



Utveckling av innovativa koncept för konkurrenskraftig produktion av flytande biogas

Delrapport 6: Livscykelanalys (IVL)

Lisbeth Dahllöf och Jenny Everbring, IVL Svenska Miljöinstitutet

2018-03-27



Projektet har genomförts av IVL Svenska Miljöinstitutet, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Research Institutes of Sweden (RISE), Biogas Öst och Gasum

Rapporten återfinns även tillsammans med övriga delrapporter hos Biogas Öst på <http://biogasost.se/Publikationer/Rapporter/Details/2839>

Delrapport 6, livscykelanalys (LCA)

Sammanfattning

Denna delrapport redovisar miljöpåverkan från sju olika teknikersystem för polering och förvätskning av biogas till flytande biogas (LBG) där fyra stycken innehåller askfilter, som är en ny teknik som provas. Fem stycken är storskaliga och innehåller uppgradering med vattenskrubber eller aminskrubber där askfilter provas som alternativt poleringssteg och ett är en relativt ny kryogen teknik. Två stycken är småskaliga där askfiltret både fungerar som uppgradering och polering. Att använda aska är en ny metod som har tagits fram av forskningsinstitutet RISE och Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU. De tekniska aspekterna och ekonomiska beräkningarna finns i delrapporterna 2 och 5. Samtliga delrapporter finns att erhålla hos Biogas Öst. Metoden för miljöpåverkansbedömning var livscykelanalys (LCA) och fokus låg på teknikersystemens miljöpåverkan, men beräkningar visar att det är vid körning som den stora miljövinsten är jämfört med diesel eftersom biogen koldioxid släpps ut vid körning med LBG som bränsle. För småskalig produktion gjordes även en hot-spot-analys, det vill säga en studie gjordes där delsystemens miljöpåverkan jämfördes med varandra och i den inkluderades även distribution av LBG.

Miljöpåverkan från de olika teknikersystemen är liten och miljöskadekostnaden är enligt EPS 2015d (Steen, 2015) endast 0,030 – 0,065 Euro/kg flytande biogas (LBG) jämfört med priset som ligger mellan 1,4 och 1,6 Euro/kg LBG. Även jämfört med miljöklass 1 (MK1)-diesel är miljöskadekostnaden mycket liten, cirka en tiopotens lägre eller mer räknat per MJ bränsle. För växthusgaser är emissionerna cirka 80 procent lägre än för produktion av MK1-diesel. Om teknikersystemen skulle ligga i ett hypotetiskt europeiskt land där medel-europisk elmix används, skulle miljöskadekostnaden vara drygt 5 gånger så hög som i Sverige, men totalt sett, inkluderande förbränning av bränslet, är LBG ändå att föredra växthusgasmässigt jämfört med diesel.

Den teknikkedja som förbrukar minst värme och el, men gärna producerar värme, som används av andra processer samt minimerat metanemissionerna är att föredra. Den större mängd transporter som krävs för de småskaliga teknikkedjorna på grund av större mängd använd aska per kg LBG bidrar till ökad miljöpåverkan. Å andra sidan ger de småskaliga processerna upphov till lägre metanemissioner än de storskaliga enligt beräkningar inom detta projekt, varför de ger upphov till ungefär samma storlek på miljöpåverkan som de storskaliga systemen. Används aktivt kol, som i processerna med aminskrubber, bör det om möjligt vara baserat på träkol. Teknikkedjorna med askfilter är miljömässigt i klass med övriga.

Förkortningar

Förkortning	Förklaring
CO	Koloxid
CO ₂	Koldioxid
DCB	1,4-diklorbensen
EPS	Environmental Priority Strategies
HCl	Saltsyra
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil (hydrerad vegetabilisk olja)
LBG	Liquefied Biogas (flytande biogas)
LCA	Livscykelanalys
NH ₃	Ammoniak
NMVOG	Non Methane Volatile Organic Compounds (flyktiga organiska ämnen utom metan)
NO	Kväveoxid
NO ₂	Kvävedioxid
SO ₂	Svaveldioxid
SO ₃	Svaveltrioxid
VOC	Volatile Organic Compounds (flyktiga organiska ämnen)

Innehåll

Utveckling av innovativa koncept för konkurrenskraftig produktion av flytande biogas.....	1
Sammanfattning.....	3
Förkortningar	4
1 Inledning	6
2 Mål och omfattning av studien	7
2.1 Produktsystemen.....	7
2.2 Systemens funktion och funktionell enhet	9
2.3 Systemgränser.....	10
2.4 Datakrav, krav på datakvalitet, antaganden och begränsningar	10
2.5 Allokering	11
2.6 Metodiken för miljöpåverkansbedömning och tolkning.....	12
3 Inventering.....	13
4 Miljöpåverkansbedömning.....	16
4.1 Bidrag till klimatförändring.....	16
4.2 Bidrag till försurning.....	18
4.3 Bidrag till övergödning.....	19
4.4 Bidrag till bildning av fotokemiska oxidanter	20
4.5 Bidrag till toxiska hälsoeffekter	21
4.6 Viktning enligt EPS	22
4.7 Känslighetsanalys - jämförelse med europeiska förhållanden	23
4.8 Hot-spot-analys.....	24
5. Total minskning av växthusgaser med LBG jämfört med diesel	25
6. Diskussion om metodval och osäkerheter.....	25
7. Tolkning och slutsatser	27
5 Referenser	29
Livscykelanalys (LCA) - en beskrivning	31
Mål och omfattning.....	32
Inventering.....	33
Miljöpåverkansbedömning	33
Tolkning	34

1 Inledning

Denna rapport är en delrapport i projektet Utveckling av innovativa koncept för konkurrenskraftig produktion av flytande biogas (LBG). Här utreds miljökonsekvenserna av de olika teknikkedjor som analyserats och som rapporteras i delrapporterna 2 och 5. För storskaliga anläggningar provas askfilter för polering och för småskaliga används det både för uppgradering och polering. Att använda askfilter för polering är en teknik som tas fram av forskningsinstitutet RISE och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU).

För att räkna på miljöpåverkan av de olika tekniska lösningarna för flytande biogas (LBG)-produktion, utfördes livscykelanalys (LCA). Det är en systemanalys där man jämför miljöprestanda för olika lösningar till samma funktion. Här jämfördes systemlösningarna för produktion av 1 kg LBG. Se bilaga 1 för mer information om LCA utfört enligt ISO 14040 (2006) och ISO 14044 (2006), som tillämpades.

2 Mål och omfattning av studien

Målet med studien var att få en bild av den miljöpåverkan som de olika teknikkedjorna för uppgradering och förvätskning till LBG ger upphov till och hur den nya tekniken med askfilter står sig i förhållande till de mer etablerade. En jämförelse med det bränsle som normalt används för långväga lastbilstransporter i Sverige gjordes också: diesel med miljöklass 1, MK1.

De tänkta mottagarna av denna studie är beslutsfattare i den offentliga och privata sektorn samt forskare inom området.

Omfattningen beskrivs nedan.

2.1 Produktsystemen

Produktsystemen är samma som för de ekonomiska beräkningarna redovisade i delrapport 2 och 5, se Tabell 1 och figurerna 1–6. Det gäller alltså teknikkedjan avsvavling, torkning, uppgradering, polering förvätskning och lagring av rågasen till LBG.

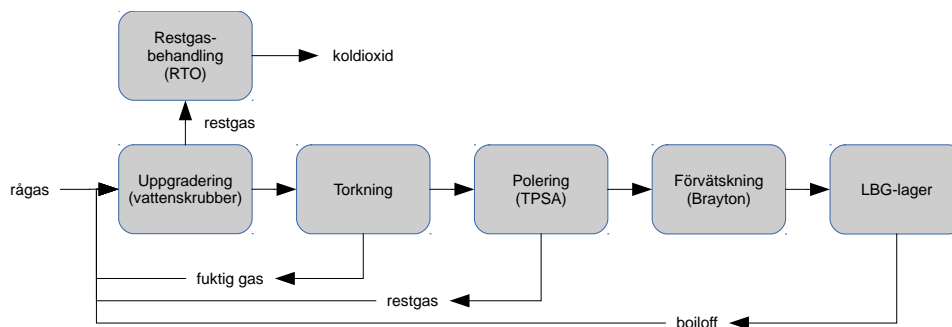
TABELL 1. TEKNIKEDJOR SOM LCA-STUDIEN OMFATTAR

Nr	Teknikkedja
1	Gasuppgradering med vattenskrubber (VS) □ □ polering med TPSA □ □ förvätskning med Brayton-cykel
2	Som 1, men med askfilter som poleringssteg (VS+aska)
3	Gasuppgradering med optimerad aminskrubber (Amin) □ □ förvätskning med MRC (Wärtsilä)
4	Gasuppgradering med enkel aminskrubber och askfilter (Amin+aska) □ □ polering med askfilter □ □ förvätskning med MRC
5	Integrerad kryogen uppgradering och förvätskning (Kryogen)

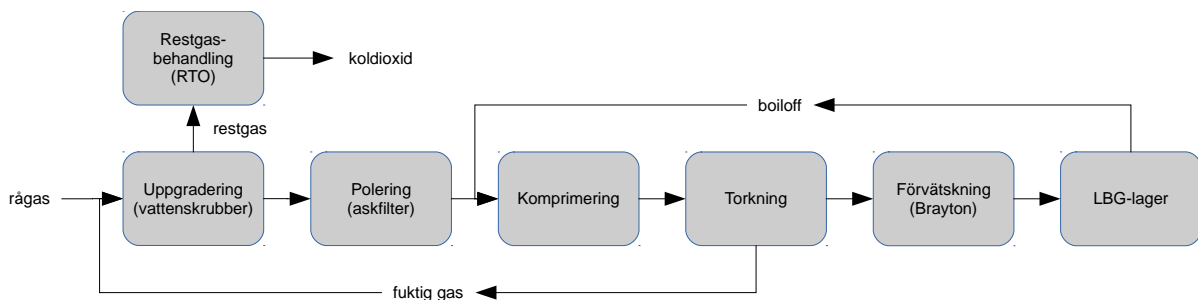
□ □ trycksänkning med filtrering av torriskraller (Cryopur)

