



Framtidens el – så påverkas klimat och miljö

En delrapport

IVA-projektet *Vägval el*

KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN (IVA) är en fristående akademi med uppgift att främja tekniska och ekonomiska vetenskaper samt näringslivets utveckling. I samarbete med näringsliv och högskola initierar och föreslår IVA åtgärder som stärker Sveriges industriella kompetens och konkurrenskraft. För mer information om IVA och IVAS projekt, se IVAS webbplats: www.iva.se.

Utgivare: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2016
Box 5073, SE-102 42 Stockholm
Tfn: 08-791 29 00

IVAS RAPPORTER: Inom ramen för IVAS verksamhet publiceras rapporter av olika slag. Alla rapporter sakgranskas av sakkunniga och godkänns därefter för publicering av IVAS vd.

PROJEKTRAPPORT (IVA-M): En projektrapport summerar en betydande del av ett projekt. Projektrapporter kan vara en delrapport eller en slutrapport. En slutrapport kan bygga på flera delrapporter. Projektrapporter innehåller en faktabaserad analys, observationer och diskuterar konsekvenser. Slutrapporter innehåller tydliga slutsatser och prioriterade policyrekommendationer. En delrapport är ofta resultatet från en arbetsgrupps insats. Delrapporter innehåller endast begränsade slutsatser och policyrekommendationer. Projektets styrgrupp godkänner alla projektrapporter för publicering och dessa sakgranskas av IVA för att garantera vetenskaplighet och kvalitet.

IVA-M 467
ISSN: 1102-8254
ISBN: 978-91-7082-918-5

Författare: Birgitta Resvik, Fortum & Rose-Marie Ågren, Sweco
Projektledare: Jan Nordling, IVA
Redaktör: Camilla Koebe, IVA
Layout: Anna Lindberg & Pelle Isaksson, IVA

Denna rapport finns att ladda ned som pdf-fil
via IVAS hemsida www.iva.se

Förord

Rapporten är framtagen av Arbetsgruppen för klimat och miljö inom ramen för IVAS projekt Vägval el.

Uppgiften för Arbetsgruppen för klimat och miljö har varit att belysa konsekvenser av de möjliga framtida alternativ för den svenska elförsörjningen som har arbetats fram av Arbetsgruppen för elproduktion inom Vägval el. Det är det svenska elsystemet som beaktas i en internationell kontext.

Vi har så långt som möjligt försökt att beakta klimat- och miljöaspekterna ur ett livscykelperspektiv. Klimat- och miljöområdet är komplext och ett område som inte varit möjligt att behandla i sin helhet inom projektet. Vi har valt att avgränsa oss till de mest relevanta klimat- och miljöfaktorerna för naturmiljön och hållbarhetsaspekter för elsystemet.

Arbetsgruppen för klimat och miljö har haft en bred sammansättning med representanter med olika bakgrund och kunskap. Detta har gett en unik möjlighet att inhämta fakta och bidragit till många intressanta och givande diskussioner. Arbetsgruppen har anordnat ett flertal seminarier och bjudit in experter till möten för att få fram det dagsaktuella kunskapsläget samt uppdragit åt Ecofys¹ att genomföra en studie kring ekonomisk värdering av miljöeffekter. Huvudförfattare till rapporten har varit Birgitta Resvik och Rose-Marie Ågren.

Stockholm april 2016

Arbetsgruppen för klimat och miljö:

Birgitta Resvik, Fortum (ordförande)

Rose-Marie Ågren, Sweco (delprojektledare)

