standarden uppsatt av International Organization for Standardization och som sammanfattas i ISO 14040–14044. Det är viktigt att följa ISO standarden för att examensarbetet skall kunna användas i framtida studieanalyser. En enhetlig rapportstruktur gör även att det är lättare att hitta jämförbara objekt.

Enligt ISO skall en LCA innehålla följande huvudsakliga faser (ISO 14040. 2006a):

- Mål och omfattning
- Inventeringsanalys
- Miljöpåverkansbedömning
- Tolkning

De fyra faserna beskrivs i kapitlen nedan för att ge en inblick hur arbetet kommer att vara uppbyggt.

1.3.1 Mål och omfattning

Mål och omfattning skall vara tydligt definierade för att kunna få en övergripande bild av studien. Nedan följer en kort beskrivning av de olika områdena som mål och omfattning innefattar (ISO 14044. 2006a).

1.3.1.1 Funktionell enhet (FE)

FE etablerar en basenhet som gör att inflöde och utflöde kan normaliseras mot densamma. En bra FE gör att rapporten kan användas i andra analyser och jämförelser.

1.3.1.2 Systemgränser

Systemgränser avgör vilka produkter, inflöde och utflöden som ingår i rapporten samt detaljnivån på dessa. För att försäkra sig om att inga flöden försvinner i processen så skall massa, energi och miljörelevans användas tillsammans. Detta försäkrar en detaljrik LCA där inga viktiga flöden har utelämnats.

I systemgränser ingår också huruvida allokering, se sektion 1.3.2.1 *Allokering*, skall genomföras på något av inflödena samt om något av flödena kan negligeras till följd av för liten påverkan. Om flödet har en påverka på den totala miljöpåverkan med mindre än en procent så har det en negligierbar effekt och behöver inte tas med i rapporten, detta för att underlätta överskådligheten.

Om något kan uteslutas enligt ovanstående så måste det dokumenteras varför och vilka konsekvenser det får. (ISO 14044. 2006a).

1.3.1.3 Datakvalitet

För att få en så komplett LCA som möjligt så måste hänsyn till tas till kvaliteten på den använda datan. Parametrar som ålder, geografi, fullständighet och osäkerhet måste dokumenteras och förklaras. (ISO 14044. 2006a).

1.3.1.4 Jämförelse mellan system

Systemen skall jämföras med samma funktionella enhet och omfattningen skall utformas på sådant sätt att detta är möjligt att göra en jämförelse. De skall även ha likvärdiga områden (Mål och omfattning) och eventuella parametrar som skiljer skall identifieras och dokumenteras. (ISO 14044. 2006a).

1.3.2 Inventeringsanalys (LCI)

Inventeringsanalys är insamlingen och beskrivning av data för rapporten. En LCI upprättar och beskriver flödesdiagram för processen. Den delas upp i enhetsprocesser och deras in- och utflöden. Om data finns som kan ha stor betydelse på rapportens utfall så skall datainsamlingsmetod, tid och datakvalitetsindikatorer redovisas. (ISO 14044. 2006a).

1.3.2.1 Allokering

Allokering tilldelar in- eller utflöde till enhetsprocesser beroende på främst deras fysikaliska samband eller ibland enligt deras ekonomiska värde. Allokering är ett sista steg då det är svårt att göra en allokering som är tillförlitlig och fullständig. Om möjligt skall enhetsprocessen därför först delas upp i mindre processer med separata in-och utflöden. Om inte detta är genomförbart så skall systemgränserna utvidgas för att inkludera flera enhetsprocesser som gör att en allokering inte behövs.

Om allokering måste ske så skall den först genomföras med hänsyn till de fysikaliska samband som in-och utflöde påverkas av. I andra hand skall det genomföras med hänsyn till ekonomiska värden på inbördes produkter. Det kan också vara aktuellt att göra en känslighetsanalys för fysikalisk och ekonomisk allokering. (ISO 14044. 2006a).

1.3.3 Miljöpåverkansbedömning (LCIA)

LCIA sammanställer och normaliserar resultaten från LCI till den valda FE. LCA:n gör detta genom att aggregera LCI-resultaten med hjälp av särskilda faktorer.

Komponenter som måste vara med i en LCIA (ISO 14044. 2006b):

- Val av miljöpåverkanskategori, kategoriindikator och karaktäriseringsmodeller
- Tilldelning av LCI-resultaten till de valda miljöpåverkanskategorierna
- Beräkning av kategoriindikatorresultat

1.3.3.1 Miljöpåverkanskategori

Miljöpåverkanskategorier är en sammanställning av många olika utsläpp till en gemensam kategori för att försöka förenkla och förtydliga resultaten från inventeringsanalysen. Inventeringsresultaten delas in i kategorier efter vilken påverkan de har på miljön eller människa, i denna studie kommer följande användas:

- Global uppvärmning
- Försurning
- Övergödning
- Mänsklig toxicitet
- Ozonnedbrytning
- Marknära ozon

Indelningen sker med hjälp av kategoriindikatorn, indikatorn bestämmer vilken basenhet miljöpåverkanskategorien har. Till exempel har global uppvärmningspotential enheten infraröd strålning (W/m^2) och försurning har frigörelse av väteprotoner ($H^+ aq$) (ISO 14044. 2006a). Enheten gör att det lätt går att relatera olika utsläpp till varandra (ISO 14047. 2012).

När kategoriindikatorn är bestämd så kan LCI- resultaten sammanställas genom att använda karakteriseringsfaktorer. Karakteriseringsfaktorerna är en viktning av ett utsläpps påverkan på miljön som är fastställt av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Till exempel så har metan en karakteriseringsfaktor på drygt 21, vilket innebär att varje kilogram metan som släpps ut motsvarar 21 kg CO_2 - ekvivalenter. Metan är därmed 21 gånger mer potent än CO_2 i LCI-resultaten i relation till GWP (IPCC. 2015, ISO 14047. 2012). CO_2 -ekvivalenter är ett kategoriindikatorresultat.

Kategoriindikatorresultat bestämmer vilket gemensamt utsläpp resterande utsläpp skall hänvisas till, för uppvärmning är det CO_2 -ekvivalenter. Detta innebär att alla utsläpp som har en påverkan på uppvärmning kommer med hjälp av karakteriseringsfaktorer omräknas till CO_2 -ekvivalenter (14047. 2012).

Global uppvärmning

Infraröda strålar avges konstant från jordens yta ut till rymden på grund av värmeskillnader och som reflekterade solstrålar. Gaser som bidrar till global uppvärmning gör att de infraröda strålarna reflekteras i atmosfären och fungerar som en isolering. Dessa strålar skulle normalt ha lämnat jorden men när de blir ”fångade” mellan jorden och atmosfären så bidrar de till en uppvärmning. Mer gas i atmosfären gör att mer strålning reflekteras (European Commission. 2015a).

Försurning

Försurning beror på försurande ämnen som sänker pH i vatten och mark genom att de avger protoner. Ett sänkt pH kan medföra att mark blir obrukbar för att växter och fisk inte kan överleva. Det kan också bidra till en urlakning av jorden på grund av surt vatten som gör att växter inte får någon näring. Även korallrev är mycket känsliga för ett lägre pH då deras bas består av kalk som lätt löses upp av surt vatten (European Commission. 2015b).

Övergödning

Växter är begränsade av antingen kväve eller fosfor för att växa i ekosystemet. Övergödning sker då utsläpp av dessa ämnen hamnar i vatten och mark och gör att växterna inte längre har en begränsning. De kan då växa ohämmat och kan leda till stora algblomningar som i Östersjön. Det kan också leda till bottendöd, som i Östersjön, då dött växtmaterialet faller till botten och bryts ner av bakterier. Denna process förbrukar enorma mängder syre och medför att fiskar inte längre kan överleva (European Commission. 2015c).

Mänsklig toxicitet

Mänsklig toxicitet är ofta indelad i cancerframkallande ämne och icke cancerframkallande ämne. I denna studie kommer det cancerframkallande ämnet att studeras. Toxiciteten är från en modell där man utsätts för ett ämne genom inandning, intagande av mat och genom kontakt med vatten och mark. Mänsklig toxicitet avgörs genom hur toxisk den är och vilken dos man utsätts för (Edgar, G et al. 2001).

Ozonnedbrytning

Ozon är i ett lager i atmosfären som skyddar mot väldigt energirik solstrålning genom att absorbera den och avge strålning med lägre energi. Ozonnedbrytande ämnen agerar som en katalysator för nedbrytning av ozon till syre och kan stanna i årtionden i atmosfären. Ett tunnare ozonlager gör att människor och djur lättare får allvarliga hudskador på grund av den energirika strålningen (Ziegel. 2015a).

Marknära ozon

Marknära ozon bildas ofta i städer på grund av biltrafik. Ozonet bildas genom en reaktion mellan kväveoxider och organiska ämnen när de utsätts för UV-ljus. Ozonet kan ha en negativ inverkan på slemhinnorna och växters fotokemiska produktion (Ziegel. 2015b).

1.3.3.2 LCI resultat

LCI resultaten är de rena utsläppen i luft, mark och vatten som fås av LCA:n. Till exempel koldioxid (CO₂), kväveoxider (NO_x) och svaveldioxid (SO₂). Dessa viktas av karakteriseringsfaktorena för att sedan tilldelas till en miljöpåverkanskategori.

1.3.4 Tolkning

Tolkningsdelen består av:

- Känslighetsanalys
- Osäkerhetsanalys
- Resultat

1.3.4.1 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen används för att hitta de områden som har störst inverkan på de totala utsläppen. Analysen ändrar variabler i rapporten, som elektricitetsmix eller transportavstånd, för att lokalisera dessa områden.

1.3.4.2 Osäkerhetsanalys

Osäkerhetsanalysen har för avsikt att identifiera områden som har diskutabel insamlingsdata eller tveksamma metoder i rapporten.

1.3.4.3 Resultat

Resultaten redovisar den insamlade datan i en lättillgänglig form för att senare kunna analyseras.

2 Mål och omfattning

Allt fler kunder hos KISAB prioriterar, och kräver i vissa fall, att varorna de köper skall ha en miljöförteckning där de individuella utsläppen från produkten kan studeras. KISAB vill därför ha hjälp med att göra en livscykelanalys, dels för att kunna identifiera potentiellt stora miljöbelastningar och dels för att kunna ge kunderna en detaljerad rapport av miljöbelastningen. Studien är därmed till fördel både för KISAB och dess kunder för att kunna förbättra deras miljöprofil.

KISAB vill även få reda på om deras design är fördelaktig jämfört med andra solfångare på marknaden då den har en något annorlunda absorbatör.

Studien har även som mål att utöka antalet svenska rapporter gjorda på solfångare för att bygga en databas med vilket det går att jämföra nya solfångare med.