6 Småskaligt askfilter (1 GWh), förvätskning med Stirling-process (1 GWh aska)

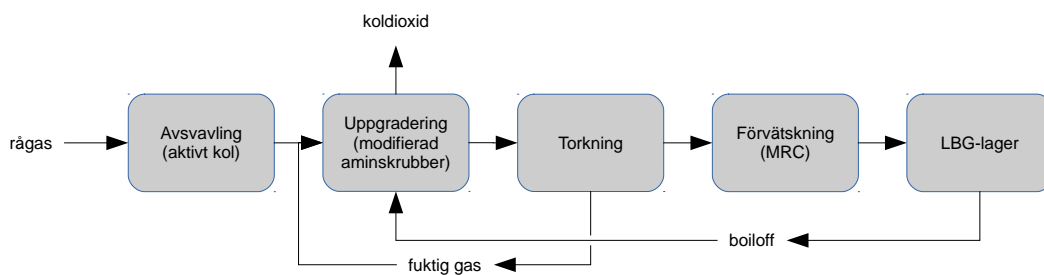
7 Småskaligt askfilter (2 GWh) förvätskning med Stirling-process (2 GWh aska)



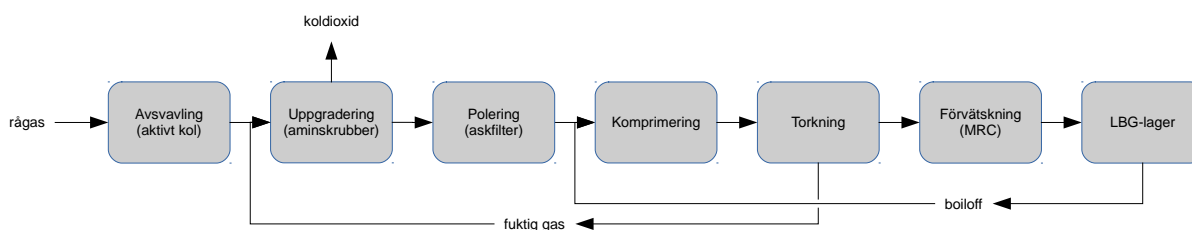
FIGUR 1. TEKNIKKEDJA 1: GASUPPGRADERING MED VATTENSKRUBBER (VS)



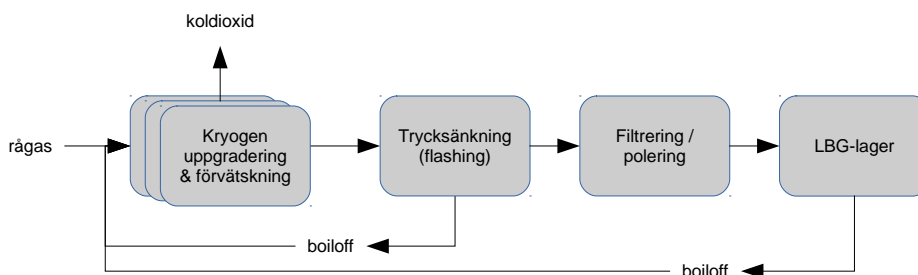
FIGUR 2. TEKNIKKEDJA 2: VATTENSKRUBBER MED ASKFILTER (VS+ASKA)



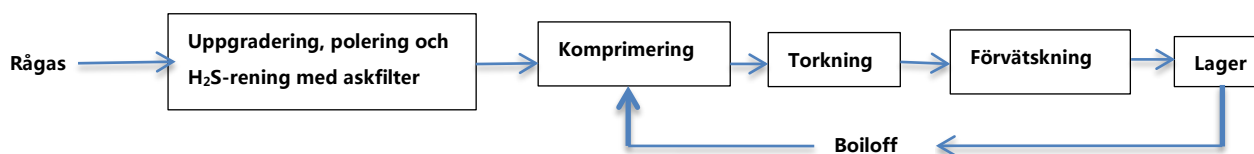
FIGUR 3. TEKNIKKEDJA 3: GASUPPGRADERING MED OPTIMERAD AMINSKRUBBER (AMIN)



FIGUR 4. TEKNIKKEDJA 4: GASUPPGRADERING MED ENKEL AMINSKRUBBER OCH ASKFILTER FÖR POLERING



FIGUR 5. TEKNIKKEDJA 5: GASUPPGRADERING MED INTEGRERAD KRYOGEN UPPGRADERING OCH FÖRVÄTSKNING (KRYOGEN)



FIGUR 6. TEKNIKKEDJA 6 OCH 7. SMÅSKALIG GASUPPGRADERING MED ASKFILTER (1GWH ASKA RESPEKTIVE 2 GWH ASKA)

2.2 Systemens funktion och funktionell enhet

Funktionen är att uppgradera och polera rågas som bildats vid rötning av gödsel, samt förvätska biogasen till LBG.

Den funktionella enheten är att producera 1 kg LBG från rötad gas (rågas från rötning).

2.3 Systemgränser

Tekniska systemgränser

Endast själva teknikkedjorna för uppgraderingen och förvätskningen är medtagna i jämförelsen. För askfilterfallen inkluderas även transport av askan till, från och inom anläggningen. Resonemanget att inte ta med produktionen av biogas var att den är samma för alla system. Dess data varierar också stort beroende på råvaran och hur studien utförts. Vissa studier visar på negativ miljöpåverkan och andra positiv för produktion av biogas, se till exempel data i F3 (2013). Man kan därmed också uttrycka sig som att biogasproduktion är medtaget, med antagande att miljöpåverkan från den är 0. Troligast är att rötgas från gödsel, som antagits här är positivt för miljön, se till exempel Tufvesson et al (2013). Som kapitel 6 beskriver, så är förlusten av metan 1,3 % av ingående metan i rågasen för systemen med vattenskrubber och mycket lägre för de andra systemen. Detta faktum visade sig dock inte påverka studiens slutsatser.

Transport, 150 km, till tankstation är medtaget för hot-spot-analysen av en småskalig teknikkedja, alltså en analys av de olika stegens miljömässiga betydelse.

Anläggningarna är tänkta att vara i Sverige, men i känslighetsanalysen testades även hur miljöpåverkan skulle blivit för medeleuropeiska förhållanden. För viktningen, som innebär att man jämför alla typer av miljöpåverkan, är den tidsmässiga systemgränsen oändligt långt i framtiden, eftersom hållbar utveckling förutsätter att kommande generationer ska ha samma möjlighet att tillfredsställa sina behov som vi.

Systemgränsen till naturen var användande av resurser från naturen och emissioner till luft, vatten och mark.

Geografisk systemgräns var produktion i Sverige. I känslighetsanalysen testades produktion i ett europeiskt land med europeisk medel-elmix.

2.4 Datakrav, krav på datakvalitet, antaganden och begränsningar

Data för storskaliga anläggningar var beräknade för ett rågasflöde på 600 Nm³/h för 31 GWh produktion/år och data för småskaliga gäller ett rågasflöde av 19,1 Nm³/h för 1 GWh/år respektive 38,8 Nm³/h för 2 GWh/år. Rågasen antogs innehålla 60 vol % metan och 40 vol % koldioxid plus 100 ppm divätesulfid och 54000 ppm vatten. Tillverkad LBG ut från processerna innehåller 100 vol % metan, 50 ppm koldioxid, 1 ppm divätesulfid och 0,5 ppm vatten.

Aktuella data användes och om inte exakt representativa data fanns i databasen för kemikalier, approximerades dessa med liknande ämnen. Skumdämparens miljöpåverkan har antagits vara

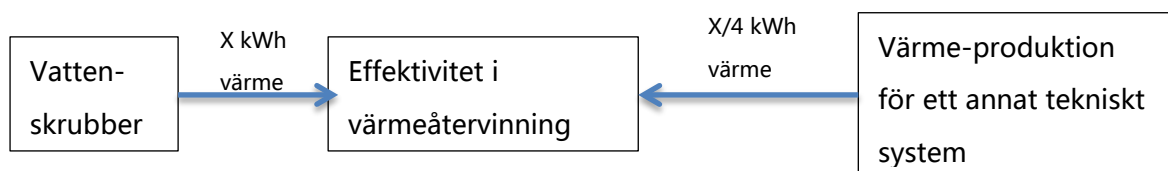
obetydlig. Detta gäller även skillnaden i miljöpåverkan av investeringarna, såsom apparaturen, för de olika systemlösningarna. Därför inkluderades de inte i beräkningarna.

Koldioxid som emitteras från anläggningarna är biogen, eftersom den kommer från gasen, som bildats från gödsel som är biogent, det vill säga kommer från det biologiska systemet. Det ingår i det biologiska kretsloppet. Därför är miljöpåverkan från CO₂ satt till 0. Askans CO₂-upptag, som utnyttjas i reningssystemen med aska skulle ändå skett i naturen där den hamnar efter användandet i uppgraderingsanläggningen. Dessutom är koldioxiden som absorberas biogen. Därför sattes dess miljöpåverkan i anläggningarna till noll. Däremot inkluderades transporterna. Data hämtades ur LCA-programmet GaBi från thinkstep.

