

Livscykelanalyser om kärnkraftens klimatpåverkan

kommentarer på några studier som nämns i debatten

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att bedöma en produkt eller tjänsts miljöpåverkan. Verktöget kan användas för att identifiera vilken eller vilka delar i processen som har störst miljöpåverkan i syfte att försöka förbättra detta. LCA kan också användas till att jämföra miljöpåverkan mellan olika varor eller mellan olika handlingsalternativ.

I energi- och miljödebatten används ibland resultaten från livscykelanalyser av olika intressenter för att hävda för- eller nackdelar vid jämförelser mellan olika kraftslag. Det är vanligtvis främst klimatpåverkan som avses. I denna rapport ges kommentarer på några LCA:er som brukar användas i argumentation för eller emot kärnkraft. Denna genomgång har ingen ambition av att vara heltäckande, det finns massor av intressanta LCA:er som inte tas upp här.

Några begrepp

- **Livscykelanalys (LCA):** Ett analysverktyg för att samla in och kommunicera data om miljöpåverkan från en produkt eller tjänst. Ofta är ambitionen att ha med alla steg från vaggan till graven men ibland begränsas analysen till att endast ta med en del av livscykeln. För kärnkraft innebär en komplett analys att all miljöpåverkan och resursanvändning som uppkommer i samband med brytning av uran, tillverkning av bränsle, transporter, byggande och rivning av kärnkraftverk, samt hantering av det använda bränslet inklusive byggande av anläggningar för slutförvar, ska räknas med.
- **Systematiska fel:** Ingen LCA blir någonsin perfekt och innehåller olika felkällor. Dessa beror på felaktiga mätningar, uppskattningar och antaganden. Andra faktorer är snedvridna data på grund av felaktiga korrelationer som varierar geografiskt och över tid, eller där felaktig teknik antas. Det finns även situationer där man helt saknar kunskap om vissa faktorer, och antingen antar dem felaktigt eller inte har dem med alls.
- **Systemgränser:** Det kan vara svårt att få med alla bidrag till miljöpåverkan, någonstans måste man dra en systemgräns för att göra det hanterbart. Om gränsen dras för snävt kan man missa eller underskatta väsentliga bidrag, alternativt kan en alltför vid gränsdragning medföra dubbelräkning eller att vissa poster som inte är relevanta i sammanhanget ges för stor vikt. En LCA ger inte heller någon information om systemeffekter, för detta behövs andra verktyg.
- **Klimatpåverkan:** När LCA används för att bedöma klimatpåverkan från elproduktion är det utsläppen av klimatpåverkande gaser som avses. Oftast avses mängden koldioxid per kilowattimme producerad elektricitet, som anges i gram CO₂/kWh.
- **Koldioxidekvivalenter:** Det finns förutom koldioxid flera andra gaser som påverkar klimatet, bland annat metan, lustgas, freoner och vattenånga. Klimateffekten från dessa gaser är ofta starkare än för koldioxid men de har olika livslängder innan de bryts ned eller på andra sätt försvinner ur systemet. Därför omräknas deras utsläpp till motsvarande mängd koldioxid som skulle ge samma klimatpåverkan, så kallade koldioxidekvivalenter. Utsläppen för elproduktion anges då i gram CO₂e/kWh. Koldioxidekvivalenter redovisas ibland separat för de andra gaserna, ibland sammanslaget med påverkan från mängden koldioxid.
- **Vetenskaplig rapport med granskning:** Ibland framförs argumentet att en rapportens resultat har stor trovärdighet eller återger en sanning för att den är granskad och publicerad i en vetenskaplig tidskrift. Granskningen innebär en kvalitetskontroll och är mycket viktig inom den akademiska världen, men det är ett akademiskt arbete som inte nödvändigtvis kan tillämpas rakt av eller ens är relevant för praktiska tillämpningar utanför universiteten. Sakfel och felaktiga

antaganden kan slippa igenom granskningen. Sådana fel behöver inte vara så allvarligt eftersom efterföljande studier kan ge mer korrekta resultat, det är den stora massan av undersökningar som ger kunskap.

- **Metastudier:** Flera av de studier som avhandlas här är så kallade metastudier. Det innebär att de sammanfattar ett antal andra studier och tar fram någon slags medelvärden eller spann av resultaten i dessa studier. Ibland görs urvalet från dessa studier enligt olika kriterier, och det förekommer att resultat viktas på olika sätt. En metastudie kan ge en bra översikt över den miljöfaktor som studeras och hur den varierar under olika förhållanden. Om någon enskild studie som ingår i metastudien innehåller felaktigheter så påverkar det medelvärdet endast i begränsad omfattning. En enskild studie kan ge ett mer specifikt och detaljerat resultat, men är mer begränsad till de förhållanden som studeras.