2.1 Beskrivning av produkten

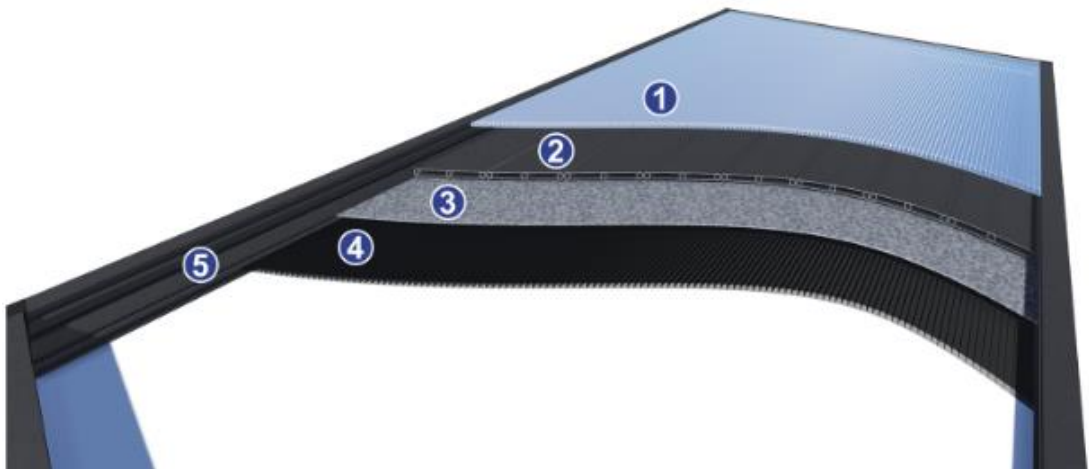
Solfångaren är 2x1 m med en aktiv yta om 1,88 m² och består av ett ramverk av aluminiumlegering som håller upp de olika delarna i solfångaren, se Figur 1, med hjälp av speciellt utskurna skåror. Solfångaren är kortfattat beskriven nedan, för en mer detaljerad beskrivning se sektion 3 *Inventeringsanalys*:

1. *Täckmaterial*. Klart dubbel skiktat polykarbonat
Luftspalt.
2. *Absorbatör*. Svart anodiserataluminiumlegering.
3. *Isolering*. Sammansatt plast-och aluminiumskikt med plastdelen liknande bubbelplast.
Luftspalt.
4. *Täckmaterial*. Dubbel skiktat polykarbonat
5. *Ram*. Svart anodiserataluminiumlegering

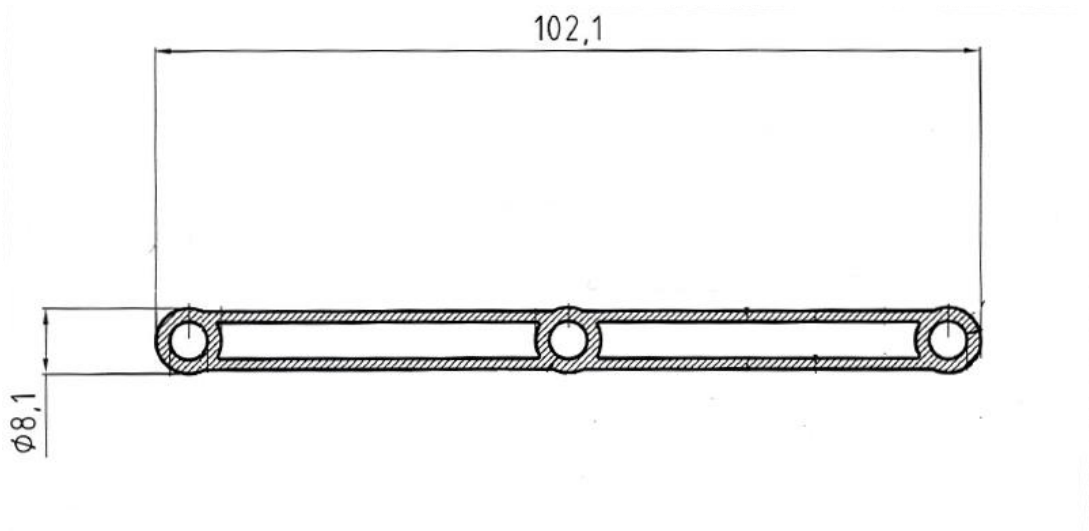
Det översta täckmaterialet (1) behöver vara genomskinligt för att släppa genom solstrålning till absorbatören och måste därför vara från nytillverkad polykarbonat. Det undre täckmaterialet(4) är endast för skapa en isolerande luftspalt och behöver inte vara genomskinligt vilket gör att återvunnen polykarbonat kan användas för att tillverka det.

Absorbatören är utformat med kanaler i avrundade rektanglar och varvas för motsattflöde, se Figur 2. De är nästan lika breda som ramverket för att maximera den absorberande ytan. KISAB:s solfångare har därmed inga absorbatörflänsar utan hela absorbatören innehåller värmebäraren, detta ger en stor kontaktyta mellan absorbatören och värmebäraren.

Aluminiumramen fästes med fyra stycken bultar i hörnen, även de gjorda i aluminium, i dimensionerna 25x50 mm. Dessa fästpunkter måste fräsas ut och gängas. Absorbatören svetsas till ramens gavlar i urfrästa skåror. (Persson, L. 2015)



Figur 1: KISAB:s solfångare. Lager ett och två är dubbel skiktat polykarbonat. Lager 2 är aluminiumabsorbatorn och lager 3 är isolering av aluminium och polyeten. Ramen av aluminium är nummer 5 i figuren. Bild KISAB (Persson, L. 2015).



Figur 2: En sektion av KISAB:s aluminiumabsorbator i profil, total består absorbatorn av 9 sektioner. Hela den inre volymen används för vätsketransport. Bild KISAB (Persson, L. 2015).

2.2 Funktionell enhet

Det finns några varianter på vilken funktionell enhet (FE) som kan användas vid en LCA på en solfångare (Ardente, F. et al. 2005a), de är:

- För hela solfångaren
- Per areaenhet av solfångare
- Per enhet energiproduktion

De olika varianterna har för- och nackdelar beroende på vad som ska studeras.

En FE på hela solfångaren kan medföra viss svårighet att jämföra med andra LCA:er då FE:n kan inkludera pumpar och ackumulatortankar som inte finns i den andra LCA:n.

En FE på arean är nödvändigtvis inte linjär om den skall skalas upp för att mätas med en annan LCA. Ställning och kringutrustning kommer inte att ha samma relativa påverkan vid olika areor och kommer ge ett missvisande resultat.

En FE på energiproduktionen för solfångare är svår att fastställa då solstrålning varierar med plats och lutning.

Studiens LCA:n kommer att använda en FE på hela KISAB:s solfångare. Detta för att lättare jämföra med andra rapporter, som i de allra flesta fall har en FE på hela solfångare (Ardente, F. et al. 2005, Battisti, R. et al. 2005,). FE på hela solfångaren är också bättre då energiproduktion för solfångare inte är mätt av en officiell organisation. Energiproduktionen kommer därmed endast att användas i uträkningar av återbetalningstiden. För att ytterligare förbättra möjligheten att jämföra med andra rapporter så inkluderas inte pumpar, ackumulatortank eller rör.

2.3 Systemgränser

KISAB har endast utvecklat solfångaren vilket innebär att inga ställningar kommer att användas i LCA:n och inte heller en standardställning. Detta då ställningen kommer att variera per kundbasis och därmed inte skulle ge en bra representation av den faktiska ställningen. Det är även möjligt att integrera solfångaren i taket, då den har så pass låg ramprofil. Den låga ramprofilen försvårar ytterligare val av möjliga ställningar.

Rör och ackumulatortank kommer inte heller att tas med i LCA:n då även dessa är per kundbasis och kan variera mycket.

Energianvändning är svår att modellera då solfångaren inte ännu är testad av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) än och därmed inte har några officiella värden. SP är en organisation som testar och certifierar för Solar Keymarks (SP, 2015). KISAB har dock själv testat energiproduktion och dessa värden kommer att användas i den mån det är möjligt för beräkningar av energi- och CO₂-återbetalningstiden.

LCA i denna studie använder vagg till grav metoden där aluminiumet kommer att återvinnas och polykarbonaten samt polyetenen kommer att förbrännas. Elektricitetens utsläpp som sparas genom att förbränningen kommer att producera elektricitet dras av från vardera tillverkningen.

2.4 Ecoinvent

Ecoinvent är en av de mest använda LCA-databaserna för flöden och utsläpp från tillverkningen av material. Ecoinvent har data för en rad olika områden och länder och uppdateras ständigt. De flesta av denna studies värden kommer från ett medel baserat på Europeiska Unionen. I de fallen värden finns för Sverige kommer dessa att användas. Den senaste versionen av ecoinvent är 3.1 men då den kräver en licens så används i denna rapport en gratisversion, ecoinvent 2.2 (Ecoinvent. 2015).

2.5 Datatyp och datakällor

Datakällor är en blandning av uppmätt data från KISAB, ecoinvent och uppskattad data.

2.6 Miljöpåverkanskategorier

Global uppvärmningspotential (GWP) kommer vara den främsta miljöpåverkansfaktorn som jämförs i studien då den tydligast demonstrerar de negativa effekterna vid tillverkningen av solfångaren. Men även övergödningspotential (EP), försurning (AP) med flera kommer att studeras då dessa finns lättillgängliga i ecoinvent och ytterligare ger en bild av miljöpåverkan.

Samtliga miljöpåverkanskategorier som ingår i rapporten är:

- Uppvärmningspotential (GWP)
- Försurningspotential (AP)
- Övergödningspotential (EP)
- Mänsklig toxicitetpotential (HTP)
- Ozonedbrytandepotential (ODP)
- Marknära ozonpotential (POCP)

2.7 Övriga kategorier

Förutom miljöpåverkanskategorierna så kommer även resursåtgång och kumulativa energianvändning (CED) för solfångaren beräknas.

CED är en den sammanlagda primärenergien det tar att producera produkten i LCA:n. Både fossila och förnyelsebara bränslen ingår i CED.

Resursåtgång är mängden material som går åt vid produktionen av solfångaren. Till exempel vatten, aluminium och naturgas.

2.8 Datakvalitet

KISAB:s solfångare är inte än helt färdigutvecklad och därmed inte officiellt testad. Det innebär att värden för kostnad och energiproduktion endast kan användas sparsamt i LCA:n med viss reservation. Även transporten är osäker då platsen för sammansättningen av solfångaren kan komma att ändras i framtiden.

Datan från ecoinvent kan anses vara av bra kvalitet då den är gjord under en lång tid med professionella medel. Den kontrolleras också av ett flertal organisationer. De flesta värden

är från runt 2007 med några avvikare. Det borde inte ha skett några större förändringar de senaste åren i tillverkningarna så de anses vara tillförlitliga.

2.9 Center of Environmental Science of Leiden University (CML)

CML är utvecklat av ett nederländsk universitet, Universiteit Leiden, och innehåller karakteriseringsfaktorer för miljöpåverkansbedömning. Metoden analyserar faktorerna utifrån en tänkt mittpunkt i utsläppens livstid. CML används flitigt för LCA:er gjorda på diverse uppvärmning av hus (Anastaseloset, D. et al. 2011.) och solfångare (Zambrana-Vasquez, D. et al. 2014a.) och denna rapport kommer därför också att använda CML.

Denna rapport använder den senaste uppdateringen från januari 2015.

2.10 OpenLCA

OpenLCA är ett program för att förenkla beräkningarna i en LCA. Den kan importera värden från databaser, inkluderat ecoinvent, och länka olika system som är baserade på samma FE. OpenLCA kan sedan använda en metod, som CML, för att beräkna miljöpåverkanskategorier. Tyvärr gick det inte bygga ett stort system för hela solfångaren och samtidigt få resultaten tillräckligt uppdelade i OpenLCA. KISAB:s solfångare delades därför upp i delsystem i OpenLCA och dessa delsystem lades sedan ihop i Excel. (OpenLCA. 2015)

2.11 Allokering

Då alla värden är baserade på systemprocesser från ecoinvent så behöver ingen allokering göras. Ecoinvent har redan de nödvändiga allokeringarna inkluderade i processerna.