2.5 Allokering

För värme som bildas har ekonomisk allokering gjorts på samma sätt som för de ekonomiska beräkningarna i delrapport 5. Som exempel, om temperaturen på värmen som bildas bara har en temperatur på 45 °C, räknades det med att endast 25 % av värmen kunde användas, som en approximation för de begränsade användningsområden som finns för lågtemperaturvärme. Systemexpansion tillämpades för den värme som ändå kan återvinnas. Det betyder att i analysen fick det analyserade systemet tillgodoräkna sig att ett angränsande system, som använder värmen producerat i uppgraderingsanläggningen, sluppit använda värme producerat på annat sätt.

I Figur 7 illustreras exemplet med systemexpansion.



FIGUR 7. SYSTEMEXPANSION FÖR ERHÅLLEN LÅGGRADIG VÄRME I VATTENSKRUBBERN DÄR DET STUDERADE SYSTEMET FÅR TILLGODORÄKNA SIG 25 % AV VÄRMEN, SOM ANTAS KUNNA ANVÄNDAS I ETT ANNAT TEKNISKT SYSTEM,

För det aktiva kolet inkluderades avfallsförbränning efter användning, dock utan värmeåtervinning.

2.6 Metodiken för miljöpåverkansbedömning och tolkning

Miljöpåverkan mättes som potentialer för följande miljöpåverkanskategorier:

Klimatförändring, försurning, eutrofiering (övergödning), bildning av fotokemiska oxidanter samt toxiska hälsoeffekter (exklusive effekter i arbetsmiljö). Metodiken var enligt CML 2001, version april 2016 (Guinée 2002).

För att få en bild av hur resultaten för de olika kategorierna förhåller sig till varandra, kan man vikta ihop resultatet från inventeringen. Här valdes viktningsmetoden EPS 2015d exklusive påverkan från sekundär partikelbildning (Steen 2015). Denna metod är monetär och är beräknad som miljöskadestkostnad i form av hur mycket en OECD-invånare är beredd att betala för att undvika eller läka miljöskadan. Här valdes att exkludera påverkan från sekundär partikelbildning eftersom data för detta är mycket osäkra. Observera att miljöskadestkostnaden är en summering av de kända miljöskadornas kostnader för dagens människor plus alla kommande i många generationer framåt. Det går därför inte att exakt jämföra med dagens ekonomiska system, men däremot ger miljöskadestkostnaden en kompassriktning för hållbar utveckling.

Tolkningen gjordes som en sammanvägning av de olika bedömningarna.

3 Inventering

Data för gas- och energiflöden genom systemen hämtades ur den ekonomiska systemanalysen, samt ur programmet GaBi från thinkstep. Massflödet av metan beräknades genom att använda värdet 0,714 kg/Nm³ för densiteten. Kylvatten antogs komma direkt från naturen och därefter släppas ut till naturen igen varför ingen miljöpåverkande aktivitet eller utarmning av vattenresurser har medräknats.

I Tabell 2 finns information om de inventeringsdata (LCI-data) som användes i LCA-programmet GaBi där miljöpåverkan beräknades.

TABELL 2. INFORMATION OM LIVSCYKELINVENTERINGS- (LCI) DATA SOM ANVÄNTS

Dataset	Metadata*
Aktivt kol	Från Ecoinvent 3.3, globala data. Data är för aktivt kol från stenkol.
Diesel	Dieselmix vid tankstation för ett medel-EU-land, data från thinkstep
Diesel miljöklass 1 i Sverige (MK1)	Sammansättningen hämtades ur Statens energimyndighet (2016), beräknades med hjälp av JRC (2014), F3 (2018) och modellerades i GaBi. Sammansättningen räknades ut till 80 vikt % fossil diesel, 15 % HVO och 5 % raps-metylester (biodiesel)
Dieselförbränning	Enligt förbränning i en dieselmotor av Euro 5-klass (F3, 2013).
Europeisk elmix	Data för EU-28 från thinkstep. 27 % kärnkraft, 16 % naturgas, 16 % stenkol, 12 % vattenkraft + övriga energislag
Europeisk värmeproduktion från pellets	Data för europeisk värmeproduktion från pellets enligt thinkstep, max 14,9 kW. (Önskade data var för 350 kW effekt, men sådana data fanns inte att tillgå.)
Hydrerad vegetabilisk olja (HVO)	Data för HVO från frityrolja från F3 (2018)
Förbränning av inaktiverat kol	Endast CO ₂ -utsläpp och beräknat utifrån innehållet av kol i aktivt kol.
Lastbil för transport småskaligt producerad till tankstation	Full lastbil med emissionsklass Euro 6, 14–20 ton bruttovikt, 8 ton nyttolast. 150 km avstånd. Data från thinkstep.
Metyldietanolamin (MDEA)	Approximerades med hexametylendiamin producerad i Tyskland, data från thinkstep.
Biodiesel baserad på raps-metylester	Data för europeisk medelproduktion (EU-28) från thinkstep.
Svensk elmix	Från thinkstep: 40,2 % vattenkraft, 43,4 % kärnkraft + övriga energislag.

**Svensk
värmeproduktion
från pellets**

Data för europeisk värmeproduktion från thinkstep, max 14,9 kW, från pellets modifierades för svenska förhållanden enligt data från Hansson et al (2015) och Jonas Höglund (IVL, 200X). Det vill säga att CO₂-emissionerna minskades till 45 % av de europeiska och blev därför 14 g/kWh erhållen värme. Normalt har pannorna för konventionell produktion en effekt på ca 350 kW, men specifik data för detta fanns inte att tillgå.

*alla livscykelinventerings- (LCI) data som inkluderats från thinkstep är tredjepartsgranskade.

Vid uppgraderingen och poleringen renas gasen från biogen koldioxid och svavelväte. Koldioxiden har ingen miljöpåverkan i denna studie eftersom den är biogen och svavelväte tas omhand i det tekniska systemet och antas därför inte påverka miljön. Det som påverkar är produktionen av el och värme liksom biogena metanutsläpp till atmosfären. Metanförluster i den storskaliga vattenskrubbern är i denna studie 1,3 % av inkommande metan, men tack vare uppgradering släpps bara 10 % av denna metan till atmosfären. Totala metanemissionerna från systemen ligger mellan 0,06 vikt % av ingående metan för de småskaliga (nr 6 och 7) och 0,2 % för den storskaliga kryogena processen (nr 5 i Tabell 1.)

De viktigaste flödena för de storskaliga tekniska systemen finns redovisade i Tabell 3.

TABELL 3. DE VIKTIGASTE FLÖDEN. SE TABELL 1 FÖR BESKRIVNING AV TEKNIKEDJORNA.

Inventering (kg/kg LBG)	Nr 1: VS	Nr 2: VS+aska	Nr 3: Amin	Nr 4: Amin+aska	Nr 5: Kryogen
Resurser					
Råolja	0,001948	0,003010	0,008265	0,005881	0,002208
Stenkol	0,003846	0,004128	0,012303	0,010618	0,009041
Lignit	0,000026	0,000304	0,006405	0,004166	0,000428
Naturgas	0,002701	0,002883	0,003613	0,003033	0,002775
Torv	0,003804	0,003881	0,002751	0,002710	0,003858
Uran (elementärt)	0,000013	0,000013	0,000009	0,000009	0,000013
Koppar (elementärt)	0,000050	0,000053	0,000083	0,000065	0,000052
Molybden (elementärt)	0,000001	0,000002	0,000002	0,000002	0,000002
Emissioner till luft					
CO ₂ (exkl från flyg, landanvändning, torvoxidation, biotisk)	0,058005	0,062447	0,076286	0,068548	0,072835
NO ₂	0,000000	0,000001	0,000004	0,000003	0,000001
NO	0,000001	0,000001	0,000017	0,000011	0,000001
SO ₂	0,000068	0,000074	0,000171	0,000144	0,000120
SO ₃	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

NMVOC	0,000027	0,000031	0,000045	0,000036	0,000030
Metan	0,001436	0,001373	0,001332	0,001308	0,002125
Partiklar	0,000004	0,000010	0,000141	0,000098	0,000028