En utförlig beskrivning av livscykelanalyser och miljövarudeklarationer kan läsas i Analysgruppens Bakgrund nr 1 från 2014, "[Analysera för att agera](#)" [1]. Där finns också referenser till annan litteratur på ämnet. Se även några av referenserna i slutet på denna rapport.

Kommentarer på livscykelanalyser

I detta avsnitt presenteras och kommenteras några livscykelanalyser som brukar användas i diskussionen om kärnkraft.

ÖKO-studien – U. Fritsche och S. Lim (2006) [2]

Vid ÖKO-institutet i Darmstadt togs denna studie fram som reaktion på att kärnkraften påstås ha liten klimatpåverkan och vara kostnadseffektiv. Syftet är alltså uttalat att påvisa att så är inte fallet.

Typ av rapport

- Konferensbidrag samt teknisk rapport. Ej publicerad i vetenskaplig tidskrift med granskning.
- Studien utgår från data i verktyget GEMIS [3], ett mycket intressant redskap med en omfattande databas för analys av miljöeffekter av många olika samhällsverksamheter.
- Data för olika ämnesområden har uppdaterats i databasen allteftersom ny information tillkommit. Kommentarererna här baseras främst på de data som ges i den ursprungliga rapporten från 2006 samt några efterföljande rapporter som belyser vissa detaljer. Några senare rapporter och uppdateringar av databasen har undersökts endast i begränsad omfattning.

Kommentarer på metodik, antaganden och slutsatser

- I den engelskspråkiga versionen av rapporten [2] anges att GEMIS-modellen ger 31 g CO₂/kWh för tysk kärnkraft, och om man räknar med andra klimatpåverkande gaser får man ett totalt värde på 33 g CO₂e/kWh. I den tyskspråkiga versionen [4] ges exempel från flera andra länder, bland annat fransk kärnkraft som anges ha 8 g CO₂e/kWh. GEMIS ger att klimatpåverkan för kärnkraft i olika länder varierar mellan 8 och 126 g CO₂e/kWh. I rapporterna används i ett stapeldiagram värdet 33 g för tysk kärnkraft samt maxvärdet 126 g för Sydafrika.
- Data i GEMIS är inte alltid aktuella och därmed inte tillförlitliga. Det är inte heller alltid lätt att hitta källorna till siffrorna, hur de framtagits eller varför de varierar mellan olika länder eller olika versioner av GEMIS.
- Variationerna för olika länder tycks delvis bero på att i studien antas att varje land med kärnkraft står för sin egen anrikning av bränslet. Klimatpåverkan för anrikningen baseras därmed på varje lands energimix. Flera av länderna i databasen har dock ingen egen anrikning utan köper anrikat uran från andra länder, så ett korrekt förfarande borde utgå från klimatpåverkan i det land där anrikningen sker.
- Klimatpåverkan från uppströmsprocesser är rätt hög i GEMIS och dominerar helt slutresultatet för varje land. I denna post ingår gruvbrytning, anrikning och bränsletillverkning, men inte konstruktion av kärnreaktor. Antagandet tycks vara att för alla länder utgå från att anrikningen sker delvis med den energikrävande gasdiffusionsmetoden, vilket ger ett rätt högt bidrag. Rapporten är från 2006 och omkring en tredjedel av världens reaktorbränsle anrikades då med diffusionsmetoden. Men den sista diffusionsanläggningen stängdes 2013, nu används den mycket mer effektiva centrifugmetoden vilket innebär att energiförsörjningen och relaterade utsläpp för anrikningen blir mycket lägre. Den senaste versionen av GEMIS kom 2017, men data för bränsleproduktionen har inte uppdaterats sedan 2010 eller tidigare.
- För Sydafrika används data från 1994 där man hänvisar till en anrikningsmetod som utvecklades och användes i landet under apartheiderna när landet var utsatt för sanktioner. Metoden, som slutade användas 1995, var väldigt energikrävande och leder därmed till stor klimatpåverkan i ett land där elproduktionen domineras av kolkraft [5]. Maxvärdet på 126 g i rapporten har alltså ingen relevans i diskussioner om kärnkraft med uran från Sydafrika efter 1995.
- ÖKO-studien har negativa utsläpp från kraftvärmeverk med biobränsle. Detta är ett tveksamt sätt att räkna eftersom man drar ifrån de utsläpp som motsvarande oljeuppvärmning skulle ge upphov till. Med samma resonemang kan man räkna fram värden för hus som värms med el från svenska kärnkraftverk (eller vind eller

solceller eller vad man vill) och dra ifrån olja och komma fram till negativa utsläpp även där. Det är alltså inte ärligt att räkna så för enbart ett kraftslag.