2.12 Återvinning

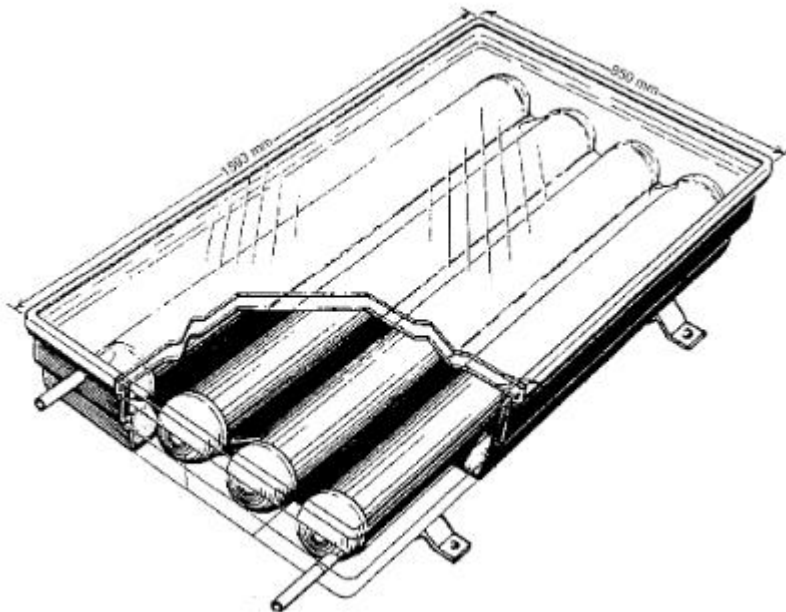
Eftersom inga av KISAB:s solfångare ännu finns på marknaden så är det svårt att uppskatta hur mycket som kommer att återvinnas. Men då polykarbonaten och isoleringen på solfångaren endast är limmad så borde det vara enkelt att återvinna delarna var för sig. Det svåraste att återvinna är isoleringen då delarna är sammansatta. Isoleringen kommer därför att förbrännas för att få energi från polyetenen. Aluminiumet i solfångaren beräknas att återvinnas till 90 %.

2.13 Jämförelse

Det finns få LCA:er gjorda på solfångare så det har varit svårt att hitta en att jämföra med den aktuella rapporten. Men med lite modifieringar så kan en studie från Italien gjord av Battisti, R och Corrado, A (Battisti, R. et al. 2005) som heter *Enviromental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage* användas. Solfångare de använder är en solfångare med integrerad vattentank, se Figur 3. Det vill säga absorbatoren kan lagra en större vattenvolym än normalt. Detta stämmer bra överens med solfångaren från KISAB då de bygger på samma princip, båda saknar absorbatorflänsar och använder istället hela ytan för värmeöverföring. KISAB:s solfångare har dock en mindre vätskevolym eftersom den är tänkt att operera med en ackumulatortank.

Solfångaren i Battisti, R (2005) rapport har också samma funktionella enhet, nämligen hela solfångaren utan någon pump för vattencirkulation, och är tillverkad i Italien. Den använder Ecoindicator 95 istället för CML för karakteriseringsfaktorer. Skillnaden mellan metoderna är att Ecoindicator använder andra definitioner på HTP (EarthShift, 2015), denna kategori kommer därmed inte ingå i jämförelsen. POCP finns inte heller tillgänglig och kommer uteslutas.

Solfångaren består av:
Polykarbonat för täckmaterial
Koppartuber
Stålråmverk
Polyeten för isolering



Figur 3: Integrerad solfångare från: Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage (Battisti, R. et al. 2005).

Battisti, R (2005) solfångare har en aktiv yta om 1,44 m² medan KISAB:s solfångare har 1,88 m² (Persson, L. 2015). Detta gör att resultaten från Battisti, R (2015) får räknas om, vilket medför osäkerheter i tolkningen då utsläppen inte nödvändigtvis kan antas vara en linjär skalning med arean. Men då solfångaren från Battisti, R (2015) inte har en ställning eller pump så borde detta inte vara avgörande.

3 Inventeringsanalys

3.1 Aluminium

Aluminiets i solfångaren görs av Sapa group som har en produktionsfacilitet i Vetlanda, Sverige (Persson, L. 2015). Aluminiumet som används är en legering (6060) av magnesium och kisel som har härdats till strykklassen f22 (Sapa group. 2015).

Aluminiumet i Sapa group-koncernen är globalt drygt 50 % från återvunnet aluminium (Sapa sustainability, 2013). Återvinning i Sverige är dock avsevärt högre och eftersom solfångaren är väldigt lätt att plocka isär så kommer denna studie att använda en aluminiumåtervinning på 90 %.

Återvinningen av aluminium sänker utsläpp och energiåtgång avsevärt. Återvinning sparar 95 % av energin som nyproducerat aluminium behöver och gör att produktionen blir mycket miljövänligare (Sopor. 2015).

Vid montering av absorbatoren i ramprofilen så fräses 75 cm³ aluminium ut som sedan går till materialåtervinning. Med en densitet på 2,70 g/cm³ blir det drygt 0,2025 kg som fräses bort och återvinns. Ramens delar fästes med 4st bultar även de gjorda i aluminium i dimensionerna 25x50 mm vilket väger 135 g (Persson, L. 2015).

Aluminiumlegeringen innehåller mindre än 5 % legeringsmaterial vilket gör att legeringen kan approximeras till en profil av rent aluminium (EAA, 2008a). Legering 6060 innehåller drygt 2.2% annat material (COSMOS. 2015).

Menecoinvent har produktion av aluminium som används till legeringar, några få procent av annat material, vilket kommer användas i denna rapport. Ecoinvent har även data på aluminium extrudering (strängpress), en formteknik som aluminiumet i solfångaren utsätts för. Ramen och absorbatorns mått kan ses i Tabell 1.

Tabell 1: Specifikationer för aluminiumet i solfångaren.

Aluminiumabsorbator á nio stycken	
Bredd	102.1 mm
Längd	1960 mm
Höjd	8,1 mm
Aluminiumram á två stycken (kortsida)	
Bredd	22 mm
Längd	1000 mm
Höjd	50 mm
Aluminiumram á två stycken (långsida)	
Bredd	22 mm
Längd	2000 mm
Höjd	50 mm
Totalvikt	26,4 kg

3.2 Polykarbonat

Polykarbonaten som används för täckmaterial i solfångaren heter Multiclear box, se Figur 4 och produceras av Arla Plast S.R.O i Tjeckien (Persson, L. 2015, Jönsson, Ola. 2015.). Arlaplast (2015) kan inte uppge varifrån plastgranulaten (LDPE) köps in till polykarbonaten men de uppger att det finns producenter i både Tyskland och Nederländerna. På grund av bristande uppgifter i ecoinvent så kommer inte täckmaterialet för undersidan att vara från återvunnet material. Ingen degradation av polykarbonaten kommer att inkluderas då solfångaren inte har testats en längre tid och effekten av värmedegradation därmed är svår att avgöra.

Polykarbonaten kommer att nyproduceras och vara på globalskala då alternativen är begränsade i ecoinvent. Det kommer även att vara en generell produktion av polykarbonat och inte specifikt till solfångarens behov. För sluthantering så kommer polykarbonaten att förbrännas och ge motsvarande 7 MJ elektricitet per kg plast (Battisti, R. et al. 2005a). Då inga uppgifter finns för tillverkning av dubbel skiktad polykarbonaten i ecoinvent så kommer 10 % av transport och utvinning att adderas till det totala (Wahlström, Å. 2007). Måtten på polykarbonaten kan ses i Tabell 2.

Tabell 2: Polykarbonatens specifikationer.

Polykarbonat á 2 stycken	
Bredd	1000 mm
Längd	2000 mm
Höjd	4 mm
Totalvikt	5,6 kg



Figur 4: Multiclear box dubbel skiktad polykarbonat som används som täckplast i solfångaren. Bild Toparla (Toparla. 2015).

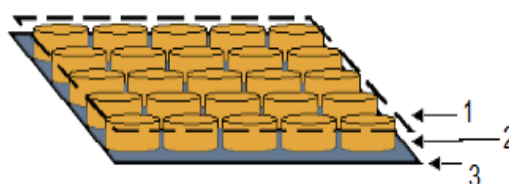
3.3 Isolering

Isoleringen i solfångaren heter Thermorefleks Super Polynum 2012-R, se Figur 5, och är 4 mm tjockt. Den importerades av Wiedland i Sverige men produceras i Kibbutz, Israel av Polynum CLP Insulation Ltd (Persson, L. 2015, Ecospecifier, 2011). Isolering har en vikt på 255 g/m² (Wiedland, 2015a).

Ecoinvent har ingen data på vare sig denna isolering eller någon liknande så datan får approximeras. Isoleringen består till 10 % av aluminium och till 90 % av polyeten (Ecospecifier, 2011, Wiedland, 2015a). Aluminiumet som används är samma som för absorbatorn då den inte specificerats. Miljöpåverkan för sammanfogningen av aluminiumet och plasten är inte klart, men det antas vara 10 % av påverkan från material och transport (Wahlström, Å. 2007). Måtten på isoleringen kan ses i Tabell 3.

Tabell 3: Isoleringens specifikationer.

Isolering á en stycken	
Bredd	1000 mm
Längd	2000 mm
Höjd	4 mm
Totalvikt	255 g/m ²



Figur 5: Thermoreflekt isolering till vänster och isoleringens uppbyggnad till höger. Lager 1 och 2 är ett tunt aluminiumskikt. Lager 2 en bubbelplast av polyeten. Bild Wiedlanda (Wiedlanda, 2015b).

3.4 Ytbehandling

Absorbatorn och ramens behandling är ännu inte helt fastställd men den kommer med största sannolikhet att anodiseras. Detta kommer då att ske hos Ytbehandlarna i Skåne som ligger i Malmö (Persson, L. 2015).

Ecoinvent har en aluminiumbehandling för att anodisera per kvadratmeter och hela solfångaren inklusive ramverket kommer att genomgå behandlingen. Arealen approximeras med hjälp av ritningar från Persson, L (2015), se Tabell 4.

Tabell 4: Anodiseringens specifikationer.

Anodisera	
Totalarea absorbator	3,88 m ²
Totalarea ramverk	1,27 m ²
Totalarea	4,93 m ²

3.5 Svetsning

Svetsningen kommer att ske med bågs svetsning hos KISAB och baseras i ecoinvent på fogens längd. Längden på fogarna approximeras med hjälp av ritningar från Persson, L (2015), se Tabell 5.

Tabell 5: Svetsningens specifikationer.

Svetsning	
Längd	3,84 m

3.6 Glykol

Anti-frysen i absorbatoren och ramen kommer antas vara en 50/50 mix av glykol och vatten där vattnet antas komma från vanligt tappvatten och har inte räknats med i livscykelanalysen. Volymen på glykolen kan ses i Tabell 6.

Tabell 6: Glykolens specifikationer.

Glykol	
Totalvolym	9,20 l
Volym glykol	4,60 l

3.7 Lim

Polykarbonaten och isoleringen skall limmas fast till aluminiumramen men vilket sorts lim det skall vara är ännu inte fastställt. Limmet kommer därför inte vara inkluderat i den aktuella rapporten.

3.8 Underhåll

Då solfångaren inte ännu finns för produktion och inte har testats en längre tid så är det svårt att avgöra vilket sort underhåll som kommer vara nödvändigt. Underhållet kommer baseras på andra rapporter med liknade solfångare (Ardente, F. et al. 2005b). Livslängden kommer därför att antas vara 15 år med anti-frysbyte var femte år det vill säga 2 gånger totalt. Det kommer även att ske ett byte av packning och dylikt vid underhållet.

3.9 Transport

All landtransporter sker med bilar som följer EURO 5 standarden i Europa. Euro 5 trädde i kraft 2008 och är den som finns tillgänglig i ecoinvent. Det finns en nyare standard, EURO 6, som måste följas från och med 2014 men den finns inte i ecoinvent ännu (Transportpolicy. 2015). Sjötransporterna baseras på transatlantisk sjöfart och är eventuellt baserade på för stora fartyg för transport mellan Tyskland och Sverige. Men det finns inget bättre alternativ i ecoinvent.