Anna Wolf, Naturskyddsföreningen

Cecilia Kellberg, Svensk Energi

Dag Henning, Naturvårdsverket

Hanna Paradis, Swedegas

Helen Axelsson, Jernkontoret

Helle Herk-Hansen, Vattenfall

Jenny Gode, IVL Svenska Miljöinstitutet

Karin Jönsson, E.ON

Lena Westerholm, ABB

Lennart Sorby, Havs- och vattenmyndigheten

Måns Nilsson, Stockholm Environment Institute, SEI



Innehåll

1. Sammanfattning	7
2. Inledning	11
3. Hållbarhet för ett elsystem nu och i framtiden	13
Sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter	13
Avvägningar och/eller synergier	13
4. Mål och styrmedel	15
ENS hållbarhetsmål – en viktig inriktning av den svenska politiken	15
Mål för energi och klimat i EU och Sverige	16
De 16 nationella miljö kvalitetsmålen	17
Ekonomiska och administrativa styrmedel i miljö-, klimat- och energipolitiken	19
5. Klimatförändringar påverkar miljön och elsystemet	23
Högre temperaturer, mer nederbörd och högre tillväxt i skogen	23
Möjliga effekter på elproduktionen	24
6. Viktiga miljöfrågor för elsystemet 2050	25
Solkraft	25
Vindkraft	26
Biokraftvärme	26
Avfall	27
Kärnkraft	27
Vattenkraft	28
Gaskraft som balanskraft	29
Import och export	29
Transmissions- och distributionssystem	30
Användning	31
Produktionslagens klimatpåverkan	31
Miljö- och hälsoaspekter på tilläggsystem	33
7. Ekonomisk värdering av miljöeffekter	37
8. Påverkan på dagens miljö kvalitetsmål	41
9. Morgondagens klimat- och miljöutmaningar respektive möjligheter	43
Klimatpåverkan	43
Värdering av biologisk mångfald	48
Resursanvändning	49
10. Bilaga	53



I. Sammanfattning

Arbetsgruppen har analyserat klimat- och miljökonsekvenserna av de fyra alternativ som har målats upp inom projektet Vägval el av Arbetsgrupperna för elproduktion, eldistribution och transmission samt elanvändning. Alternativen är: Mer vattenkraft, Mer sol och vind, Mer biokraft och respektive Ny kärnkraft. Ansatsen har varit att belysa de huvudsakliga utmaningarna för klimatet och miljön, vad som är stort och smått, samt vilka av Sveriges 16 nationella miljö kvalitetsmål som främst berörs. Arbetsgruppen har även gjort en expertbedömning av i vilken riktning uppfyllnaden av miljö kvalitetsmålen kan förväntas utvecklas i de fyra alternativen. Både direkta och indirekta effekter har tagits upp.

Arbetsgruppen finner att biologisk mångfald, resursanvändning och klimatförändringar utgör viktiga framtida utmaningar inom klimat- och miljöområdet för elsystemet.

SYSTEMPERSPEKTIV

Vi vill inledningsvis konstatera att elsystemets påverkan på klimatet och miljön inte kan vara noll. Däremot kan och bör påverkan minimeras. Ur ett hållbarhetsperspektiv är det viktigt att ta hela energisystemet i beaktande i en internationell kontext. Det är mindre intressant att enbart bedöma själva elsystemet i Sverige med avseende på klimat- och miljöaspekter.

Utsläppen av fossila växthusgaser i de fyra olika alternativen är begränsade vid själva elproduktionen inom Sveriges gränser, då ett av grundantagandena är ett fossilfritt elsystem. Däremot kan indirekta växthusgasutsläpp ske vid byggfasen av ny elproduktion, vid utvinning och transporter av bränslen och vid produktion av till exempel solceller när de tillverkas i länder med fossila bränslen. Hur stora de indirekta växthusgasutsläppen blir är avhängigt hur snabbt de fossila bränslena kommer att ersättas vid dessa

verksamheter och utvecklingen av elsystemet i andra länder. Ett sätt att påskynda denna utveckling kan vara att krav i inköpsledet ställs på att tillverkningen ska ske med fossilfri energi.

Arbetsgruppens analys efter seminariediskussioner och expertpanelbedömning är att svåra miljöutmaningar inom det svenska elsystemet för framtiden är kopplade till resursanvändning och biologisk mångfald. Generellt bedöms att många miljöfrågor kommer kunna hanteras genom teknisk utveckling och implementering, exempelvis merparten av utsläppen till luft, men att det krävs medvetna incitament och åtgärder för att uppnå det. Som nämnts tidigare bedöms elsystemets framtida klimatpåverkan främst härröra från indirekta utsläpp från till exempel tillverkning av elproduktionsutrustning i andra länder.

En observation är att miljöaspekter har olika karaktär i de fyra alternativen, allt från stor lokal påverkan på miljön till indirekta effekter i andra länder, till exempel från tillverkning av komponenter och materialutvinning. Vi bedömer att de fyra alternativen, som avsiktligt gjorts som ytterligheter, alla har olika miljöaspekter som bör belysas.

Utvecklingen av energieffektivisering i samtliga sektorer är en viktig aspekt ur ett systemperspektiv. Det handlar om allt från omhändertagandet av restenergier från industrier eller datahallar till hur slutkonsumenten kan reagera på effekthållningen.

KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Temperaturökningen på norra hemisfären på grund av klimatförändringarna beräknas bli kraftigare än på global nivå och temperaturen förutspås öka med två till sex grader i Sverige. Denna temperaturhöjning är potentiellt en av de viktigaste orsakerna till förluster av biologisk mångfald och förändringar av ekosystemet.