- Det finns ett avsnitt i ÖKO-studien om kostnader i rapporterna. Där kommer man fram till att kärnkraft är dyrare än en kombination av biomassa, havsbaserad vindkraft, kolkraftvärme, gaskraftvärme och energi-effektiviseringar. Studien anger alltså att det inte blir billigare om man enbart förlitar sig på förnybart, fossila bränslen behöver också användas.

Vanliga missförstånd

- ÖKO-studien har flera gånger hänvisats till i svensk debatt i syfte att hävda "stor" klimatpåverkan från kärnkraft (33 g CO₂e/kWh) jämfört med förnyelsebara kraftslag. Men i samma studie har vattenkraft 40 g CO₂e/kWh, och solceller över 100 g. Dessutom anges vindkraft ha högre utsläpp än i exempelvis Vattenfalls studier.
- Att 32 g CO₂e/kWh är högre än exempelvis Vattenfalls resultat innebär inte att de är felaktiga, det skulle kunna vara så att de stämmer för Tyskland. Men det säger ingenting om kärnkraft för svenska förhållanden.

Sammanfattning

Studien skrevs för att påvisa att kärnkraften har hög klimatpåverkan och är dyrare än förnybara kraftslag. Intressant nog misslyckas rapporten med att visa detta, och metodfelen stärker inte tesen. GEMIS är ett intressant verktyg men behöver utvecklas och uppdateras på vissa punkter för att bli relevant i studier av kärnkraftens klimatpåverkan.

Sovacoolstudien – B. Sovacool (2008) [6]

Benjamin Sovacool har publicerat ett antal vetenskapliga artiklar med olika aspekter kring kärnkraft. Flera av artiklarna är väldigt intressanta och har en ambitiös utgångspunkt. Dessvärre är det inte ovanligt med felaktiga antaganden, felräkningar eller förutfattade meningar som påverkar resultaten. I ett notabelt fall ledde det till att Sovacool och hans medförfattare fick dra tillbaka en artikel efter publicering [7]. Sovacools metastudie över LCA för kärnkraft uppvisar flera sådana brister, dessa redovisas nedan.

Typ av rapport

- Publicerad i vetenskaplig tidsskrift med granskning.
- Metastudie som granskar 103 olika LCA:er.
- Ambitiöst approach med uppdelning av varje studie i separata poster för olika delar av livscykeln.
- Ambitiösa kriterier för vilka studier som accepteras i sammanställningen.

Kommentarer på metodik, antaganden och slutsatser

- Endast 19 av de 103 studierna används i analysen, övriga anses inte uppfylla kriterierna.
- De ambitiösa kriterierna för vilka studier som ska accepteras följs inte, det finns avfärdade studier som borde vara medräknade och omvänt finns det medtagna studier som inte uppfyller kriterierna.
- Fyra studier är samma studie av Storm van Leeuwen [8], eller varianter på den, det blir alltså frågan om en slags dubbelräkning. Dessa fyra studier har de högsta värdena för klimatpåverkan, omkring 200 g, och drar därmed upp medelvärdet väsentligt. Storm van Leeuwens studie, som inte är publicerad i någon vetenskaplig tidsskrift, har ett intressant resonemang om hur klimatpåverkan påverkas av lägre uranhalter, och i studien redovisas alla steg tydligt. Men den innehåller flera felaktiga antaganden vilket ger orimliga resultat [9].
- ÖKO-studiens resultat (se föregående avsnitt) är felaktigt återgivet som summan av CO₂/kWh (31 g) och CO₂e/kWh (33 g) dvs 64 g. Det korrekta är att ange CO₂e/kWh, och därmed nästan halveras bidraget från denna studie. En mycket märklig detalj är att Sovacool delat upp dessa 64 g i olika poster på ett sätt som inte går att återskapa från ÖKO-studien. Sovacool uppmärksammar inte heller att studien har olika resultat för kärnkraft i olika länder.
- I en studie av Tokimatsu et al. [10] anges ett spann på 10-200 g vilket återspeglar den ökade effektiviteten i uranutvinning och bränsletillverkning sedan 1960-talet. Sovacool har tagit ett medelvärde över hela tidsspannet på 105 g, vilket inte är relevant om man vill diskutera situationen idag eller effekterna av ny kärnkraft.
- En korrigerad av de ovan angivna felen skulle ge ett medelvärde kring 20 g CO₂e/kWh.
- I slutet av rapporten jämförs medelvärdet med värden för andra kraftslag. Det konstateras att kärnkraft har lägre klimatpåverkan än fossila kraftslag men högre än alla förnyelsebara kraftslag. Jämförelsen baseras på värden från någon enskild studie för varje kraftslag. Dessa studier har inte genomgått någon granskning enligt de kriterier som används för kärnkraftstudierna, och något spann anges inte.