Ecoinvent använder tkm vilket är ton transporterat gods multiplicerat med antal kilometer. Distanserna, vikten och tkm kan ses i Tabell 7, Tabell 8, Tabell 9, Tabell 11 och Tabell 14 där distanserna är approximerade med Google Maps. Alla transporter antas vara fulla envägs transporter förutom för underhåll, installation och sluthantering.

Aluminiumet, Tabell 7, transporteras från Sapa group, Vetlanda till Ytbehandlarna i Skåne, Malmö där det anodiseras. Därefter transporteras det till produktionslokalen i Kristiansand.

Tabell 7: Aluminiumets transportväg från Vetlanda till Kristianstand med anodisering i Malmö.

Typ	Enhet	Resa	Vikt (kg)	Distans (km)	Tkm
Lastbil 16-32t	Aluminium	Vetlanda (SE)-Malmö (SE)	26,4	295	7,79
Lastbil 16-32t	Aluminium Anodisera	Malmö (SE) – Kristianstad (SE)	26,4	98	2,56

Polykarbonatens transport, Tabell 8, börjar med LDPE i Köln, Tyskland och transporteras till Kådan, Tjeckien. Arla plast kan inte uppge exakt vart produktionen av LDPE låg så en fabrik i Köln (Ineos. 2015) som kan producera LDPE används som substitut. I Tjeckien produceras polykarbonaten för att sedan transporteras till Kristianstad via färjan: Rostock-Trelleborg.

Tabell 8: LDPE samt Polykarbonatens transportväg från Köln till Kådan och från Kådan till Kristianstand.

Typ	Enhet	Resa	Vikt (kg)	Distans (km)	Tkm
Lastbil 16-32t	LDPE	Köln (DE) – Kådan (CZ)	5,6	606	3,39
Lastbil 16-32t	Polykarbonat	Kådan (CZ) – Rostock (DE)	5,6	559	3,39
Båt	Polykarbonat	Rostock (DE) – Trelleborg (SE)	5,6	180	1,01
Lastbil 16-32t	Polykarbonat	Trelleborg (SE) – Kristianstad (SE)	5,6	132	0,74

KISAB:s medeltäckningsområde är i denna rapport 273 km, vilket är halva sträckan till Stockholm. Glykol, packningar och dylikt transporteras för underhåll vilket gör att bilen kommer att vara tom halva sträckan och därmed dess tkm dubblas, se Tabell 9.

Tabell 9: Underhållets transportdistans från Kristianstad till konsument.

Typ	Enhet	Resa	Vikt (kg)	Distans (km)	Tkm
Personbil, diesel	Underhåll	Kristianstad (SE) - Konsument	0,015	546	3,39

Transporten till konsumenten sker i två steg, först transporteras solfångaren 300 km till ett lager med en 16-32t lastbil, se Tabell 10. Från lagret transporteras den sen till konsumenten med en 3,5-7,5t lastbil i 100 km (Wahlström, Å. 2007). Transporten med en liten lastbil räknas vara halvfull ut till konsumenten och tom på tillbakavägen. Den färdiga produkten väger drygt 33 kg.

Tabell 10: Installationens transportväg från Kristianstad till konsument.

Typ	Enhet	Resa	Vikt (kg)	Distans (km)	Tkm
Lastbil 16-32t	Installation	Kristianstad (SE) – Lager (SE)	33	300	9,90
Lastbil 3,5-7,5t	Installation	Lager (SE) – Konsument (SE)	33	400	13,10

Isoleringens transportkedja, Tabell 11, är inte helt klar hur den ser ut. Men i denna rapport antas det att den börjar i Kibbutz, Israel för att sedan transporteras till Ashdod, Israel som ligger vid havet. Därefter transporteras den via medelhavet till Reggio Calabria, Italien som är en av de större hamnarna i Italien. Isoleringen transporteras sedan via Rostock-Trelleborg till Kristianstad.

Tabell 11: Isoleringens transportväg från Kibbutz till Kristianstad.

Typ	Enhet	Resa	Vikt (kg)	Distans (km)	Tkm
Lastbil 16-32t	Isolering	Kibbutz (IL) – Ashdod (IL)	0,51	31	0,02
Båt	Isolering	Ashdod (IL) – Reggio Calabria (IT)	0,51	2000	1,02
Lastbil 16-32t	Isolering	Calabria (IT) - Rostock (DE)	0,51	2329	1,19
Båt	Isolering	Rostock (DE) – Trelleborg (SE)	0,51	180	0,09
Lastbil 16-32t	Isolering	Trelleborg (SE) – Kristianstad (SE)	0,51	132	0,07

Transporten från konsument till sluthantering beräknas vara 100 km (Wahlström, Å. 2007) och kan ses i Tabell 12.

Tabell 12: Transport från konsument till antingen en återvinningscentral eller förbränning.

Typ	Enhet	Resa	Vikt (kg)	Distans (km)	Tkm
Lastbil 3,5-7,5t	Återvinning och förbränning	Konsument (SE) – Fabrik (SE)	33	100	3,30

3.10 Elektricitet

Elektriciteten har justerat för att anodisera och aluminiumproduktionen för att använda den svenska energimixen som är betydligt bättre än Europas och världens. För aluminiumet i isoleringen och polyetenen så är energimixen global och Europeisk, respektive. Även energimixen för svetsningen är europeisk. Elektriciteten som förbränning av polykarbonaten och polyetenen genererar är även den svensk och utsläppen dras av från respektive tillverkning.

4 Resultat

Nedan presenteras resultaten från LCI. Solfångarens delsystem är uträknande med OpenLCA som använder CML för beräkning av miljöpåverkan och CED för kumulativ energianvändning. Solfångarens delsystem är sammanlagda i Excel där även graferna och tabeller är gjorda. Alla resultat är baserade på den funktionella enheten ”en solfångare” och beräknande med en återvinning på 90 % om inget annat anges.

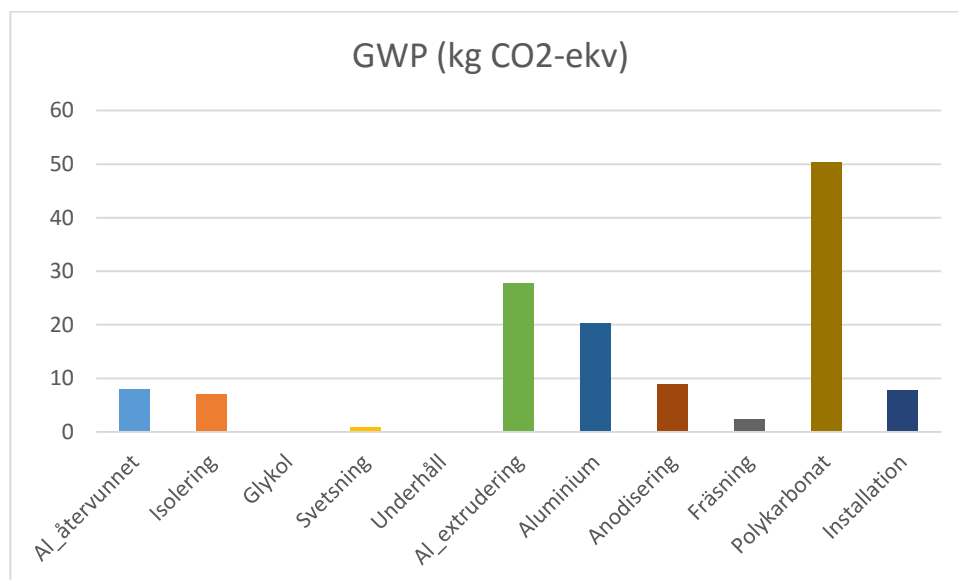
4.1 Miljöpåverkansbedömning

Transport ingår i alla delmoment i miljöpåverkansbedömningen.

4.1.1 Global uppvärmningspotential (GWP)

Den globala uppvärmningspotentialen kan ses i Figur 6 nedan. Produktionen av polykarbonat har den största enskilda påverkan på GWP med en andel av 38 %. Nyproducerat aluminium samt behandling av denna i form av extrudering och anodisering har även den en stor inverkan på utsläppen. Hela aluminiumkedjan inkluderat extrudering och anodisering har 49 % av den totala GWP.

Den totala GWP är 133,15 kg CO₂-ekvivalenter.

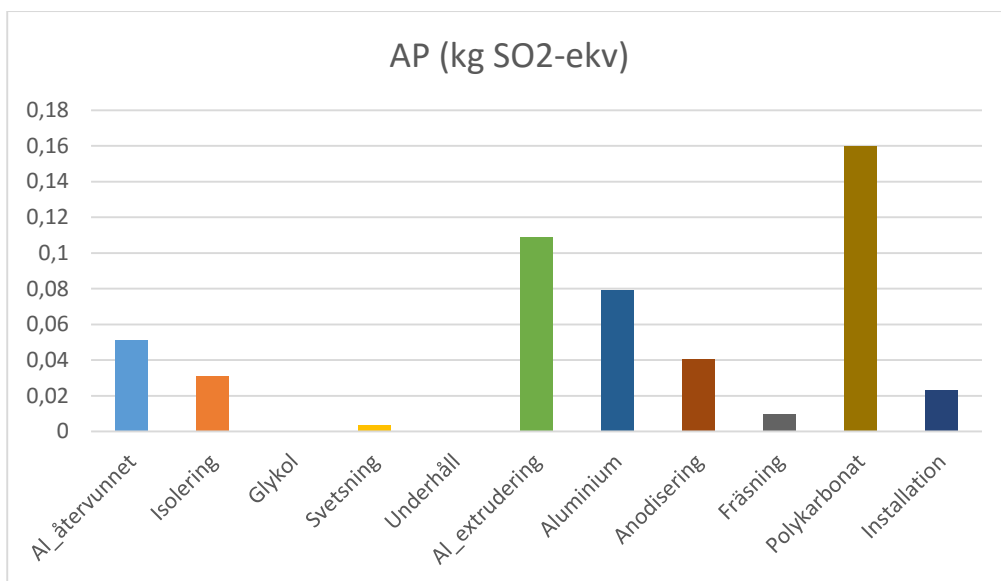


Figur 6: Figuren visar den globala uppvärmningspotentialen per solfångare i kilogram CO₂-ekvivalenter.

4.1.2 Försurningspotential (AP)

Även för försurningspotentialen, se Figur 7, så har produktionen av polykarbonat den största andelen av AP, drygt 32 %. Följt av extrudering och nyproduktion av aluminium. Hela aluminiumkedjan har en 55 % andel av AP.

Den totala AP är 0,51 kg SO₂-ekvivalenter.

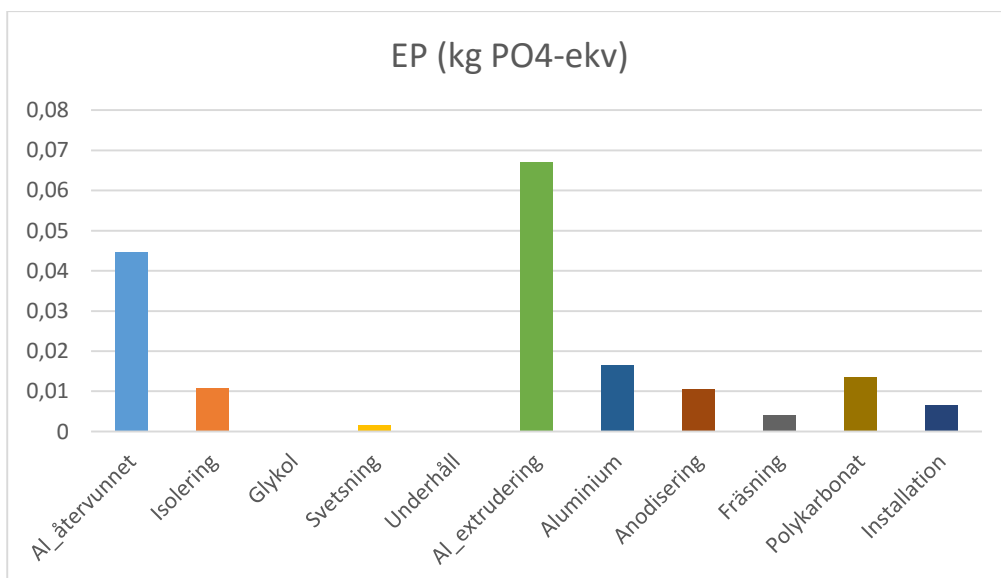


Figur 7: Figuren visar försurningspotentialen per solfångare i kilogram SO₂-ekvivalenter.