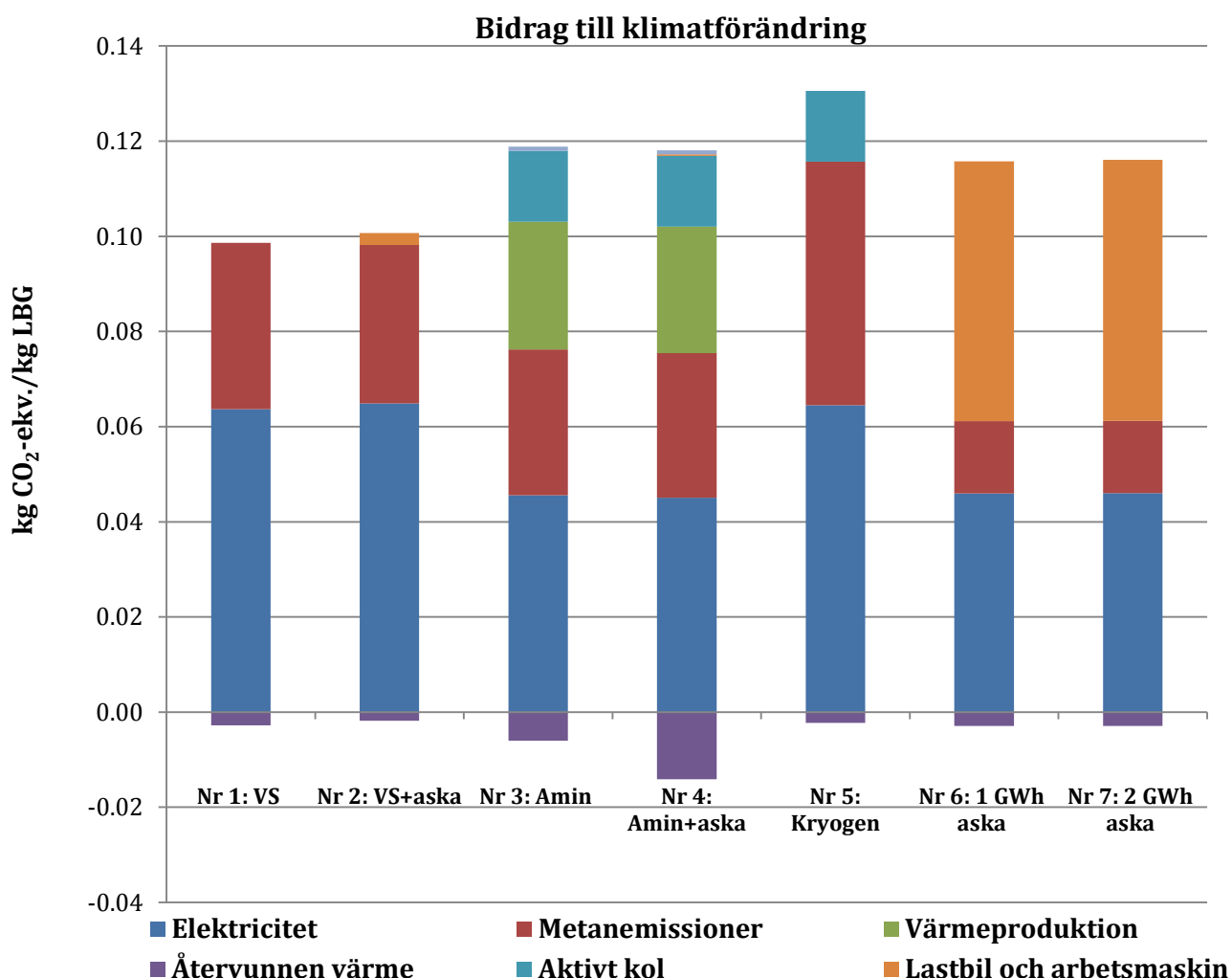
För 11 av de 16 flödena har system nr 3: Amin de högsta värdena men det är dock högre osäkerhet i systemen med amin, eftersom de inkluderar värmeproduktion, vars data hade hög osäkerhet eftersom de europeiska data modifierats för att bättre motsvara svenska förhållanden.

4 Miljöpåverkansbedömning

Nedan redovisas miljöpåverkanspotential för de utvalda miljöpåverkanskategorierna. De är beräknade per kg LBG. Jämförelse gjordes med MK1-diesel använd i Sverige. Det gick att jämföra dem 1:1 energimässigt, eftersom de ger samma energimässiga verkningsgrad i en dieselmotor för Euro 6 enligt Volvo Group (Mårtensson (2018)). För beräkningarna användes värden för energiinnehåll: 50 MJ/kg LBG och 43,3 MJ/kg diesel.

4.1 Bidrag till klimatförändring

I Figur 8. Potentiellt bidrag till klimatpåverkan mätt i kg CO₂-ekvivalenter/kg LBG mätt i kg CO₂-ekvivalenter/kg LBG



FIGUR 8. POTENTIellt BIDRAG TILL KLIMATPÅVERKAN MÄTT I KG CO₂-EKVIVALENTER/KG LBG

Det är ingen större skillnad mellan systemen totalt sett men det är olika faktorer som bidrar olika mycket. Elanvändningen påverkar dock relativt mycket för alla system.

Växthusgasemissionerna från elanvändningen för alla teknikkedjor redovisas i storleksordning i Tabell 4

TABELL 4. VÄXTHUSGASER FRÅN ELANVÄNDNING SORTERAT PÅ MÄNGD OCH TEKNIK

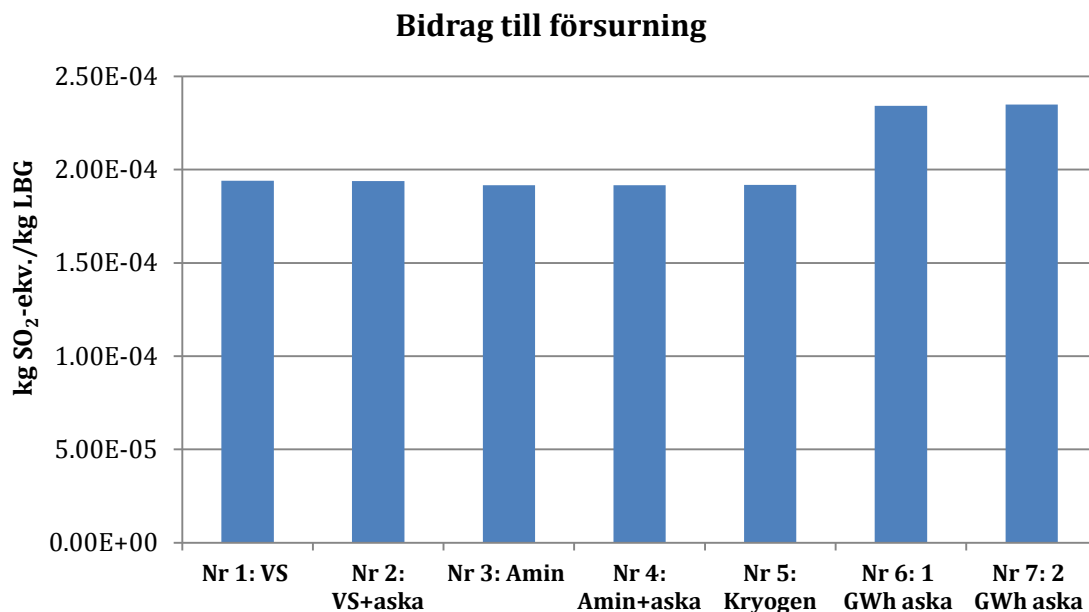
	Växthusgaser från elanvändning (kg CO ₂ -ekv /kg LBG)
Nr 2: VS+aska	0,0649
Nr 5: Kryogen	0,0645
Nr 1: VS	0,0636
Nr 7: 2 GWh aska	0,0460
Nr 6: 1 GWh aska	0,0460
Nr 3: Amin	0,0456
Nr 4: Amin+aska	0,0450

Som en jämförelse släpper produktionen av diesel MK1 använd i Sverige, ut 12 g koldioxidkvivalenter/MJ enligt beräkningar gjorda med data från Statens energimyndighet (2016), GaBi, F3 (2018) och JRC (2014). Utsläppen för den teknik som ger upphov till störst emissioner av växthusgaser, det kryogena, beräknades till 2,6 g koldioxidkvivalenter/MJ. MK1-diesel släpper alltså ut minst 4,9 gånger den mängd som släpps ut i LBG-teknikkedjorna räknat per MJ bränsle.

I rapporten F3 (2016) finns en jämförelse mellan system med vattenskrubber respektive amin. Där rapporteras högre koldioxidutsläpp från vattenskrubbersystemet, cirka 3,7 g koldioxidkvivalenter/MJ jämfört med cirka 1,2 g för aminsystemet för en anläggning på 100 GWh/år. I denna studie var utsläppen 1,9 g koldioxidkvivalenter/kg LBG för vattenskrubbern och 2,2 g koldioxidkvivalenter/kg LBG för aminsystemet, alltså skillnaden mellan systemen är mindre i denna studie och dessutom visar denna studie på högre växthusgasutsläpp från aminskrubbern istället för vattenskrubbern. Skillnaden i resultat beror antagligen på att troligtvis ingen restgasbehandling (RTO) av metanförlusten från vattenskrubbern, där metanet oxideras till koldioxid, räknats med i den rapporten. Dessutom kan data för utsläpp från värmeproduktion för aminsystemet varit högre i denna studie.

4.2 Bidrag till försurning

I Figur 9 redovisas potentiella bidraget till försurning. Det gäller framförallt utsläpp av SO₂, NO_x, HCl och NH₃.