Vanliga missförstånd

- Analysens medelvärde på 66 g CO₂e/kWh brukar i debatten återges som ett givet värde utan att ange att det är ett medelvärde av ett antal studier, eller att spannet mellan dessa studier är 1-288 g CO₂e/kWh.
- I debatten anges ibland felaktigt att medelvärdet baseras på alla 103 studierna, inte på ett urval av dem.

Sammanfattning

Sovacool avslutar artikeln med att konstatera att det är svårt att hantera olika LCA:er på ett enhetlig sätt när de är skapade med olika metodik och systemgränser. Det är bara att hålla med, men Sovacools lowärda försök att dela upp studierna bidrag i olika poster tappar i trovärdighet eftersom de strikta kriterierna får ge vika för slarvig hantering av de LCA:er som tagits i beaktande.

Stanfordstudien – M.Z. Jacobson (2009) [11]

Den så kallade Stanfordstudien, av Mark Z. Jacobson, brukar vara den LCA som oftast hänvisas till i svensk debatt i syfte att påvisa stor klimatpåverkan från kärnkraft. Jacobson är en mycket produktiv forskare med omfattande studier kring energi- och klimatfrågor, och han har fått mycket uppmärksamhet för sina studier om 100 procent förnybara energisystem, samt för sitt agerande när andra forskare ifrågasatt resultaten [12].

Typ av rapport

- Publicerad i vetenskaplig tidsskrift med granskning.
- Artikeln är en omfattande studie med många intressanta ansatser om hur olika kraftslag ger upphov till klimateffekter och luftföroreningar, samt hur de kan bidra till elektrifiering av transporter och en tillförlitlig energiförsörjning.
- För kärnkraft utgår studien från fem olika LCA:er och lägger sedan till andra poster.
- Ett supplement redovisar tydligt alla antaganden och beräkningssteg.

Kommentarer på metodik, antaganden och slutsatser

- Jacobson utgår från fem olika studier och uppskattar själv ett spann på 9-70 g CO₂e/kWh, vilket han anser vara representativt. Det finns dock några problem med urvalet och hur han hänvisar till det:
 - Den första studien är en rapport från World Nuclear Association (WNA) [13] och anges ha 9 g CO₂e/kWh som lägsta värde. Just den studien finns inte tillgänglig längre, men liknande rapporter brukar ange ett spann mellan min och maxvärdet.
 - Nästa studie är Sovacools [6] med 66 g CO₂e/kWh. Jacobson anger att det är ett medelvärde men nämner inte spannet från 10 till 200 g. Problemen med Sovacools studie uppmärksammas inte, och den återges på ett sätt som antyder att alla 103 studierna ligger till grund för medelvärdet.
 - Nästa studie av Koch [14] anges ha 59 g CO₂e/kWh, här missar Jacobson att studien ger ett spann på 2-59 g.
 - För en studie av Fthenakis och Kim [15] återges korrekt ett spann på 16-55 g för kärnkraftverk i USA. Jacobson anger inte att de tar upp att USA länge

använde gasdiffusionsanläggningar för anrikning av kärnbränsle och att författarna uppskattar att när USA helt övergår till den effektivare centrifugemetoden så blir resultatet ca 12 g CO₂e/kWh. Jacobsons studie skrevs 2009 medan den sista gasdiffusionsanläggningen stängdes 2013 [16]. Svenska kärnkraftverk slutade använda anrikat bränsle från gasdiffusion för omkring 10 år sedan.

- Den sista källan är Internationella klimatkommissionen IPCC:s fjärde rapport från 2007 [17] som anges ha 40 g CO₂e/kWh. Men i IPCC:s rapport står det att klimatpåverkan från kärnkraft är *under* 40 g CO₂e/kWh och likvärdigt med förnybara kraftslag, och i en figur visas ett spann från nära noll upp till 40 g. I samma stycke anger IPCC att livstidsförlängningar av existerande kärnkraftverk är ett viktigt bidrag till att minska klimatutsläppen.
- Sammantaget visar detta att Jacobson överskattar utsläppen från de källor som han utgår ifrån.
- Utifrån de utsläpp som anges i de fem studierna lägger Jacobson sedan på olika poster. Han antar att det tar 10-19 år att planera och bygga ny kärnkraft och att man under tiden använder gas och kolkraft. Klimatpåverkan från dessa kraftslag, framräknat till ett medelutsläpp för USA på 609 g CO₂e/kWh, läggs på kärnkraftens konto, detta ger ett bidrag på 59-106 g. Några kommentarer på det ges här.
 - Jacobsons resonemang är att i valet mellan olika kraftslag ska ett så kallat alternativkostnadsutsläpp (opportunity cost emissions) beräknas för utsläppen under den tid man får vänta mellan beslut och driftfärdigt kraftverk. Det är ett intressant resonemang men inte självklart att det ska finnas med inom systemgränserna för en LCA.
 - Jacobson ansätter liknande alternativkostnadsutsläpp för alla kraftslag. För vindkraft antas väntetiden från beslut till drift vara 2-5 år vilket ger utsläpp från kol och gas i spannet 32-71 g CO₂e/kWh. Detta bidrag dras sedan bort från alla kraftslags alternativkostnadsutsläpp, inklusive för kärnkraft. Vindkraft får då noll gram i alternativkostnadsutsläpp och kärnkraft hamnar i det ovan angivna spannet. För en enstaka vindfarm kan den uppskattade väntetiden vara korrekt, men historiska data visar att det är svårt att snabbt planera och bygga vindfarmer i den omfattning som motsvarar ett större kärnkraftverk. Det är i så fall lika rimligt att vända på resonemanget och sätta noll gram för kärnkraft och sedan lägga alternativkostnadsutsläppen på vindkraften.
 - Resonemanget med alternativkostnadsutsläpp kan föras för enstaka projekt, men tar inte hänsyn till systemeffekter vid större projekt som påverkar elförsörjningen i ett helt land eller en region.