4.1.3 Övergödningspotential (EP)

Övergödningspotentialen domineras av extrudering av aluminiumet, se Figur 8, som sedan följs av aluminiumåtervinning. Polykarbonaten som i GWP och AP hade en stor påverkan har nu endast 8 % av EP. Hela aluminiumkedjan står för 79 % av EP.

Den totala EP är 0,18 kg PO₄-ekvivalenter.

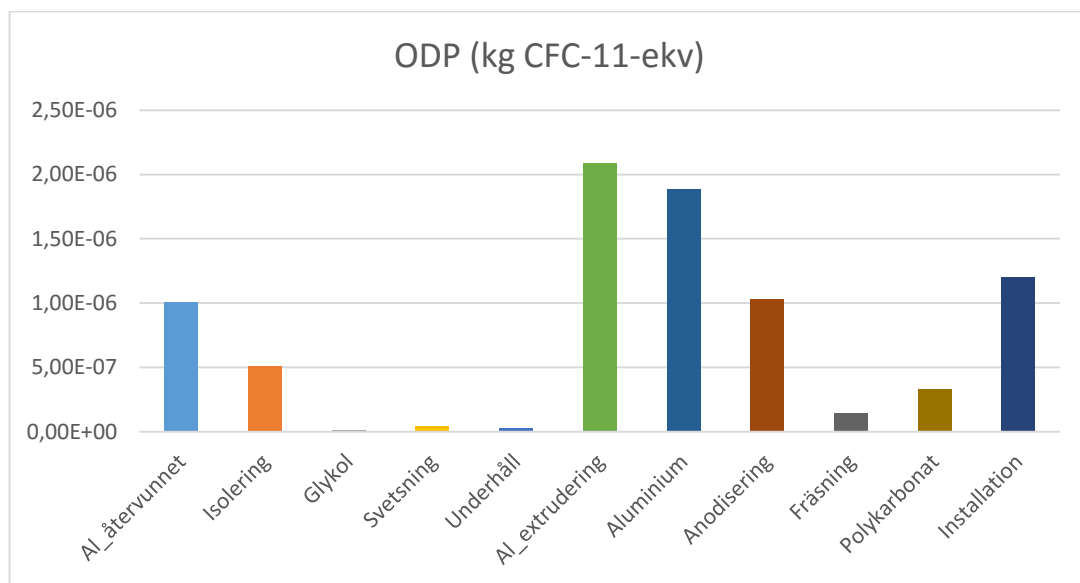


Figur 8: Figuren visar övergödningspotentialen per solfångare i kilogram PO₄-ekvivalenter.

4.1.4 Ozonnedbrytande potential (ODP)

Figur 9 visar ODP för solfångaren där den största faktorn är extrudering av aluminiumet som är tätt följd av nyproduktionen av aluminium. Polykarbonaten, som har en stor påverkan på GWP och AP, har en väldigt liten andel av ODP. Istället har installationen av solfångaren en betydande andel av ODP, drygt 15 %. Hela aluminiumkedjan står för 73 % av EP.

Den totala ODP är $8,29 \cdot 10^{-6}$ kg CFC-11-ekvivalenter.

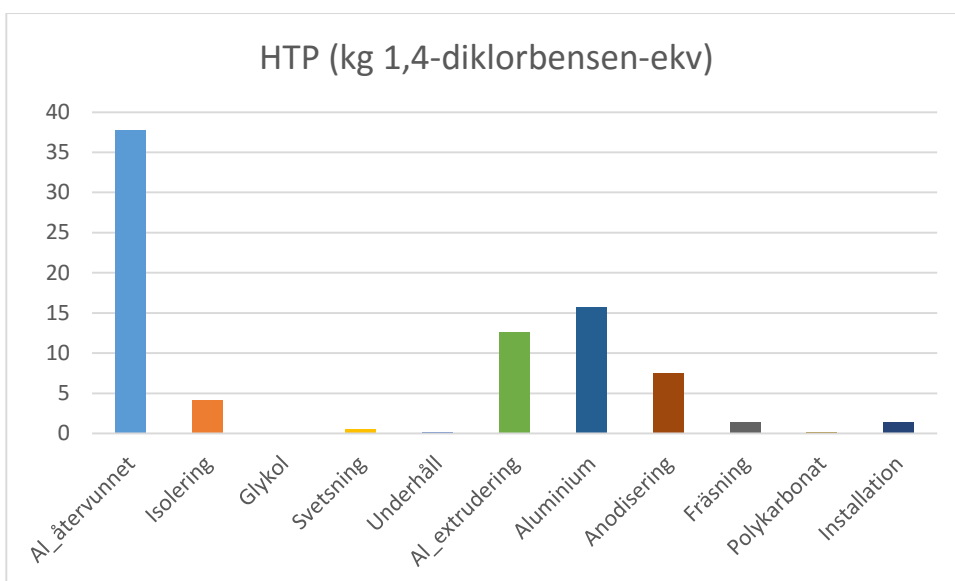


Figur 9: Figuren visar ozonnedbrytande potential per solfångare i kilogram CFC-11 ekvivalenter.

4.1.5 Mänsklig toxicitet (HTP)

Den mänskliga toxiciteten, Figur 10, har den största påverkan från återvunnet aluminium med en andel av 46 %. Nyproduktion av aluminium och extrudering har liknande värden men betydligt lägre än återvunnet aluminium. Polykarbonaten har här en väldigt liten andel av påverkan. Hela aluminiumkedjan står för 90 % av HTP.

Den totala HTP är 81,79 kg 1,4 diklorbensen-ekvivalenter.

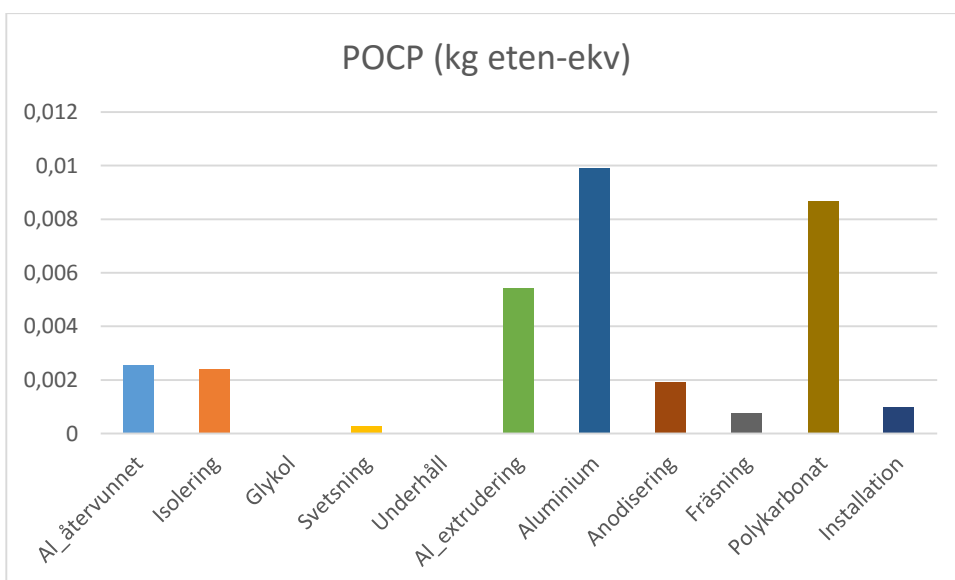


Figur 10: Figuren visar den mänskliga toxiciteten per solfångare i kilogram 1,4 diklorbensen-ekvivalenter.

4.1.6 Marknära ozon (POCP)

Marknära ozon domineras av aluminium-och polykarbonatproduktion. Extrudering har även här en relativt stor påverkan på utsläppen. Polykarbonaten står för 26 % av utsläppen och aluminiumkedjan står för 60 %.

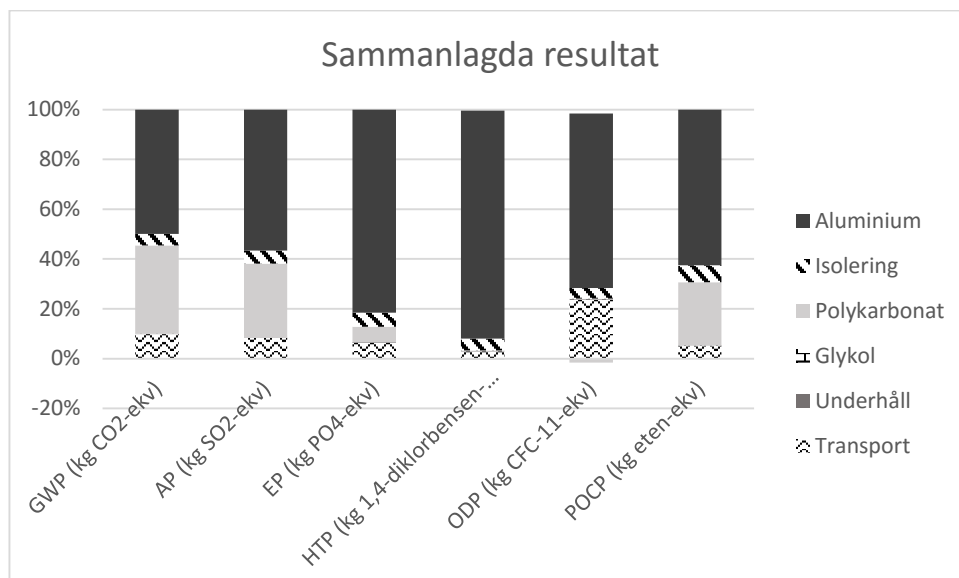
Den totala POCP är $3,30 \cdot 10^{-2}$ kg eten-ekvivalenter.



Figur 11: Figuren visar POCP per solfångare i kilogram eten-ekvivalenter.

4.1.7 Total miljöpåverkan

I Figur 12 nedan så visas de totala utsläppen för varje miljöpåverkanskategori, GWP, AP, EP, HTP, ODP och POCP. Den totala transporten är i denna figur en egen kategorier och är inte inkluderar i de andra kategorierna. Figuren visar att transporten i solfångaren står för en stor del av GWP, AP och ODP. Polykarbonaten har ett negativt värde för ODP då undvikit utsläpp från elektriciteten överväger tillverkningsutsläpp av ODP.



Figur 12: Figuren visar den sammanlagda miljöpåverkan från de olika delsystemen i solfångaren..

I Tabell 13 kan transportens andel ses. Som nämndes ovan så har transporten en stor påverkan på ODP med drygt 25 %. Även för GWP har den en stor andel med 10 % av det totala.

Tabell 13: Transportens andel av det totala för de olika miljöpåverkanskategorierna.