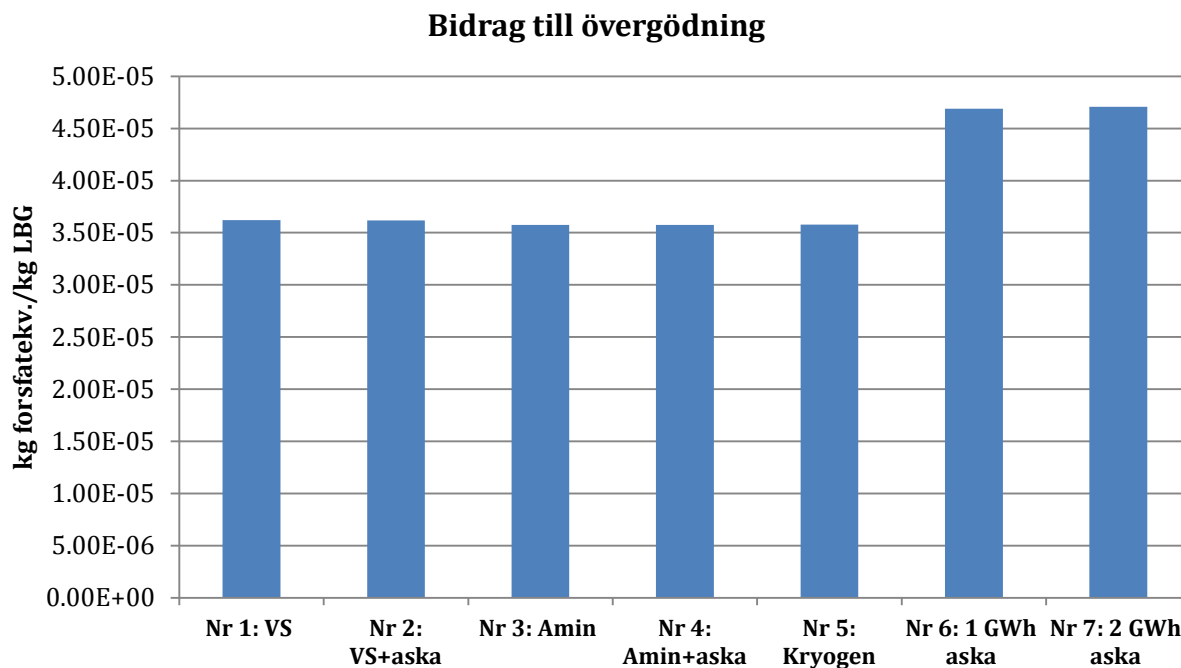
FIGUR 9. FÖRSURNINGSPOTENTIAL MÄTT I KG SO₂-EKVIVALENTER/KG LBG

Systemen är ganska lika vad gäller försurningspotential. Något högre tycks de småskaliga (1 och 2 GWh) vara beroende på transport av aska där det är fler transporter än för konventionella system.

Som jämförelse förorsakar produktionen av MK1-diesel högre potentiellt bidrag till försurning, ca 0,0022 kg SO₂/kg MK1-diesel, vilket motsvarar minst 11 ggr försurningspotentialen för förvätskningen av LBG räknat per MJ bränsle.

4.3 Bidrag till övergödning

I Figur 10 redovisas potentiella bidraget till övergödning (=eutrofieringspotentialen). Det gäller framförallt utsläpp av kväveoxider och fosfor.



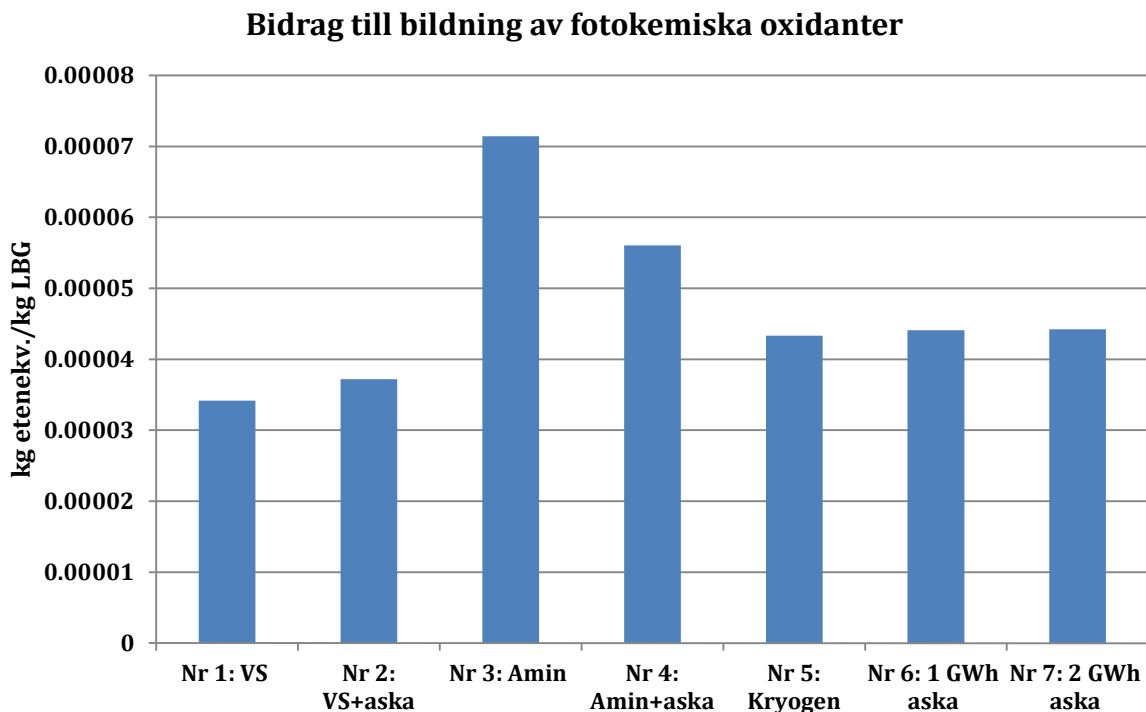
FIGUR 10. EUTROFIERINGSPOTENTIAL MÄTT I KG FOSFATEKVIVALENTER/KG LBG

Även här är det ingen större skillnad i resultat. De något högre staplarna för de småskaliga systemen 6 och 7 är på grund av transporten av aska.

För produktion av MK1-diesel är värdet 4,1 E-04 kg fosfatekvivalenter/kg MK1-diesel, vilket motsvarar minst 9,9 gånger övergödningspotentialen för förvätskningen av LBG räknat per MJ.

4.4 Bidrag till bildning av fotokemiska oxidanter

I Figur 11 visas potentialen för bildning av fotokemiska marknära oxidanter. Det är mest kolväten, och i viss mån SO₂ och CO som bidrar till den.



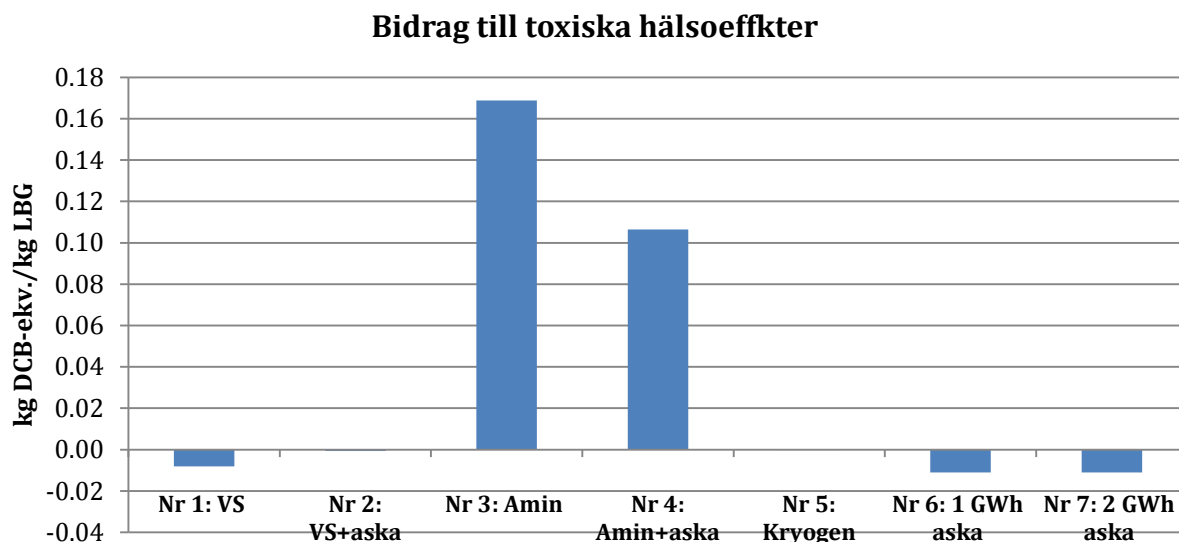
FIGUR 11. POTENTIAL FÖR BILDNING AV FOTOKEMISKA OXIDANTER MÄTT I KG ETENEKVIVALENER/KG LBG

Teknikkedjorna innehållandeaminskrubber har något högre potential för bildning av marknära ozon vilket beror på behovet av värme som här antagits vara värme från förbränning av pellets.

För MK1-diesel är värdet 0,00028 kg etenekvivalent/ kg MK1-diesel enligt data i Gabi, vilket är 4,5 gånger potentiella bildningen av fotokemiska oxidanter från teknikkedjan med mest utsläpp, nr 3: amin-MR räknat per MJ bränsle.

4.5 Bidrag till toxiska hälsoeffekter

I Figur 12 visas potentialen för toxiska hälsoeffekter mätt i diklorbensenekvivalenter (DCB-ekv.). Det är till största delen aromatiska kolväten som bidrar till den i dessa fall.