- Flera kärnkraftprojekt i västvärlden har drabbats av stora förseningar, mest noterbart från svenskt perspektiv är den nästan 10 år försenade reaktorn Olkiluoto 3 i Finland. Men på andra håll i världen bygger man kärnkraft avsevärt snabbare, vilket skulle reducera dessa alternativkostnadsutsläpp.
- Jacobsons alternativkostnadsutsläpp baseras på USA:s elmix och är alltså inte relevant för en diskussion om klimatpåverkan för existerande kärnkraft i Sverige. För ny svensk kärnkraft skulle värdena bli avsevärt mycket lägre eftersom den svenska elmixen är nästan helt fossilfri.
- Jacobson uppvisar flera gånger bristande förståelse för fysiken i en kärnreaktor samt för kopplingen mellan kärnkraft och atombomber. Några exempel:
 - Det påstås att bridreaktorer förenklar möjligheten att använda uran och plutonium för atombomber. Jacobson har missat att ett av de kriterier som satts upp av Generation IV International Forum är just att utvecklingen av bridreaktor ska ske på ett sådant sätt att det inte ska vara möjligt att utnyttja plutonium från dessa reaktorer till bomber [18].
 - Jacobson hävdar att atombombsmaterial endast tillverkas i länder som har utvecklat civil kärnkraft. Detta är fel i sak och bakvänt resonerat. De lättvattenreaktorer som används i Sverige och de flesta andra länder ger upphov till plutonium under drift, men inte av en sådan kvalitet att det lämpar sig för atombomber. Vad det gäller de länder som har atombomber har samtliga utom möjligtvis Indien utvecklat bomben först och civil kärnkraft senare. Länder som Israel och Nordkorea har atombomber men ingen civil kärnkraft, det går alltså utmärkt att utveckla atombomber utan ett kärnkraftprogram för elproduktion.
 - Jacobson blandar korten kring ickespridningsavtalet och de kontroller som görs av använt kärnbränsle för att det inte ska hamna på avvägar eller i vapenprogram. Han hävdar att bara en procent av allt höganrikat uran och 35 procent av allt plutonium kontrolleras. Det är korrekt då resten används i vapenprogram och har inget med civil kärnkraft att göra. Det ingår därmed inte i de kontroller som genomförs kopplat till ickespridningsavtalet.
 - Med dessa resonemang anser Jacobson att kärnkraft leder till ökad risk för atombombsspridning och att det finns risk för ett kärnvapenkrig eller en terrorattack med atombomber. En kärnvapenattack var 30:e år antas med en viktfaktor som ger bidrag till klimatpåverkan från brinnande städer efter kärnvapenattacken. Koldioxiden från de brinnande städerna räknas fram till 0-4 g CO₂e/kWh. Bidraget är inte särskilt stort, men antagandet är problematiskt för en LCA och får ses som ett väldigt okonventionellt sätt att hantera systemgränserna. Trovärdigheten ökar inte med tanke på att antagandet baseras på felaktiga resonemang kring kopplingen mellan kärnkraft och atombomber.
- I ett avsnitt behandlas hur stort landområde varje kraftslag tar upp. För kärnkraft och fossila kraftslag räknas gruvbrytning in, sådana uppgifter tas inte med för gruvbrytning av råvaror till solceller och vindkraftverk. Det går förstås att resonera att de förnybara kraftslagen inte använder något från gruvor under drift, men resonemanget blir missvisande eftersom det går åt mer råvaror för att bygga en sol- eller vindpark än för att bygga motsvarande mängd kärnkraft.
- I ett avsnitt behandlas antalet dödsoffer från luftföroreningar av elförsörjning till eldriven vägtrafik baserat på olika kraftslag. Här har Jacobson lagt in antalet döda från ett kärnvapenanslag, åter viktat med sannolikheten att det sker var 30:e år. Att räkna dödsfall från atombomber som ett bidrag till dödsfall från luftföroreningar från kraftproduktion och hur detta slår på en elbilsflotta är ett rejält avsteg från rimliga systemgränser.
- Ett avsnitt har en rankning av olika kraftslag med avseende på olika parametrar. Kärnkraft hamnar väldigt lågt i denna rankning, till stor del beroende på flera av de antaganden som diskuterats ovan.