Indikatorresultat	Transport andel
GWP (kg CO2-ekv)	10,0 %
AP (kg SO2-ekv)	8,3 %
EP (kg PO4-ekv)	6,3 %
HTP (kg 1,4-diklorbensen-ekv)	2,9 %
ODP (kg CFC-11-ekv)	24,5 %
POCP (kg eten-ekvivalenter)	5,2 %

4.2 Resursåtgång

Resursförbrukningen kan ses i Tabell 14. Eftersom en stor andel av aluminiumet återvinns så går det åt lite aluminiummalm. Ren energiförbrukningen är inte med i denna tabell.

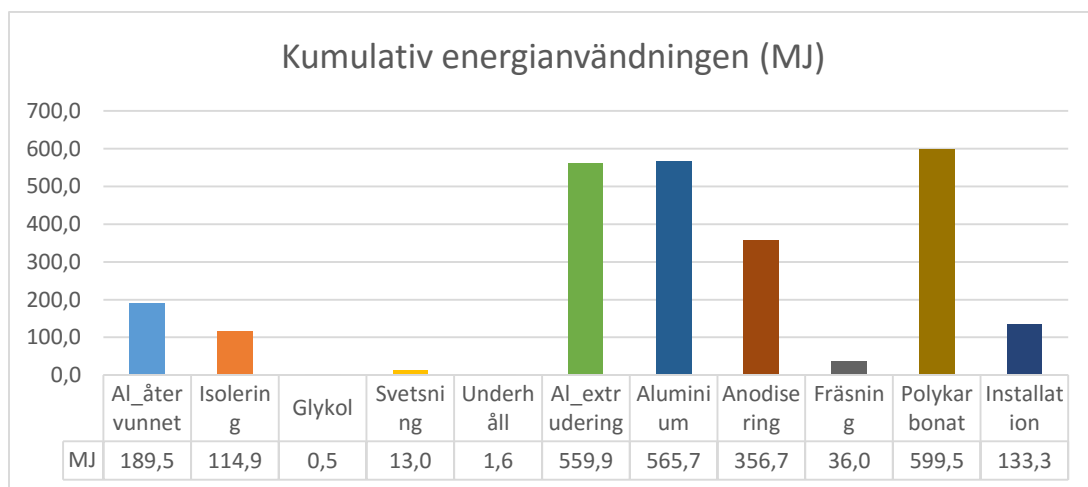
Tabell 14: Tabellen visar resursåtgången vid tillverkningen av en solfångare

Resurstyp	Mängd
Vatten	1426,23 m ³
Grus	22,70 kg
Naturgas	18,23 m ³
Olja	13,35 kg
Kol	10,40 kg
Brunkol	9,86 kg
Koldioxid	7,97 kg
Natriumklorid	5,89 kg
Aluminium, 24% i bauxit, 11% i malm	4,21 kg
Kalciumkarbonat	2,89 kg
Järn, 46% i malm, 25% i råmalm	0,90 kg
Lera	0,84 kg
Torv	0,32 kg

4.3 Kumulativ energianvändning (CED)

Kumulativ energianvändningen, se Figur 13, är ungefär lika stor för nyproduktion av aluminium, extrudering och produktion av polykarbonat. De står för drygt vardera 20 % av energianvändningen. Anodisering har också en stor energianvändningen i figuren med en andel av 14 %.

Den totala energianvändningen är 2570,6 MJ.



Figur 13: Kumulativ energianvändning för solfångaren.

5 Tolkning

5.1 Återbetalningstid

I denna studie skall två olika återbetalningstider användas, energi och CO₂-ekvivalenter.

Energiåterbetalningstid använder den totala energianvändningen (CED) och den totala producerade energin från solfångaren över ett år. Återbetalningstiden blir därmed hur lång tid det tar att spara in energin som förbrukas under tillverkningen, 2570,6 MJ i denna studie.

KISAB:s har gjort egna tester på solfångaren över en längre tid där de enligt egna uppskattningar kan få ut drygt 650 kWh/m²/år vid en temperatur över 60 °C.

Återbetalningstid kan beräknas med följande formel:

$$E_{\text{åter}} = E_{\text{användning}} / (E_{\text{prod}} - E_{\text{använt}})$$

Där:

$E_{\text{åter}}$ = Återbetalningstiden i år.

$E_{\text{användning}}$ = hur mycket primärenergi som går åt under solfångarens livscykel.

E_{prod} = hur mycket energi som solfångaren producerar under ett år.

$E_{\text{använt}}$ = hur mycket energi solfångaren förbrukar under ett år, till exempel en pump.

Då denna LCA:s systemgränser inte innehåller pumpen så är $E_{\text{use}} = 0$, E_{pro} är 4399 MJ och $E_{\text{åter}}$ är 2570,6 MJ. Detta ger en återbetalningstid på 0,58 år.

Men för att få en bättre approximation så görs också en uträkning på en solfångare med pump. Den antas användas 3650 timmar per år med en effekt på 27W och endast energiförbrukning under användning räknas med (Zambrana-Vasquez, D. et al. 2014a). Det ger en E_{use} på 5,913 MJ. Med pumpen blir återbetalningstid då 0,59 år.

En återbetalningstid beräknas också för CO₂-ekvivalenter per år. Vid beräkningen av CO₂-ekvivalenter så används solfångarens totala GWP och GWP värden för olika bränsleslag. GWP värdena för de olika bränsleslagen beräknas med hjälp av E_{pro} för att få det totala GWP värdet som ersätts av solfångaren.

Solfångaren jämförs med den vanligaste uppvärmningssätten i Sverige i fallande ordning: elvärme, biobränsle och fjärrvärme (Uppvärmning i Sverige, 2012). Elvärme är i Uppvärmning i Sverige (2012) en blandning av direktverkande el och värmepumpar. Värmepumpar är dock betydligt effektivare än direktverkande så i denna studie kommer solfångaren att jämföras med en värmepump. Se Tabell 15 för CO₂-värden på de olika uppvärmningssätten där fjärrvärmevärdet är ett medelvärde för Sverige och kan variera mycket från kommun till kommun. Även här används ett fall med en pump med samma karaktär som tidigare och som drivs av nordisk elmix, för värden se Tabell 16.

Tabell 15: CO₂-ekvivalenter från värmeproduktion per MJ samt per solfångare.

Typ	g CO ₂ -ekvivalenter/MJ	kg CO ₂ -ekvivalenter/solfångare
Elvärme (värmepump)	9,44 (Höglund, J)	44,18
Biobränsle	6,50 (Höglund, J)	30,42
Fjärrvärme (medel)	23,61 (Fjärrensyn, 2011)	110,49

Tabell 16: CO₂-ekvivalenter från en 27W pump som används 3650 timmar per år per MJ samt per solfångare..

Typ	g CO ₂ -ekvivalenter/MJ	kg CO ₂ -ekvivalenter/solfångare
Nordisk elmix	19,44 (Gode, J. et al. 2009)	0,115

Återbetalningstid för CO₂ beräknas med:

$$E_{\text{äterCO}} = E_{\text{användningCO}} / (E_{\text{prodCO}} - E_{\text{använtCO}})$$

Där:

$E_{\text{äterCO}}$ = Återbetalningstiden i år.

$E_{\text{användningCO}}$ = hur mycket CO₂-ekvivalenter som går åt under solfångarens livscykel.

E_{prodCO} = hur mycket CO₂-ekvivalenter som ett bränsleslag som solfångaren ersätter producerar under ett år.

$E_{\text{använtCO}}$ = hur mycket CO₂-ekvivalenter solfångaren förbrukar under ett år, till exempel en pump.

GWP utsläppen för solfångaren är 133,15 kg CO₂-ekvivalenter och återbetalningstid för den olika bränsleslagen kan ses i Tabell 17.

Tabell 17: Återbetalningstid för CO₂-ekvivalenter persolfångaren.

Typ	Återbetalningstid (år)	Återbetalningstid med pump (år)
Elvärme (värmepump)	3,01	3,02
Biobränsle	4,38	4,39
Fjärrvärme	1,20	1,21

Jämförelse

Tabell 18 kan resultaten från rapporten gjord av Battisti, R (2005) ses, då deras studie har en aktiv area på 1,44 m² så har nedanstående resultat räknats om till en area på 1,88 m². Samma resultat från KISAB:s solfångare kan ses i Tabell 19.

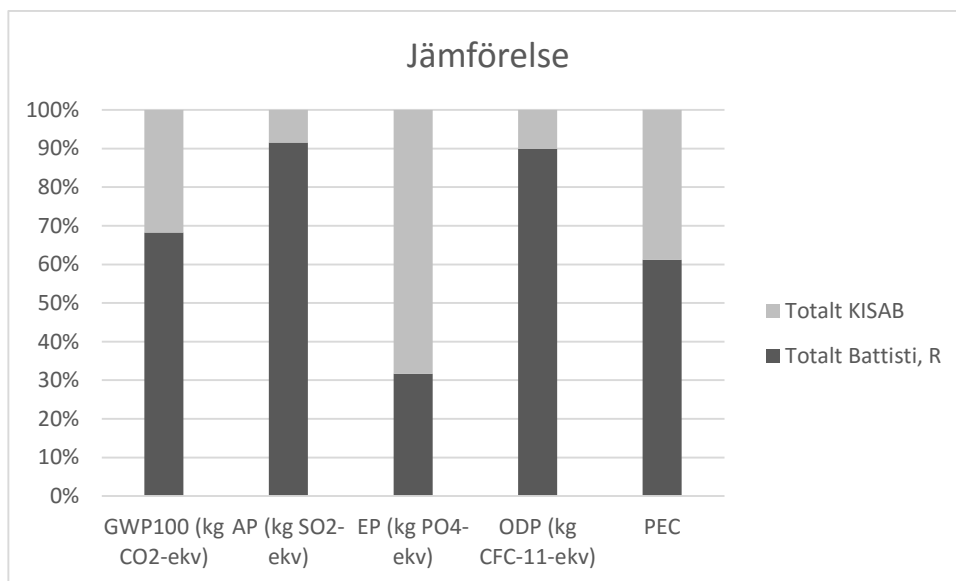
Tabell 18: Indikatorresultat från Battisti, R (2015). Korrigerade för en solfångare med en aktiv yta på 1,88 m².

Indikatorresultat	Solfångare	Installation	Totalt
GWP100 (kg CO ₂ -ekv)	280,7	5,2	286,4
AP (kg SO ₂ -ekv)	5,5	0,03	5,5
EP (kg PO ₄ -ekv)	0,08	0,003	0,08
ODP (kg CFC-11-ekv)	6,8E-05	5,5E-06	7,4E-05
PEC (MJ)	3968,9	74,4	4051,1

Tabell 19: Indikatorresultat från KISAB:s solfångare med en aktiv yta på 1,88 m²

Indikatorresultat	Solfångare	Installation	Totalt
GWP100 (kg CO ₂ -ekv)	125,3	7,9	133,1
AP (kg SO ₂ -ekv)	0,5	0,02	0,5
EP (kg PO ₄ -ekv)	0,2	0,007	0,2
ODP (kg CFC-11-ekv)	7,1E-05	1,2E-06	8,3E-05
PEC (MJ)	2437,3	133,3	2570,6

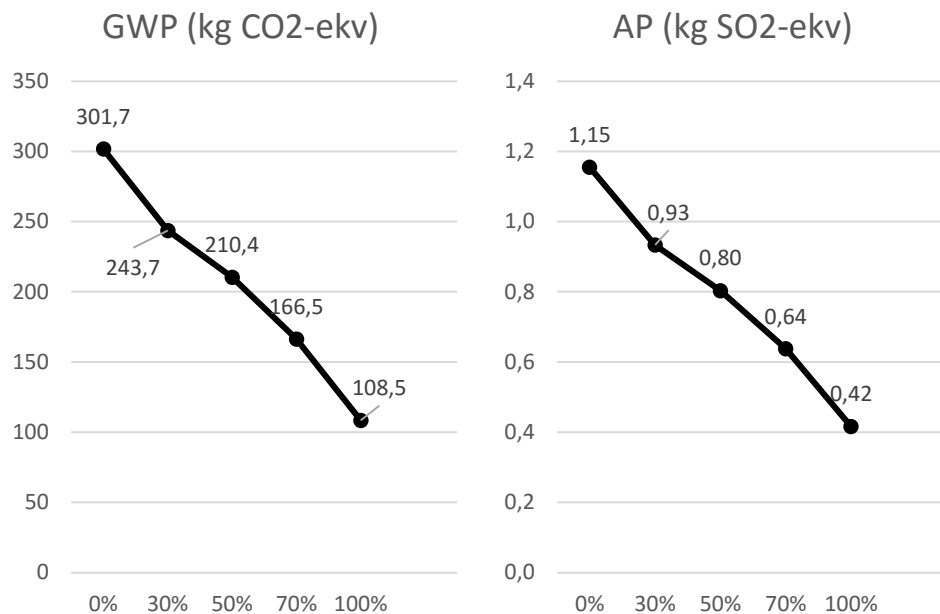
En jämförelse mellan Battisti, R (2015) och KISAB:s solfångare kan ses i Figur 14 nedan. KISAB:s solfångare är betydligt bättre i kategorierna AP och ODP, där de endast har 8 – 10 % av utsläppen. För kategorin EP har KISAB:s solfångare en större påverkan än Battisti, R (2005) med 68 % av utsläppen.