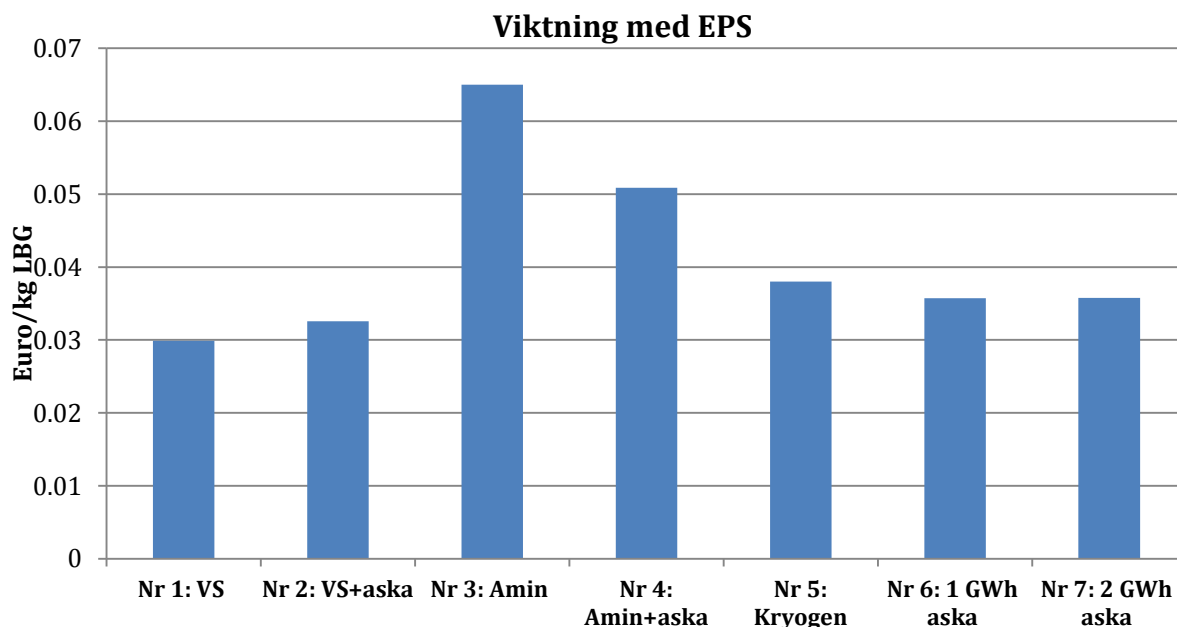
FIGUR 12. POTENTIAL FÖR TOXISKA HÄLSOEFFEKTER MÄTT I KG DCB-EKVIVALENTER/KG LBG

Även här beror de högre värdena för varianterna med aminskrubber till stor del på värmeförseln. Att övriga är negativa beror på att värmeproduktion undviks, här i form av värme från pelletseldning, tack vare att värme produceras i systemen, men ingen värme tillförs dessa system.

För MK1-diesel i Sverige är värdet 0,080 kg DCB-ekvivalenter/kg MK1-diesel enligt data från thinkstep vilket är 0,55 gånger det värde som den teknikkedja nr 3: Amin per MJ bränsle. För teknikkedjorna 1,2,5,6 och 7 är potentiella toxiska hälsopåverkan från MK1-diesel-produktion högre.

4.6 Viktning enligt EPS

Med viktning enligt EPS erhålls en totalbild av miljöskadekostnaden. I Figur 13 visas viktning enligt EPS utan påverkan från indirekt partikelbildning. Data för den indirekta partikelbildningen är mycket osäkra och tas därför inte med här.



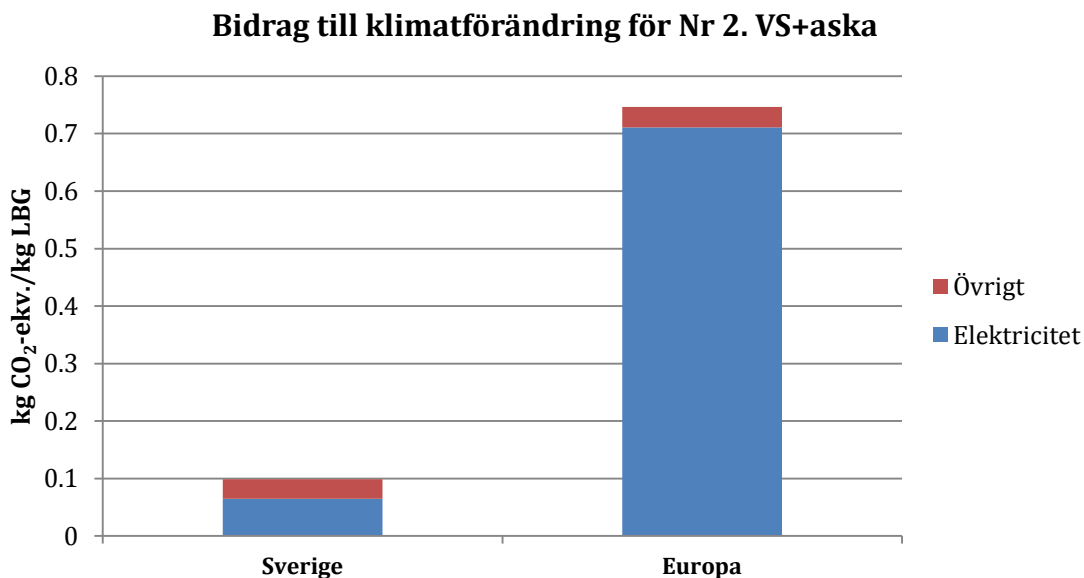
FIGUR 13. EPS 2015D UTAN INDIREKT PARTIKELBILDNING

Systemen med amin ger högre miljöskadekostnad än övriga. Orsaken är att 21 % av värdet för nr 3, amin beror av partikelbildning, som till största delen beror av partikelemissioner från värmeproduktion från förbränning av pellets. Resursförbrukning är en stor andel av totalen, eftersom EPS-beräkningarna bygger på att kommande generationer ska ha samma tillgång till alla typer av abiotiska resurser som nuvarande. För exempelvis den kryogena processen står resurserna för ca 48 % av den totala påverkan. Alla system ger upphov till låga miljöskadekostnader 0,030 och 0,065 Euro/kg LBG vid jämförelse med priset på LBG, som är cirka 1,4-1,6 Euro/kg enligt den ekonomiska analysen.

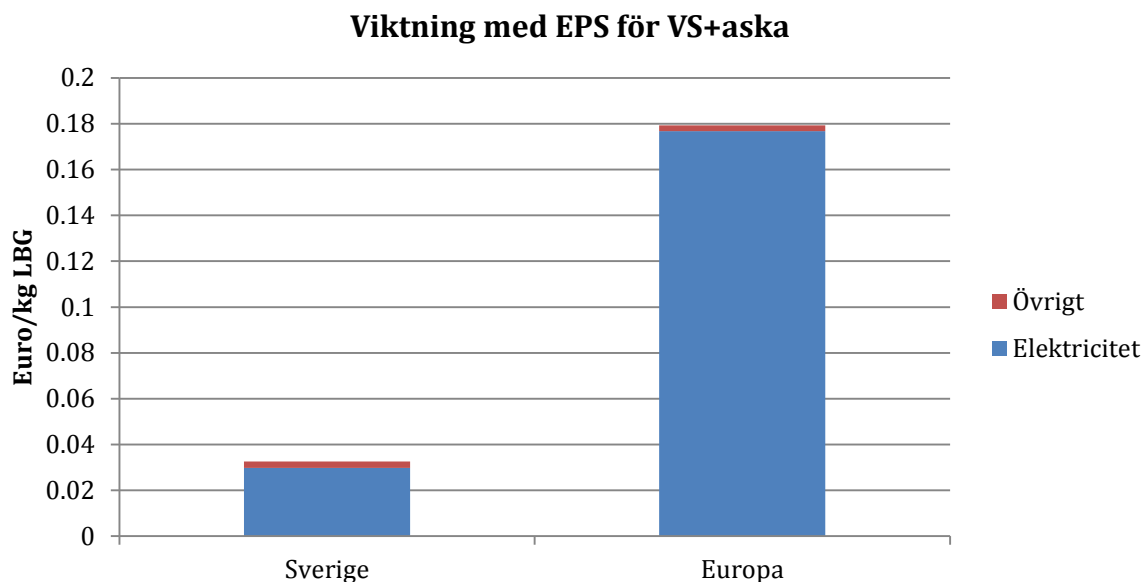
Produktionen av MK1-diesel ger upphov till en miljöskadekostnad av 0,56 Euro/kg diesel, alltså minst 9,9 gånger miljöpåverkan från LBG-produktion räknat per MJ bränsle och då är ändå inte miljönyttan med att tillverka metan från rötgas från gödsel medräknad. 76 % av miljöskadekostnaden för diesel MK1 beror av utarmning av resursen fossil olja.

4.7 Känslighetsanalys – jämförelse med europeiska förhållanden

För att få en bild av hur hög miljöpåverkan av uppgraderingsprocesserna skulle bli i ett typiskt europeiskt land, byttes produktionen av värme och elektricitet ut mot medelvärde för EU för system nr 2: VS+aska. Resultatet redovisas i FIGUR 14 och figur 15.



FIGUR 14. BIDRAG TILL POTENTIELL KLIMATFÖRÄNDRING I kg CO₂-EKV/KG LBG FÖR SVENSK RESPEKTIVE EUROPEISK LBG-PRODUKTION ENLIGT TEKNIKKEDJA NR 2: VS+ASKA.