Vanliga missförstånd

- Vissa debattörer blandar ihop denna studie med Sovacools [6], det förekommer påståenden att Stanfordstudien baseras på ett medelvärde från 103 olika LCA:er. Jacobson utgår från fem studier, varav en är Sovacool, och lägger sedan till egna utsläppsposter.
- I debatten förekommer ibland argumentet att den här studien är trovärdig på grund av att Jacobson är verksam vid Stanforduniversitetet, som har många Nobelpristagare. Det bör påpekas att Jacobson inte är en av dessa pristagare, men oavsett prestigefyllda pris eller titlar så är det innehållet i studien som ska bedömas, inte författarens meritförteckning.
- Jacobson skriver följande i ett avsnitt. De som hänvisar till studien brukar fästa mindre vikt vid detta avsnitt: *"Costs are not examined since policy decisions should be based on the ability of a technology to address a problem rather than costs (e.g., the U.S. Clean Air Act Amendments of 1970 prohibit the use of cost as a basis for determining regulations required to meet air pollution standards) and because costs of new technologies will change over time, particularly as they are used on a large scale."* Om detta är att anse som rimligt så bör det appliceras likvärdig på såväl kärnkraft som på förnybara kraftslag.

Sammanfattning

När studien kritiseras av kärnkraftanhängare brukar invektiven fara i alla riktningar. Jacobson håller själv ett tufft tonläge i debatten, och agerandet gentemot meningsmotståndare minskar trovärdigheten. Trots detta har den här studien flera intressanta resonemang som är av akademiskt intresse. Men de är inte nödvändigtvis relevanta för praktisk tillämpning, och slutsatserna är inte tillämpbara för svenska förhållanden. Det är också notervärt att de övre värdena i ett spann ibland hanteras som sådant, för att i andra avsnitt vara utgångspunkt vid jämförelser med andra kraftslag.

Vattenfall – Livscykelanalys (2016) [19]

Vattenfall var tidiga med att utveckla livscykelanalyser för att studera miljöpåverkan från de kraftslag som ingår i företagets verksamhet. Den första studien kom 1993 och sedan början av 2000-talet används även EPD-certifiering (miljövarudeklaration) för kärnkraften.

Typ av rapport

- Tekniska rapporter från Vattenfall granskade av extern tredjepart.
- LCA:n är en del av EPD-certifieringen [20, 21].
- Detaljerade studier som genomförs på samma sätt för alla kraftslag.
- Studierna är inte transparenta för utomstående.

Kommentarer på metodik, antaganden och slutsatser

- Vattenfall har ofta (men inte alltid) tillgång till förstahandsdata för olika råvaror och processer. I de fall man inte har tillgång till data har man genomfört osäkerhetsanalyser för att uppskatta hur mycket bristen på data kan påverka slutresultatet, och tar sedan med konservativa antaganden i beräkningarna.
- LCA:s följer en ISO-certifierad metodik i EPD-systemet vilket möjliggör jämförelser på samma grunder av resultaten mellan olika kraftslag. Studierna uppdateras och granskas periodvis av oberoende tredjepart som vid behov får tillgång till de rådata som inte visas för allmänheten.
- Vattenfalls livscykelanalys omfattar hela livscykeln från gruvbrytning, bränsleframställning, byggande, drift, reinvesteringar, rivning och avfallshantering. De faktorer som tenderar att förändra resultaten är val av leverantör för bränsleanrikningen och när mer information tillkommer från SKB kring slutförvaret. Även livstidsförlängningar påverkar resultaten.

Vanliga missförstånd

- Den höga detaljnivån och den externa granskningen till trots, de här studierna ska inte ses som en absolut sanning. Det kan finnas fel och misstag i dem, trots

granskningen. Metodfel kan också vara svåra att upptäcka, men eftersom studierna följer regelverket för EPD-certifieringen så är det rimligt att anta att sådana fel drabbar alla kraftslag. Dock kan det slå olika beroende på kraftslag.