Figur 14: Jämförelse mellan Battisti, R (2005) och KISAB:s solfångare med 90 % återvinning.

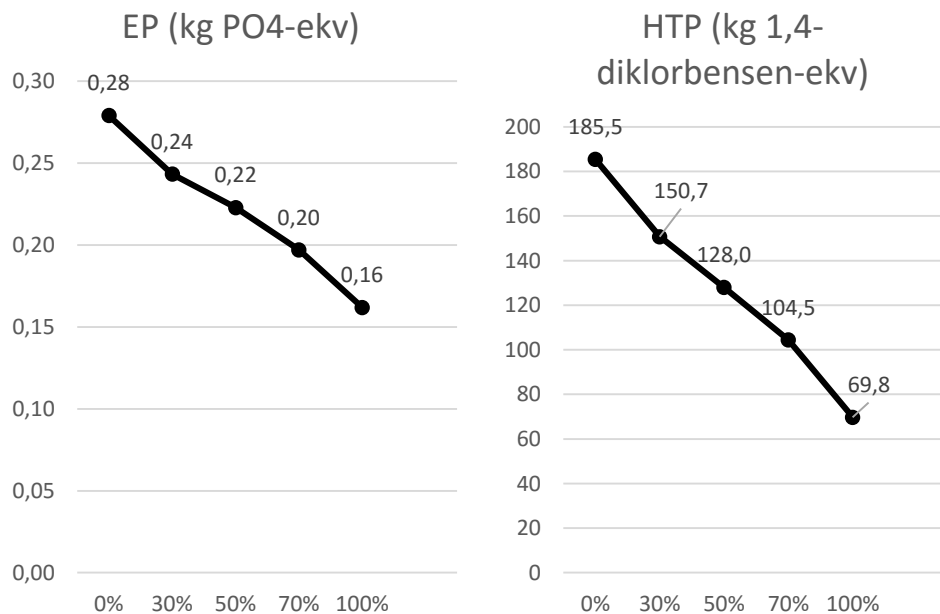
5.2 Känslighetsanalys

Nyproduktionen av aluminium har den största miljöpåverkan vid tillverkningen av solfångaren och bland den högsta energianvändningen. En känslighetsanalys har därför gjorts på aluminiumåtervinning fraktionen från 0 % till 100 %. Resultaten från känslighetsanalysen kan ses i figurerna 15-18 nedan där hela solfångaren simuleras med olika fraktioner återvinning.



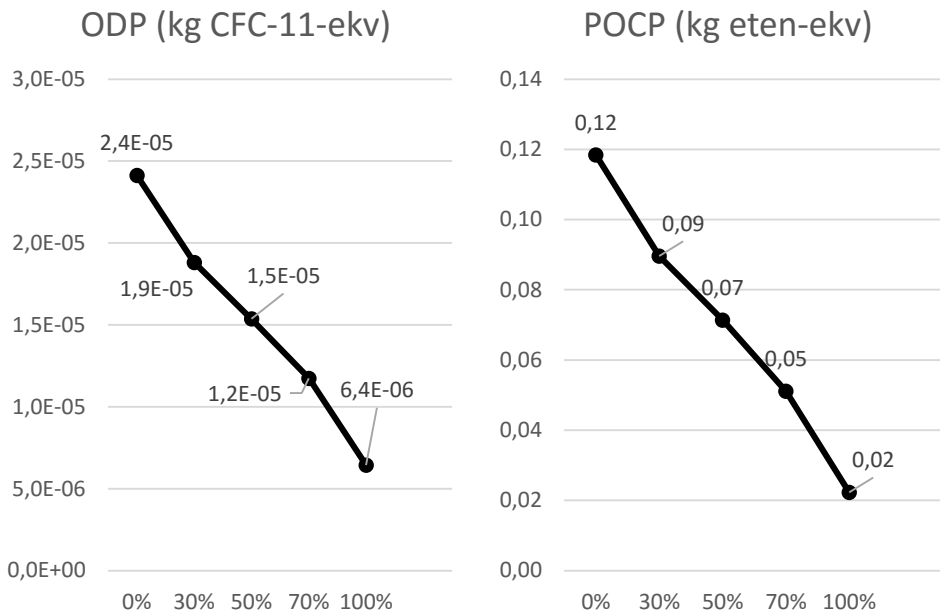
Figur 15: Känslighetsanalys för olika andelar aluminiumåtervinning för GWP och AP.

Global uppvärmningspotential (GWP) för 100 % är 36 % av GWP vid 0 % återvinning och försurning (AP) för samma fraktioner är 36 %.



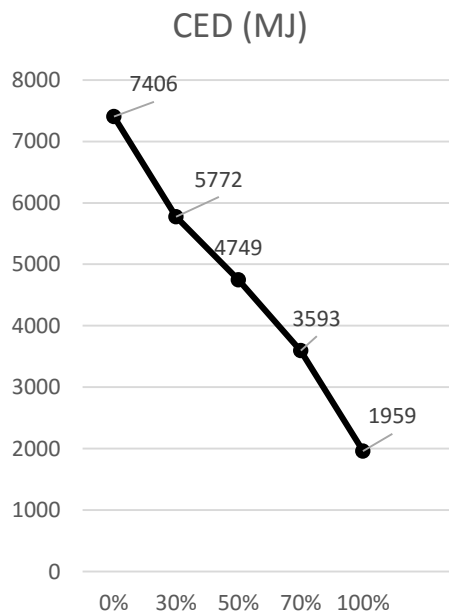
Figur 16: Känslighetsanalys för olika andelar aluminiumåtervinning för EP och HTP.

Övergödning (EP) för 100 % är 58 % av EP vid 0 % återvinning och mänsklig toxicitet (HTP) för samma fraktioner är 37 %.



Figur 17: Känslighetsanalys för olika andelar aluminiumåtervinning för ODP och POCP.

Ozonedbrytandepotential (ODP) för 100 % är 27 % av ODP vid 0 % återvinning och marknära ozon (POCP) för samma fraktioner är 19 %.

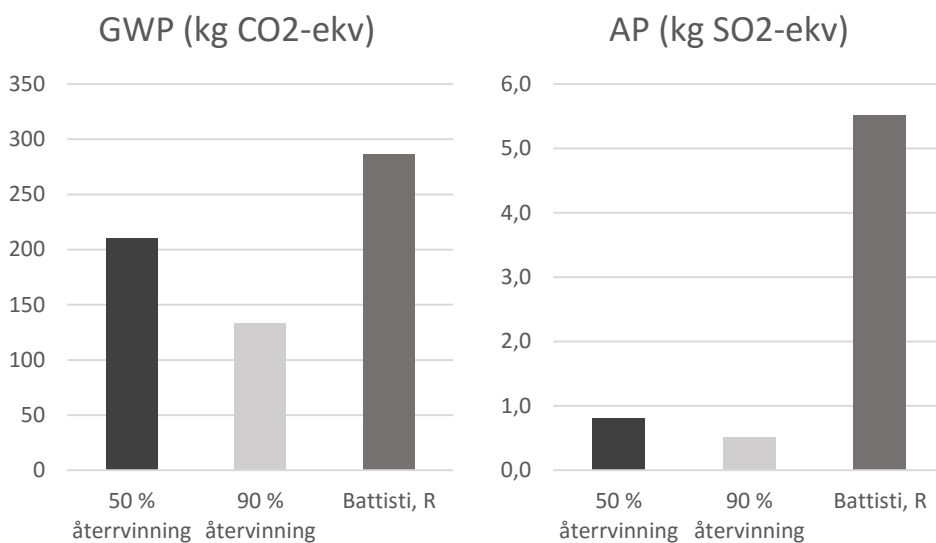


Figur 18: Känslighetsanalys för olika andelar aluminiumåtervinning för kumulativ energianvändning.

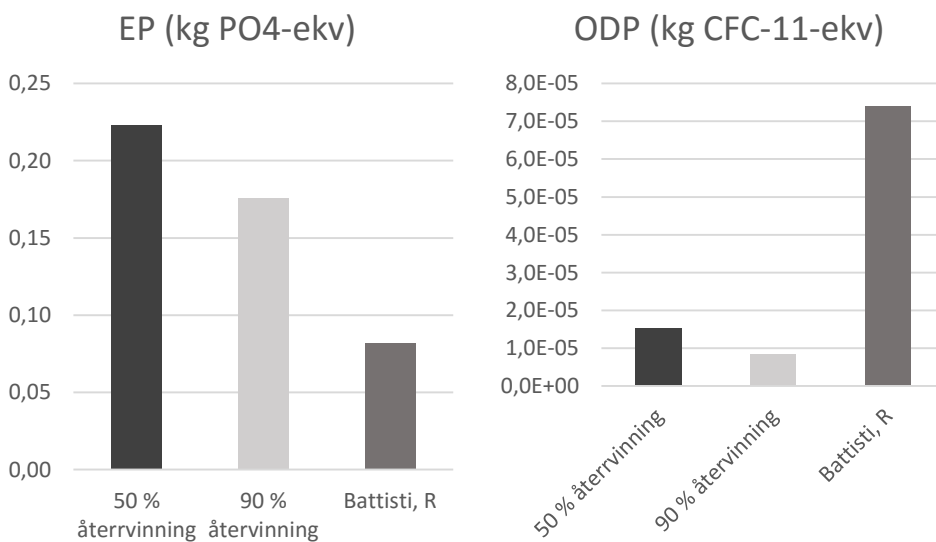
Kumulativ energianvändning (CED) för 100 % är 26 % av CED vid 0 % återvinning

Återvinningsgraden för Sapa group, där aluminiumet tillverkas, är 50 % globalt vilket gör att även en 50 % återvinning är intressant att studera, då detta även kan gälla för Sverige.