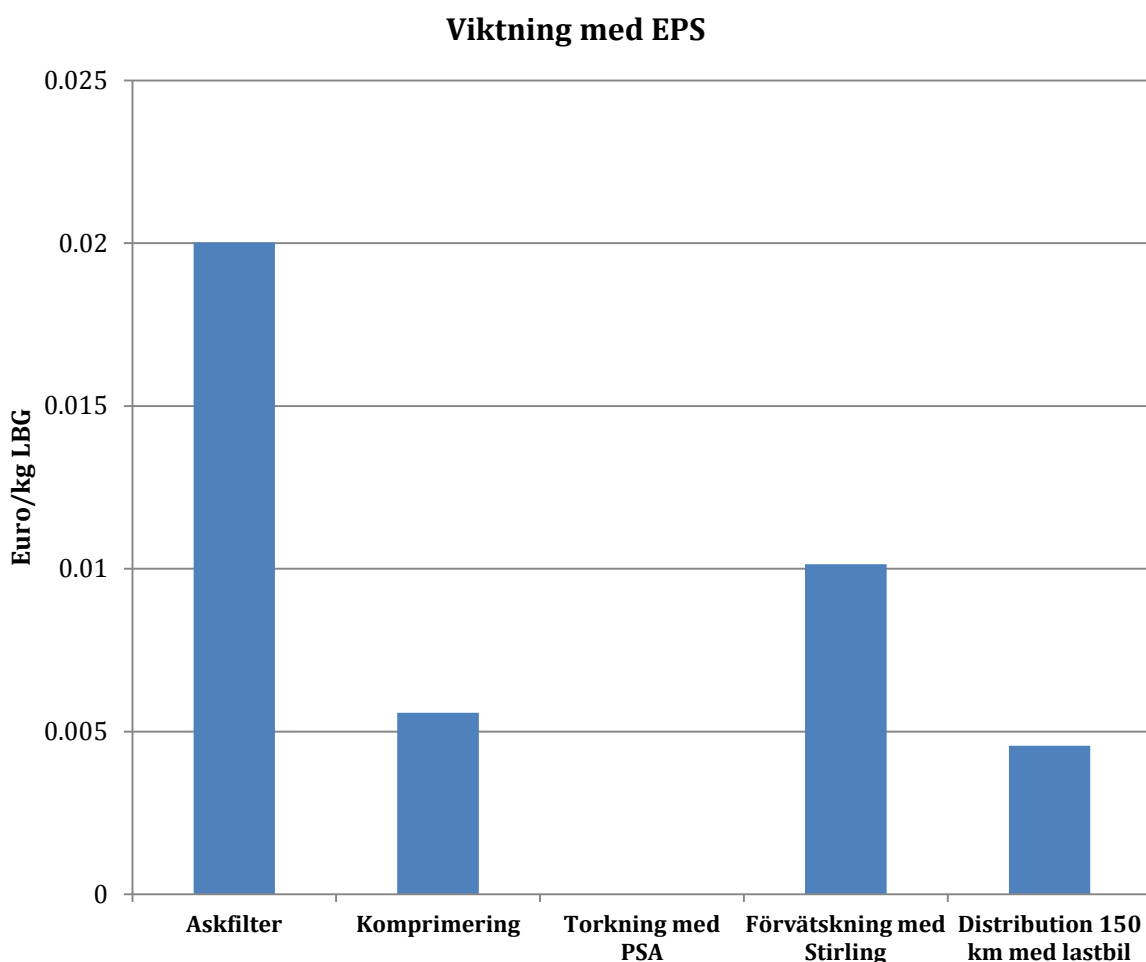
FIGUR 15. VIKTNING MED EPS I EURO/KG LBG FÖR SVENSK RESPEKTIVE EUROPEISK LBG-PRODUKTION ENLIGT TEKNIKKEDJA NR 2: VS+ASKA.

Den europeiska elmixen ger upphov till nästan all potentiell klimatförändring för fallet med en medel-europeisk anläggning. Totalt är potentiell klimatförändring drygt 7 gånger och miljöskadekostnaden 5,5 gånger så hög jämfört med produktion i Sverige.

4.8 Hot-spot-analys

En jämförelse mellan processteg och även inkluderande distribution till tankstation (150 km) gjordes för att få en bild av var den största miljöpåverkan sker. Teknikkedja nr 6, 1 GWh med askfilter användes för beräkningen. Produktion av biogas antogs inte ha någon miljöpåverkan.

I Figur 16 finns resultat för den småskaliga processen på 1 GWh.



FIGUR 16. VIKTNING MED EPS 2015D AV DE OLIKA STEGEN I TEKNIKKEDJA NR 6: 1 GWH ASKFILTER

Askfiltret har störst miljöpåverkan och 60 % av denna beror av elproduktionen av svensk elmix. Totalt är miljöskadekostnaden 0,040 Euro/kg LBG. Diesel MK1 ger upphov till cirka 16 gånger så hög miljöskadekostnad.

5. Total minskning av växthusgaser med LBG jämfört med diesel

I denna studie inkluderades endast teknikersystemen för uppgradering och polering av biogas, men det är under körning som den stora miljövinsten erhålls, eftersom det är vid förbränning som de största utsläppen sker. Emissionsfaktorn för förbränning av biogen koldioxid är 0 kg CO₂/MJ för metan jämfört med cirka 58,6 g CO₂/MJ för diesel (räknat från JRC (2014) och att cirka 80 % är fossil). För en lastbil, som totalt körs 1 miljon km, blir utsläpp från bränsletillverkning och körning med LBG totalt endast cirka 4 % av motsvarande utsläpp från dieseldrift med MK1-diesel det vill säga cirka 780 ton fossila koldioxidutsläpp undviks från bränslet om man byter från MK1-diesel till LBG. För det europeiska fallet redovisat i kapitel 4.7 (nr. 2. VS+aska) blir utsläpp från produktion och förbränning från LBG som drivmedel endast 22 % av emissionerna från dieseldrift (MK1) inkluderande produktion och förhållandet blir lägre om hänsyn tas till att diesel i ett medeleuropeiskt land innehåller lägre andel förnyelsebar råvara. Här i miljöanalysen räknades med 0 kg koldioxidutsläpp från produktion av gas tillverkad från gödsel, men som tidigare nämnts, så har både F3 (2013) och Tufvesson et al (2013) data för att koldioxidutsläppen ofta är negativa, det vill säga att koldioxidutsläpp för produktion och förbränning av LBG kan vara ännu lägre. De kan också vara högre beroende på råvara och val av allokering, se F3 (2013). I analysen ovan antogs samma mängd växthusgasutsläpp från distribution av båda drivmedlen.

6. Diskussion om metodval och osäkerheter

Metanförlusterna, emissionerna av metan och energiförbrukning är viktiga parametrar och dessa siffror har något större osäkerhet för de nya teknikerna, den kryogena och systemen med aska, än de gamla.

Uppskattningar för svensk värmeproduktion från pellets utifrån modifikation av data för europeisk värmeproduktion gjorde att även dessa data har något större osäkerhet. Därför blir det ganska osäkert att påstå att systemen med amin skulle vara mer miljöpåverkande.

Systemgränsdragning är viktigt för vilka frågor man vill besvara. I detta fall var det miljöpåverkan för teknikersystemen för att rena, polera och förvätska biogas till LBG som var frågeställningen. Skillnaden i miljöpåverkan från biogasproduktion antogs vara noll, eftersom

rågasproduktionen antogs ha noll miljöpåverkan. För frågeställningen hur mycket diesel som biogasen ersätter, så bör man, för att vara mer korrekt, ta hänsyn till metanförlusterna i vattenskrubbern som är cirka 1,3 % av ingående metan. Detta gjordes inte i denna studie och effekten skulle i så fall att miljöpåverkan från LBG där vattenskrubber använts är $1/0,987=1,013$ gånger så hög. Det skulle alltså inte ge upphov till någon större justering i resultaten och ingen skillnad i slutsatserna. Det är endast för vattenskrubbern som denna justering skulle behöva göras.

7. Tolkning och slutsatser

Data för produktion av värme och kemikalier har vissa brister, men resultaten kan ändå tolkas och slutsatser dras.

Teknikkedjorna för uppgradering, polering och förvätskning har låg miljöpåverkan i Sverige. Dock är teknikkedjorna med aminskrubber något mer miljöbelastande eftersom värme måste tillföras, men det är osäkert hur mycket mer miljöbelastande. Även den kryogena processen har större miljöpåverkan på grund av högre metanemissioner och elförbrukning, men den är ganska ny och har större potential till att effektiviseras.

De två småskaliga teknikkedjorna på 1 respektive 2 GWh har mindre beräknat metanutsläpp, men askbehovet är större och därmed behovet av transporter, vilket gör att de totalt sett ger ungefär lika stor miljöbelastning som de storskaliga.

För processerna med aminskrubber, används aktivt kol vid avsvavling och i denna studie användes data där kolet kommer från stenkol. Man borde kunna undersöka om man kan minimera dess miljöpåverkan genom att använda träkol som bas.

I den småskaliga teknikkedjan för 1 GWh är det processteget med askfiltret som ger upphov till störst miljöpåverkan och inte distributionen av LBG.

Miljöskadekostnaden för de studerade teknikkedjorna är låg jämfört med priset på biogas: 0,030 och 0,065 Euro/kg LBG för uppgradering, polering och förvätskning jämfört med priset på 1,4 – 1,6 Euro/kg. Om tekniksystemen skulle ligga i ett hypotetiskt europeiskt land där medel-europisk elmix används, skulle miljöskadekostnaden vara drygt 5 gånger så hög som i Sverige, men totalt sett, inkluderande förbränning av bränslet, är LBG ändå att föredra växthusgasmässigt jämfört med diesel.

Jämförelsen med MK1-diesel gav resultatet att den ger upphov till avsevärt högre miljöskadekostnad enligt EPS 2015d (Steen, 2015) än produktionen av LBG, hela 10 gånger så stor eller mer och för utsläpp av växthusgaser är faktorn 4,9 eller mer. Att skillnaden i miljöskadekostnad är så stor beror delvis på att själva resursen fossil olja har en hög miljöskadekostnad för MK1-diesel, eftersom den är ändlig. Cirka 76 % av värdet beror av resursutarmning.

Om hela livscykeln för drivmedlet räknas med, alltså inkluderande rötning av gödsel till rågas och emissioner i dieselmotor, blir klimatpåverkan från LBG mycket liten jämfört med den från MK1-diesel. Den är även mycket mindre än för diesel om den producerats i Europa.

Sammantaget kan man konstatera att den process som använder minst värme och el, men gärna producerar värme, som används av andra och som har lägst metanemissioner är att föredra. Den större mängd transporter som krävs för de småskaliga teknikkedjorna på grund

av större mängd aska per kg LBG bidrar också till högre miljöpåverkan. Totalt sett är dock miljöpåverkan ungefär lika för de stora systemen.