- Studierna är endast giltiga för Vattenfalls anläggningar, de säger inte något om kärnkraftens klimatpåverkan i andra länder.
- Den låga klimatpåverkan för kärnkraften väcker lätt misstro. Men samma metodik har använts för alla Vattenfalls kraftslag, det finns inte anledning att tro att något kraftslag har favoriserats, sådana försök bör komma fram i den externa granskningen.
- Att det här är ett kraftbolags egen LCA leder ofta till misstänksamhet. Självklart använder Vattenfall LCA:erna i sin marknadsföring, likt andra företag som vill visa på att man tar miljöhänsyn. Problemet är inte att Vattenfall har genomfört LCA och EPD för sina kraftslag, fler kraftproducenter borde göra det. Det kräver dock resurser, en EPD kan vara alltför kostsam för ett mindre kraftbolag att genomföra.
- Det förekommer uttalanden om att kärnkraften är fossilfri, koldioxidfri eller klimatren, med hänvisning till Vattenfalls LCA. Inget av de begreppen är korrekta eftersom klimatpåverkan inte är noll, mer korrekta ordval är fossilsnål, koldioxidsnål eller klimatsnål, precis som för sol-, vind- och vattenkraft.

Sammanfattning

Det är svårt att hitta uppenbara problem med Vattenfalls LCA, delvis för att den inte är transparent, och delvis för att det är en diger uppgift att gå igenom de data som redovisas öppet. Den kan innehålla felaktigheter men återkommande kontroller och uppdateringar leder till att felen identifieras och korrigeras. För svenskt perspektiv är denna LCA viktig i diskussionen om kärnkraftens klimatpåverkan, hur det ser ut i andra länder ger den inget svar på.

IPCC och NREL – Warner och Heath (2013) [22]

Den internationella klimatpanelen IPCC gör inga egna LCA:er men tar upp sammanställningar av forskningsläget. I kapitel 9 av deras specialrapport om förnybar energi och klimatminskande åtgärder [22] återges en bild med spannen för resultaten av LCA:er för olika kraftslag. Denna sammanställning är metastudier genomförda av forskare vid National Renewable Energy Laboratory (NREL) i USA. Kommentarer nedan inriktar sig på vad som står i den publicerade artikeln [23].

Typ av rapport

- Tekniska rapporter och publicerade i vetenskapliga tidskrifter med granskning.
- Metastudie av 34 olika LCA:er.

- Harmoniserar värden och tittar på hur det påverkar medelvärden och spann.

Kommentarer på metodik, antaganden och slutsatser

- Artikeln börjar med att försöka reda ut svårigheterna att bedöma olika LCA:er enhetligt när olika metodik, systemgränser och antaganden används.
- Efter ett litteratursök och kvalitetsgranskning av över 270 LCA:er har författarna använt sig av 34 olika studier, varav 27 för lättvattenreaktorer.
- Studierna uppvisar ett stort spann i klimatpåverkan på 220 g CO₂e/kWh mellan högsta och lägsta värde. Författarna använder sig därför av en så kallad harmoniseringsprocess för att kunna jämföra de olika studierna på en mer jämlik basis. Harmoniseringen går ut på att identifiera vilka faktorer och antaganden i analyserna som kan bidra till att ge olika resultat. Exempelvis uppskattas en kärnreaktors drifttid mellan 30 och 60 år i de olika studierna, vilket bidrar till varierande slutresultat. Författarna harmoniserar då genom att sätta samma drifttid och skala om data, sedan undersöker de hur det påverkar resultaten.
 - Harmoniseringen genomförs huvudsakligen för sex olika parametrar samt för alla parametrar gemensamt. Harmonisering av kapacitetsfaktor (dvs hur stor del av året som reaktorn levererar el), drifttid och termisk verkningsgrad ger en ökad överensstämmelse mellan de olika studierna.
 - Harmonisering av hantering av använt bränsle, konstruktion och rivning ger nästan inga variationer alls i slutresultaten, men det finns endast ett begränsat antal studier där dessa kategorier ingår.
 - Vid harmonisering för alla parametrar gemensamt ändras medelvärdet från 25 g CO₂e/kWh till 18 g och medianvärdet (dvs resultatet från den studie som ligger i mitten av alla studier) ändras endast från 13 g till 12 g.
 - Studien tittar både på kokvattenreaktorer och tryckvattenreaktorer gemensamt, och var för sig. Notervärt är att maxvärdet för kokvattenreaktorer, vilket är den dominerande reaktortypen i Sverige, ändras från 30 g CO₂e/kWh till 17 g efter harmonisering. För tryckvattenreaktorer ligger maxvärdet på 220 g CO₂e/kWh och ändras till 110 g efter harmonisering.
 - Författarna ser ingen större skillnad i resultat när de tittar på variationen mellan LCA:er där anrikning sker med den nu utdaterade diffusionsmetoden och den mer energisnåla centrifugmetoden. Energimixen för anrikning tycks spela en större roll än anrikningsmetoden.
 - En annan faktor som ger förvånansvärt liten effekt på slutresultaten är harmonisering med avseende på uranhalt i malmen från gruvbrytningen. Författarna

ägnar ett avsnitt åt detta och antar en modell för att få med en förväntad effekt av ökade utsläpp vid brytning av malm med avsevärt lägre uranhalt än idag. Detta leder i scenarier med kraftigt ökad andel kärnkraft till högre klimat-påverkan, i extremfallet 110 g CO₂e/kWh för fallet där anrikningen sker med den nu utdaterade diffusions-metoden och med en elmix baserad på en stor andel fossila bränslen. Författarna påpekar dock att de inte tagit hänsyn till potentialen för teknisk utveckling av effektivare och miljövänligare brytningsmetoder. Dessutom visar samma undersökning att den ökade klimatpåverkan från brytning av lägre uranhalt ger slutresultat under 20 g CO₂e/kWh för en energimix med låg fossilanvändning.