Resultat av expertpanelens bedömning

Produktionsalternativ	1	2	3	4
Miljö kvalitetsmål	Mer sol & vind	Mer biokraft	Ny kärnkraft	Mer vattenkraft
1. Begränsad klimatpåverkan	→	→	↑	↑
2. Frisk luft	↗	↓	↑	↗
4. Giftfri miljö	→	→	→	↑
6. Säker strålmiljö	↑	↑	↓	↑
8. Levande sjöar och vattendrag	→	→	↗	↓↓
10. Hav i balans samt levande kust och skärgård	→	↗	→	↘
12. Levande skogar	→	↓	↗	↗
14. Storslagen fjällmiljö	↓	→	↗	↘
15. God bebyggd miljö	↑	↗	↗	→
16. Ett rikt växt- och djurliv	↗	↘	↗	↓

Samtidigt ger denna temperaturökning ett minskat uppvärmningsbehov i bostäder och lokaler, samt en ökad nederbörd, vilket ger förutsättningar för ökad vattenkraftsproduktion och en ökad tillväxt av biomassa. Dessa aspekter har självklart bäring på elsystemets utveckling.

BIOLOGISK MÅNGFALD

Biologisk mångfald har visat sig vara näst intill omöjlig att värdera fullt ut och inte heller i den genomförda Ecofys-studien är effekterna på biologisk mångfald inkorporerade i modellen fullt ut. Vi finner att detta är ett område där det behövs mer kunskap genom systematisk uppföljning och en fortsatt fördjupad dialog mellan olika parter.

Synen på biologisk mångfald skiftar och påverkan av olika verksamheter kan vara svår att objektivet bedöma. Det är ett område som behöver mer kunskap hos alla intressenter inom området för att kunna ge mer förutsägbara bedömningar vid exempelvis tillståndprocesser

Vi konstaterar också att biologisk mångfald, både vad gäller uttag av biomassa och effekter

vid vattenkraftsproduktion, är ett område som kräver politisk avvägning.

RESURSANVÄNDNING

Vid analysen har resursanvändningen bedömts vara en av de tre svåra miljöutmaningarna för framtiden. I alla alternativen förutsätts en ökning av el från biokraften. Med dagens teknik är det svårt att med enbart inhemska skogsrester på ett uthålligt sätt möta detta. Självklart kan annan biomassa komma ifråga, såsom andra skogsråvaror, rester från jordbruk och organiskt avfall. Skogsbiomassa är även en global handelsvara och import kan utgöras av uthållig biomassa. I slutändan kommer det att vara en ekonomisk fråga hur skogens och jordbrukets resurser kommer användas. Det skulle då underlätta om internationellt erkända hållbarhets-kriterier finns på plats. Det har framkommit att få energibolag idag ställer krav på spårbarhet vid inköp av biomassa, vilket borde vara en första åtgärd för att säkerställa biomassans ursprung.

En observation är att den svenska synen på biomassans klimatneutralitet och hållbart

skogsbruk inte är densamma som synes företrädas av vissa europeiska icke-statliga organisationer, så kallade NGOs (non-governmental organisations). EU-kommissionen utarbetar för närvarande hållbarhetskriterier för fasta biobränslen, vilket kan få en avgörande påverkan på utvecklingen av biomassa-användningen inom energisektorn.

När det till exempel gäller resursanvändningen av sällsynta jordartsmetaller, andra metaller och uran i samband med elsystemet är det viktigt ur miljösynpunkt att bedöma om omhändertagande kan ske genom återvinning eller om resursen förbrukas. Samtidigt sker det en snabb teknisk utveckling och förmodligen kommer till exempel sällsynta jordartsmetaller i vindkraftverk att ersättas med annat material, när kostnaden blir för hög. Som i all annan verksamhet ser vi det som självklart att elsystemet är en del av den cirkulära ekonomin.

Även genom mark- och vattenanvändning tas resurser i anspråk, vilket hanteras genom fysisk planering. I Sverige har kommunerna ett stort ansvar för denna planering av mark- och vattenområden. Plan- och bygglagen ska väga olika samhällsintressen mot varandra. Sverige har ingen nationell planering men staten kan påverka den fysiska planeringen genom nationella mål och genom att peka ut anspråk för riksintressen. Mark- och vattenanvändningen har belysts till viss del i detta arbete, bland annat genom en beskrivning av vindkraftens markanvändning.