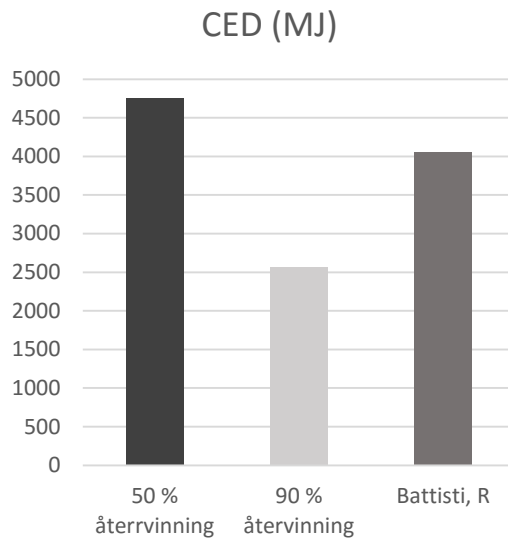
För att lättare illustrera skillnaderna mellan dessa 3 olika fallen, 50 % och 90 återvinning samt Battisti, R (2015) solfångare, så har resultaten illustrerats. De olika kategorierna ses i figurerna 19-21 nedan. Battisti, R (2015) har inte med POCP eller HTP så de har uteslutits.



Figur 19: GWP och AP för de tre olika fallen: 50 % och 90 % aluminiumåtervinning samt från Battisti, R (2005).



Figur 20: EP och ODP för de tre olika fallen: 50 % och 90 % aluminiumåtervinning samt från Battisti, R (2005).



Figur 21: Primär energiförbrukning för de tre olika fallen: 50 % och 90 % aluminiumåtervinning samt från Battisti, R (2005).

6 Diskussion

En livscykelanalys på en solfångare utvecklad av KISAB i Sverige har genomförts och jämförts med en studie gjord i Italien av Battisti, R (2005).

Den största miljöpåverkan i samtliga kategorier har sammanlagda produktionen och behandlingen av aluminiumet. Detta är förståeligt då solfångaren utgörs av 80 % aluminium samt att nyproduktionen av aluminium är en väldigt energikrävande process. Även om 90 % av aluminiumet är återvunnet, vilket är en väldigt energieffektiv process, så har den en stor påverkan. Då nyproduktionen använder mycket el så har även elmixen en betydande del i utsläppen. Detta gör att de nordiska länderna är en lämplig plats för aluminiumproduktion då de har en stor del förnyelsebar energi i elmixen.

Fräsning, svetsning och glykolen har negligerbara värden för alla kategorier. Polykarbonaten har varierande utsläpp, den har en stor påverkan på GWP, AP och POCP. Detta beror sannolikt på att den är gjord av olja som innehåller stora mängder svavel och som bildar marknära ozon vid förbränning.

Installation av solfångaren utgör en relativt stor andel av miljöpåverkan, speciellt ODP, detta beror huvudsakligen på transporterna. I beräkningarna utgår studien från att bilen är halvfull på ditvägen och tom på tillbakavägen med en vikt på 33 kg vilket avsevärt höjer tkm. Solfångaren transporteras också på en något mindre lastbil som inte är lika effektiv på att transportera gods långa distanser. Miljöpåverkan kan sänkas om transporten istället sker med etablerade transportfirmor som har fullare laster och eventuellt har gods för returresor i närheten. Det har en väsentlig betydelse eftersom transporten har en stor påverkan vid produktionen av ozonnedbrytande potential där den står för drygt 30 % av utsläppen.

För bearbetning och produktion av aluminium går det åt mycket vatten för kylning så resursåtgången kommer att domineras av vattenåtgång. Olja och naturgas används mycket för transport och produktion av polykarbonat samt polyeten.

Återbetalningstiden för primärenergi är mycket kort för solfångaren trots att den i huvudsak består av aluminium. En återbetalningstid på ett halvår är kort tid jämfört med Battisti, R (2005) vilket betyder att KISAB:s solfångare har en bra design. Återbetalningstiden är också avsevärt kortare än livslängden vilket innebär att solfångaren är energimässigt försvarbar. Inkluderingen av en pump är knappt märkbar, en pump på 27W som är på 42 % av året höjer endast återbetalningstiden med en halv dag. Men som nämnts innan så är siffrorna för energiproduktion inte testa för Solar Keymarks ännu och de kan ändras i framtiden.

Återbetalningstiden på CO₂-ekvivalenter är något högre och beroende på energislaget de ersätter. Den vanligaste uppvärmningsformen är elvärme, inkluderat värmepump, i Sverige och om solfångaren ersätter elvärmens så är återbetalningstiden på CO₂-ekvivalenter tre år. Biobränsle är ett något renare energislag och kommer därför att ha en längre återbetalningstid. Detta visar att energislaget som solfångare ersätter är viktigt ur ett miljöperspektiv, desto renare värmealternativ desto längre återbetalningstid blir det. Även här har en pump väldigt liten inverkan och ökar återbetalningstiden med mindre än 1 %.

KISAB:s solfångare är bra vid jämförelsen med Battisti, R (2005), den släpper ut mindre i alla kategorier förutom EP. KISAB:s utsläpp av GWP är 43 % av Battisti, R (2005), det låga utsläppet kan bero på att de använder en något lägre återvinnig, 80 % vs 90 %. De har också mer resursåtgång då absorbatoren måste rymma mer vätska och därmed behöver vara större.

Känslighetsanalysen visar att det kan skilja mycket i utsläpp beroende på vilken återvinningsfraktion som används. Utsläppen för 100 % återvinning var ofta 30 -40 % av utsläppen för 0 % återvinning. Det är därmed bra att vi i Sverige redan ligger i framkant för återvinning och planerar att öka den.

I framtida studier kan det vara intressant att använda nyare data då det kan ha skett effektiviseringar i produktionen av delsystemen. En uppföljning när KISAB:s solfångare är färdigtestad och i produktion är också av intresse. Det vore också bra med fler studier för att kunna göra en ingående analys av olika solfångare och deras design, förnuvarande finns det sparsamt med studier. Även en utökad känslighetsanalys kan ge en insikt i hur man ska effektivisera produktionskedjan.

7 Slutsats

Resultaten från studien visar att KISAB:s solfångare är ett bra alternativ att använda ur ett miljömässigt perspektiv. Solfångaren har något lägre utsläpp jämfört med en liknande solfångare i alla fall förutom övergödning. Solfångaren har också en låg energi återbetalningstid på 0,58 år och CO₂ återbetalningstiden är endast 3 år om den ersätter en eldriven värmepump.

8 Referenser

Anastaseloset, D. et al. 2011. Integrated evaluation of radiative heating systems for residential buildings. *Energy* 45.

Ardente, F. et al. 2005a. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy* 30, S. 1033.

Ardente, F. et al. 2005b. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy* 30, S. 1041.

Battisti, R. et al. 2005. Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage. *J. Clean prod.* 13.

Battisti, R. et al. 2005a. Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage. *J. Clean prod.* 13. S.1297

COSMOS. 2015. *COSMOS aluminum extruded alloys and tempers*. PDF tillgänglig: http://www.cosmosaluminium.gr/index.php/en/component/docman/doc_download/1-- [2015-06-13]

Ecospecifier, 2011. Polynum CLP Insulation Ltd – Polynum Insulation

EAA. 2008a. *Environmental profile report for the European Aluminium Industry: Lifecycle Inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe*. Brussels: European Aluminium Association. s.7

EarthShift, 2015. *Eco-indicator 95*. Tillgänglig: <http://www.earthshift.com/software/simapro/eco95> [2015-06-13]

Ecoinvent. 2015. *Ecoinvent*. Tillgänglig: <http://www.ecoinvent.ch/> [2015-06-13]

Edgar, G et al. 2001. Human toxicity potentials for life-cycle assessment and toxics release inventory risk screening. *Environmental toxicology and Chemistry V. 20 No. 4*.

Energiläget, 2013. Energiläget 2013. *ET* 2013:22.

European commission. 2015a. *LCA, Global Warming*. Tillgänglig: http://qpc.adm.slu.se/7_LCA/page_07.htm [2014-05-15]

European commission. 2015b. *LCA, Acidification*. Tillgänglig: http://qpc.adm.slu.se/7_LCA/page_10.htm [2014-05-15]

European commission. 2015c. *LCA, Eutrophication*. Tillgänglig: http://qpc.adm.slu.se/7_LCA/page_09.htm [2014-05-15]

Fjärrsyn, 2011. Energiklassning av Fjärrvärmecentraler. *Rapport 2011:10*. S. 11

Gode, J. et al. 2009. Miljövärdering av el ur systemperspektiv. *IVL Svenska Miljöinstitut*. S. 7

Höglund, J. Växthusgasemissioner för svensk pelletsproduktion. *IVL Svenska Miljöinstitutet*.

Ineos. 2015. *Sites*. Tillgänglig: <http://www.ineos.com/businesses/ineos-enterprises/sites/> [2015-06-13].

IPCC. 2015. *Direct Global Warming Potentials*. Tillgänglig: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html [2015-06-13].

ISO 14040. 2006a. *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. S. 7-8.

ISO 14044. 2006a. *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. S. 7-15.

ISO 14044. 2006b. *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. S. 16-23.

ISO 14047. 2012. *Environmental management – Life cycle assessment- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations*. S.4-9

Jönsson, Ola. 2015. Ola.jonsson@arlaplast.com (email). Arlaplast

Liu, G. & B. Müller, D. 2012. Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical review of life cycle assessments. *J. Clean prod.* 45

OpenLCA. 2015. *OpenLCA*. Tillgänglig: <http://www.openlca.org/> [2015-06-13].

Persson, L. 2015. lars@kisab.eu (email) och möten. Kristianstad Industri Service AB.

Sapa group. 2015. *The Design Manual*. Tillgänglig: <http://handboken.sapa-group.com/design-manual/appendix.aspx> [2015-06-13]

Sapa sustainability, 2013. Sapa sustainability report. Tillgänglig: <http://www.sapa-group.com/en/sustainability/> [2015-05-31].

Sopor. 2015. *Sopsortering sparar energi och naturresurser*. Tillgänglig: <http://www.sopor.nu/varfor-ska-jag-sortera/Spara-energi-och-resurser> [2015-06-14]

SP, 2015. *Kvalitetsmärkning av solfångare*. Tillgänglig: http://www.sp.se/sv/index/services/solar/p-marked_solar/Sidor/default.aspx [2015-06-13].

Toparla. 2015. MULTICLEAR ® BOX 2 Wall. Tillgänglig: <http://toparla.sk/produkt/dutinkove-dosky-pc/> [2015-06-15]

Transportpolicy. 2015. *EU: Heavy-duty: Emissions*. Tillgänglig:
<http://transportpolicy.net/index.php?title=EU: Heavy-duty: Emissions> [2015-06-13]

Uppvärmning i Sverige, 2012. Uppvärmning i Sverige 2012. *EL R2012:09*. S.12

Wahlström, Å. 2007. Procedures for Environmental Performance Assessment of Solar Thermal Systems. *SP Technical Research Institute of Sweden, WP 4,9*. S.7-8

Wiedland, 2015a. *ThermoReflekt Super Polynum*. Tillgänglig:
<http://www.wiedland.se/produkt/ThermoReflekt-A5-Super-Polynum---66-m2> [2015-05-31].

Wiedland, 2015b. *ThermoReflekt Super Polynum*. PDF tillgänglig:
<http://www.wiedland.se/produkt/ThermoReflekt-A5-Super-Polynum---66-m2> [2015-06-15].

Zambrana-Vasquez, D. et al. 2014a. Environmental assessment of domestic solar hot water systems: a case study in residential and hotel buildings. *Journal of Cleaner Production* 88. S. 33-34

Zambrana-Vasquez, D. et al. 2014b. Environmental assessment of domestic solar hot water systems: a case study in residential and hotel buildings. *Journal of Cleaner Production* 88. S. 34

Ziegel. 2015a. *Depletion of the stratospheric ozone layer*. Tillgänglig:
<http://www.ziegel.at/gbc-ziegelhandbuch/eng/umwelt/wirkkatodp.htm> [2015-06-13].

Ziegel. 2015b. Photochemical oxidant formation. Tillgänglig: www.ziegel.at/gbc-ziegelhandbuch/eng/umwelt/wirkkatvoc.htm [2015-06-13].