- Artikeln avslutas med en lång lista av identifierade svagheter i metodiken och luckor i tillgängliga data, samt rekommendationer för framtida LCA:er.
- Studiens resultat jämförs med bland annat Sovacool [6] och Storm van Leeuwen [8] och skillnader i metodik diskuteras.
- Samma metodik har använts i separata studier för alla kraftslag. Det material som IPCC använder sig av inkluderar alla studierna.

Vanliga missförstånd

- Det är förekommer påståenden att IPCC har gjort denna metastudie. Det är alltså NREL som utfört den och IPCC använder sig av resultaten i sina rapporter.

Sammanfattning

Warner och Heath har genomfört en väldigt intressant metastudie med en lowvärd metod för att kunna jämföra olika studier på samma bas. Det är något förvånande att skillnaden mellan anrikningsmetoder inte ger större skillnader i resultat, framtida studier bör ge bättre klarhet i detta. Effekterna av gruvbrytning av malm med lägre uranhalt ska inte försummas, men författarna pekar även på att det finns flera sätt att undvika högre utsläpp.

Mattias Lantz – Uppsala universitet och Analysgruppen

Källor och länkar

1. B. Bodlund, "[Analysera för att agera](#)", Analysgruppen, Bakgrund nr 1, 2014.
2. U.R. Fritsche and S. Lim, "[Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life Cycle Perspective – updated version](#)", Öko-Institut e.V., Darmstadt, January 2006.
3. International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS), "[GEMIS - Global Emissions Model for integrated Systems](#)".

4. U.R. Fritsche, *"Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung - Arbeitspapier"*, Öko-Institut e.V., Darmstadt, March 2007.
5. World Nuclear Association, *"[South Africa country profile](#)"*.
6. B. Sovacool, *"Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey"*, *Energy Policy* 36 (2008) 2940.
7. Retraction Watch, *"[Authors retract paper linking nuclear power to slow action on climate change](#)"*, 28 November 2016.
8. J.W. Storm van Leeuwen, *"[Nuclear power insights](#)"*.
9. Se exempelvis diskussionen mellan några fysiker på University of Melbourne och Jan Willem Storm van Leeuwen på [Nuclearinfo.net](#).
10. K. Tokimatsu et al., *"Evaluation of lifecycle CO₂ emissions from the Japanese electric power sector in the 21st century under various nuclear scenarios"*, *Energy Policy* 34 (2006) 833.
11. M.Z. Jacobson, *"[Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security](#)"*, *Energy Environ. Sci.* 2 (2009) 148.
12. C. Mooney, *"[Stanford professor withdraws \\$10 million libel suit against journal, academic critic](#)"*, Washington Post, 23 February 2018.
13. World Nuclear Association, *"Comparative carbon dioxide emissions from power generation"*, 2008.
14. F.H. Koch, *"Hydropower-internalized costs and externalized benefits"*, International Energy Agency (IEA) – Implementing agreement for hydropower technologies and programs, Ottawa, Canada, 2000. Bilden går att hitta [här](#).
15. V.M. Fthenakis and H.C. Kim, *"Greenhouse-gas emissions from solar electric- and nuclear power: A life-cycle study"*, *Energy Policy* 35 (2007) 2549.
16. World Nuclear Association, *"[Uranium Enrichment](#)"*.
17. Intergovernmental Committee on Climate Change (IPCC), *"[Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change](#)"*.
18. D. Westlén, *"[Fjärde generationens kärnkraft](#)"*, Energiforsk rapport 2016:317.
19. Vattenfall, *"[Livscykelanalys – Vattenfalls elproduktion i Norden](#)"* (pdf).
20. Vattenfall, *"[EPD – miljödeklarerad el](#)"*.
21. Environdec, *"[The International EPD® System](#)"*.
22. IPCC Working group III, *"[Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation \(SRREN\)](#)"*, (2012).
23. E.S. Warner and G.A. Heath, *"Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Electricity Generation – Systematic Review and Harmonization"*, *Journal of Industrial Ecology* 16 (2012) S73.
24. National Renewable Energy Laboratory, *"[Life Cycle Assessment Harmonization](#)"*, (2014).