Kraftfull teknikutveckling av produkter, delvis med koppling till digitalisering, samt även inom själva elsystemet ger möjligheter till energi-effektivisering som är ytterligare en aspekt som är viktig för resursfrågan. Inom transportsektorn är övergången från fossila bränslen till eldrift en sådan positiv resurseffektivisering, då eldriften är avsevärt mer effektiv.

PRODUKTIONALTERNATIVENS MILJÖPÅVERKAN

En observation är att miljöaspekter har olika karaktär i de fyra alternativen som Arbetsgruppen produktion har definierat, allt från stor

lokal påverkan på miljön till indirekta effekter av produktion i andra länder. Vi bedömer att de fyra alternativen har olika miljöpåverkan och att det är omöjligt att rangordna alternativen utifrån ett miljöperspektiv

ALTERNATIVET MER VATTENKRAFT har kraftig påverkan på biologisk mångfald då några alternativt samtliga, orörda älvar i Sverige antas tas i anspråk. Att på ett acceptabelt sätt inverka på den biologiska mångfalden vid nybyggnation i en orörd natur, där vandringshinder skapas, är i princip omöjligt. Effektivisering och effektökning av vattenkraftsproduktionen i nuvarande utbyggda vattendrag bör kunna utformas utan väsentligt ökad negativ inverkan på djurs och växters livsmiljöer. Samtidigt ställs redan nu krav på miljöåtgärder för att uppnå EUs ramvattendirektiv, vilket gör det utmanande ur miljösynpunkt att se hur vattenkraftsproduktionen skulle kunna utökas kraftfullt. Ur miljösynpunkt vore det intressant att studera om framtida utvecklade strömkraftverk kan bidra till ökad produktion. Alternativet Mer vattenkraft kommer även ha behov av stor transmissionsutbyggnad från norr till söder i Sverige, vilket ger vissa miljökonsekvenser.

ALTERNATIVET MER SOL OCH VIND kommer kräva en stor andel lagringskapacitet, efterfrågefleksibilitet och effektreserv, vilket bör produceras fossilfritt. En utbyggnad av transmissionsnätet krävs också vid detta alternativ, vilket kan påverka den lokala miljön vid själva ledningsdragningen. För detta alternativ är det även av stor vikt att följa utvecklingen av tillverkning av utrustning i andra länder för att få kunskap om miljöpåverkan från tillverkning av till exempel solceller, vindkraftkomponenter och system. Detta alternativ ställer även krav på större korttidsreglering av vattenkraften, vilket kan ge upphov till en förändrad vattenmiljö, samtidigt som vissa fördelar kan nås med mer vattenföring. Sol- och vindkraftens tidsvariationer kan även mötas av utökad användning av gaskraft eller batterilagring. Generellt krävs mer kunskap om miljöaspekterna, på kort och längre sikt, vid tillverkningen av batterier, både beträffande metallutvinning och den totala

energiåtgången. Idag tillverkas en allt större andel batterier i Kina med mycket fossila bränslen i energimixen. Gaskraft kan drivas av antingen bio- eller naturgas, där det sista ger upphov till fossila koldioxidutsläpp. Vindkraftens miljöpåverkan utgörs lokalt av landskapsförändringar, risk för störningar för känsliga biotoper, fladdermöss och fåglar samt ljudeffekter. De största utsläppen för vindkraft kommer ifrån tillverknings- och byggnadsfasen, där vissa effekter är indirekta och beror av produktionsland och metoder.

ALTERNATIVET MER BOKRAFT har antagit en mycket stor användning av biomassa, vilken huvudsakligen ska komma från restprodukter från skogsbruket. Bedömningen är dock att det blir svårt att på ett uthålligt sätt leverera denna volym utifrån endast inhemska rester från skogen. Ett högre uttag ger en större miljöpåverkan på till exempel biologisk mångfald. Detta ställer större krav på spårbarhet. Alternativet innebär också ökade transporter med olika miljöpåverkan.

Den senaste potential som Skogsstyrelsen angett för den framtida tillgången på grenar och toppar (GROT) är en tredubbling mot idag, men skulle inte räcka. Självklart kan även annan biomassa komma ifråga, såsom andra skogsråvaror eller rester från jordbruk, men någon potential för energiändamål har inte bedömts för dessa resurser. Alternativet är samtidigt helt avhängigt av en snabb teknikutveckling på kraftvärmeområdet för att öka andelen el. Bedömningen är att kondensdrift inte är aktuellt ur ekonomisk synvinkel, enligt produktionsgruppen, och den kan även ifrågasättas ur ett system- och resursperspektiv. Ett bredare systemperspektiv, till exempel genom utveckling av framtida biokombinat, där även biodrivmedel produceras och

resurseffektiviteten blir högre, kan vara ett mer miljöoptimalt alternativ.