Används aktivt kol, som i processerna med aminskrubber, bör det om möjligt vara baserat på träkol. Teknikkedjorna med askfilter är miljömässigt i klass med övriga.

5 Referenser

F3 (2013). *Well-to-wheel LCI data for fossil and renewable fuels on the Swedish market*. F3 2013:29.

F3 (2018). *Well-to-wheel LCI data for HVO fuels on the Swedish market*. Report soon to be published

Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts (2002) *M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background*. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.

Hansson J., Martinsson F. och Gustavsson M. (2015). Greenhouse gas performance of heat and electricity from wood pallet value chains – based on pellets for the Swedish market. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 9:378-396.

Höglund Jonas (200X). *Växthusgasemissioner för svensk pelletsproduktion*. IVL-rapport

ISO 14040 (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. International Organisation for Standardisation (ISO).

ISO 14044 (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. International Organisation for Standardisation (ISO).

JRC (2014). *Well-to-tank. Appendix 1 – Version 4a. Conversion factors and fuel properties. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. JRC, Concawe (2014)

Mårtensson (2018). Miljöchef på Volvo Lastvagnar, personlig kommunikation

Steen 2015. *The EPS 2015d impact assessment method – an overview*. Swedish Lifecycle Center, Report number 2015:5. <https://www.lifecyclecenter.se/publications/eps-2015d1-excluding-climate-impacts-from-secondary-particles/>

Rapporten kan också hittas via: <https://www.ivl.se/english/startpage/pages/focus-areas/environmental-engineering-and-sustainable-production/lca/eps.html>

Statens energimyndighet (2016). *Drivmedel 2016 – Mängder, komponenter och ursprung rapporterade enligt drivmedelslagen och hållbarhetslagen*. ER-2017:12. ISSN 1403-1832.

Tufvesson L., Lantz M. och Björnsson L. (2013). *Miljönytta och samhällsekonomiskt värde vid produktion av biogas från gödsel*. Rapport Nr. 86. Miljö- och energisystem. Lunds Universitet

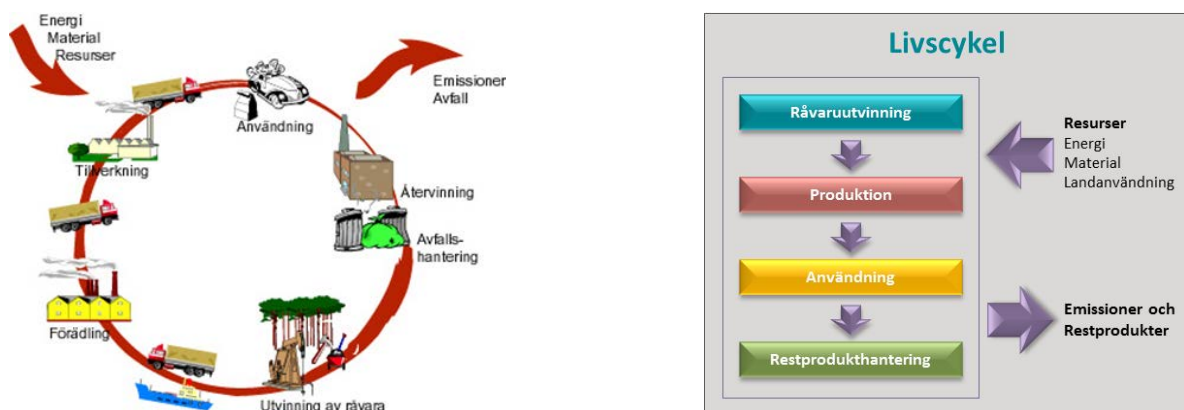
Bilaga 1

Livscykelanalys (LCA) – en beskrivning

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). Med inflöden och utflöden avses användning av naturresurser respektive generering av emissioner och restprodukter som är knutna till systemet.

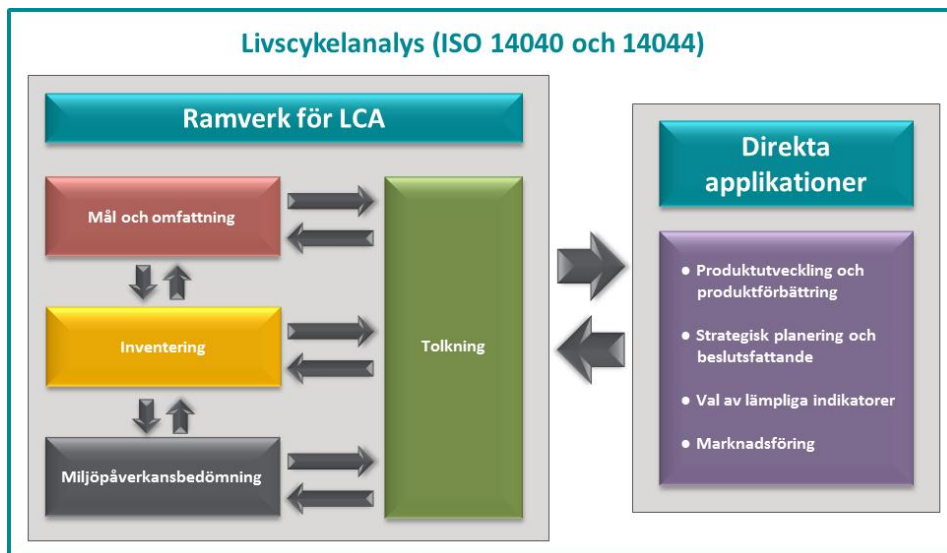
Livscykeln utgör ett tekniskt system bestående av processer och transporter i alla stadier från uttag av naturresurser till och med slutligt omhändertagande av produkten samt kvittblivning av restprodukter (avfallshantering och återvinning).

LCA kallas ibland " vagg-till-graven-analys" (**Fel! Det går inrte att hitta någon referensälla.**).



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 (**Fel! Det går inrte att hitta någon referensälla.**).



FIGUR 17. LCA-STUDIENS FASER.

Mål och omfattning

I första fasen beskrivs målsättningen med studien. Denna skall entydigt beskriva den avsedda tillämpningen, skälen till att utföra studien samt den tillänkta mottagaren, dvs. till vem resultaten av studien avses att förmedlas. Vidare definieras studiens omfattning. Här ingår följande:

- att beskriva det eller de produktsystem som studeras
- produktsystemets funktion (vilken eller vilka nyttor genereras? - kan vara en eller flera)
- den funktionella enheten (beräkningsbasen)
- systemgränserna
- datakrav, krav på datakvalitet, antaganden, begränsningar
- eventuella allokeringar (t ex fördelning av miljöbelastning mellan produkter och bi-produkter)
- metodiken för miljöpåverkansbedömning
- efterföljande tolkning
- typ av kritisk granskning om detta tillämpas samt typ samt format på rapporten som krävs för studien

Omfattningen av studien kan behöva justeras allteftersom studien genomförs och mer information samlas in; LCA är således en iterativ teknik.

Inventering

Inventeringsanalysen innefattar datainsamling, tolkning och bearbetning av data samt beräkningar för att kvantifiera relevanta inflöden och utflöden för produktsystemet över hela dess livscykel. Resultatet från inventeringsanalysen utgör också indata till miljöpåverkansbedömningen. En inventeringsanalys genomförs iterativt. I allmänhet är det först när en första miljöpåverkansbedömning är gjord som de delar av livscykeln som ger störst potentiell miljöpåverkan är identifierade, och därför kräver extra uppmärksamhet i inventeringen. Ibland uppmärksammas uppgifter och information som kräver en förändring av själva målsättningen med eller omfattningen av studien.

Miljöpåverkansbedömning

I miljöpåverkansbedömningen (life cycle impact assessment (LCIA) på engelska) utvärderas betydelsen av de miljöeffekter som produktsystemet potentiellt bidrar till. Först väljs de miljöpåverkanskategorier (miljöeffekter, t ex växthuseffekten) som skall inkluderas i studien, liksom de kategoriindikatorer (t ex gram koldioxidekvivalenter) som skall användas för att beskriva denna miljöpåverkanskategori. Därefter görs klassificeringen, som innebär att de parametrar som erhålls i inventeringen sorteras efter vilka miljöpåverkanskategorier de potentiellt bidrar till. I nästa steg, karaktäriseringen, kvantifieras det potentiella bidraget till respektive miljöeffekt. Ett och samma utsläpp kan bidra till flera miljöeffekter parallellt. Denna bedömningsfas tar även fram information till tolkningsfasen.

Följande delar av miljöpåverkansbedömningen är enligt ISO obligatoriska:

- Val av miljöpåverkanskategorier, kategoriindikatorer och karaktäriseringsmodeller
- Fördelning av inventeringsresultat till någon miljöpåverkanskategori (klassificering)
- Beräkning av systemets bidrag till olika miljöpåverkanskategorier (karaktärisering) och

Följande delar är frivilliga:

- Beräkna storleken av karaktäriseringsresultat relativt en given referens (normalisering)
- Gruppering
- Viktning
- Analys av datakvalitet

Tolkning

En tolkning av resultaten görs genom att resultatens användbarhet och fullständighet kontrolleras. De underliggande antagandenas påverkan på resultatet analyseras liksom resultatets känslighet för metodval. Betydelsen av dataluckor och använd datakvalitet skall också beskrivas i tolkningsdelen. Resultatet av känslighetsanalyser och osäkerhetsanalyser som görs i andra delar av studien skall också redovisas här.

Resultaten av tolkningen kan ta formen av slutsatser och rekommendationer till beslutsfattare i enlighet med studiens målsättning och omfattning.