I ALTERNATIVET NY KÄRNKRAFT ersätts i princip dagens system med motsvarande kärnkraftsproduktion med viss utveckling av dagens teknik. Ur miljösynpunkt ger detta alternativ upphov till utsläpp vid bränsleutvinning och transport, vid byggnation av anläggningar samt till en totalt ökad volym av kärnavfall som ska hanteras, jämfört med idag. Ur resurssynpunkt skulle en teknikutveckling till kärnkraftsgeneration IV ge stora positiva effekter på bränsleanvändningen och minska riskerna vid avfallshandlingen. Lokaliseringsmässigt har det till stora delar antagits vara en kopia av det elsystem vi har idag och förväntas därmed inte påverka nätutvecklingen i någon högre grad.

GENERELLA OBSERVATIONER

Osäkerheterna i miljöbedömningar för tidshorisonten 2030 till 2050 blir speciellt stora för tekniker som idag växer och utvecklas snabbt, såsom solceller och batterier. Utvecklingen går fort och dagens litteraturdata kring miljöaspekter i ett livscykelperspektiv är därmed högst osäkra. Ett större fokus på miljöaspekterna behövs generellt för nyutvecklade tekniker.

Större tekniksprång måste beaktas i utvecklingen av elsystemet. En marknadsmodell inklusive styrmedel behöver utformas, som kan främja teknikutveckling inom både användning, distribution och produktion.

De fyra alternativen som avsiktligt designats som ytterligheter, går inte att inbördes rangordna. Samtliga alternativ innehåller för- och nackdelar ur ett miljö- och klimatperspektiv, varför ett politiskt vägval erfordras.

2. Inledning

VÄGVAL ELS VISION – ETT HÅLLBART ELSYSTEM BORTOM 2030

Denna rapport belyser vilka klimat- och miljöeffekter som ett framtida elsystem kan ha i Sverige sett i tidsperspektivet 2030 till 2050. Rapporten är en övergripande analys av klimat- och miljökonsekvenserna av de alternativ som har tagits fram inom projektet Vägval el av produktions-, distributions- och användargrupperna. De fyra scenarier för framtidens elproduktion som har tagits fram är: Mer vattenkraft, Mer sol och vind, Mer biokraft samt Ny kärnkraft. Utgångspunkten har varit att elproduktionen ska vara fossilfri 2050. För mer detaljer om de olika alternativen hänvisar vi till rapporten från Arbetsgruppen för elproduktion: *Sveriges framtida elproduktion*.

Ansatsen har varit att belysa vilka som är de huvudsakliga utmaningarna för miljön, både avseende direkta och indirekta effekter, samt vilka konsekvenserna blir för de nationella miljö kvalitetsmål som främst berörs av förslagen till energilösningar. FN har även under hösten 2015 antagit nya hållbarhetsmål, vilka kan komma påverka hur Sveriges mål formuleras framöver, varvid detta även belysts ur ett energiperspektiv.

Under projektets gång har även framgång nåtts med det globala klimatavtal som förhandlades fram under FN-processen, COP 21, i Paris i december 2015. Målet är att den globala uppvärmningen ska begränsas till "klart under" två grader jämfört med förindustriell tid och ansträngningar ska göras för att nå 1,5 grader. Detta är självklart ett avgörande steg mot mindre fossilanvändning på global nivå. Detta borde därmed få en inverkan på hur världens energiförsörjning utvecklas i framtiden, vilket

då även påverkar de kommande indirekta utsläppen i Sverige.

I Sverige pågår även en process med Miljömålsberedningen, som ska föreslå en ny klimatpolitik med nya mål för Sverige. Ett delbetänkande presenterades i mars 2016, med förslag på en klimatlag och att det svenska klimatmålet skärps från det tidigare netto noll-utsläpp av växthusgaser år 2050 till netto noll år 2045. Netto noll-utsläpp innebär, enligt Miljömålsberedningen, att utsläppen i Sverige minskar med minst 85 procent jämfört med 1990 års nivåer. Det är dock viktigt att ha i åtanke att själva elsystemet i Sverige redan idag är till 98 procent fossilfritt, enligt 2014 års produktions-siffror.

Visionen för IVA-projektet är "ett hållbart elsystem bortom 2030 som ger effektiv och trygg elförsörjning med konkurrenskraftiga priser". "Hållbart" är ett mångfacetterat begrepp och som ett led i att finna en gemensam nämnare presenteras även vår tolkning av detta.



3. Hållbarhet för ett elsystem nu och i framtiden

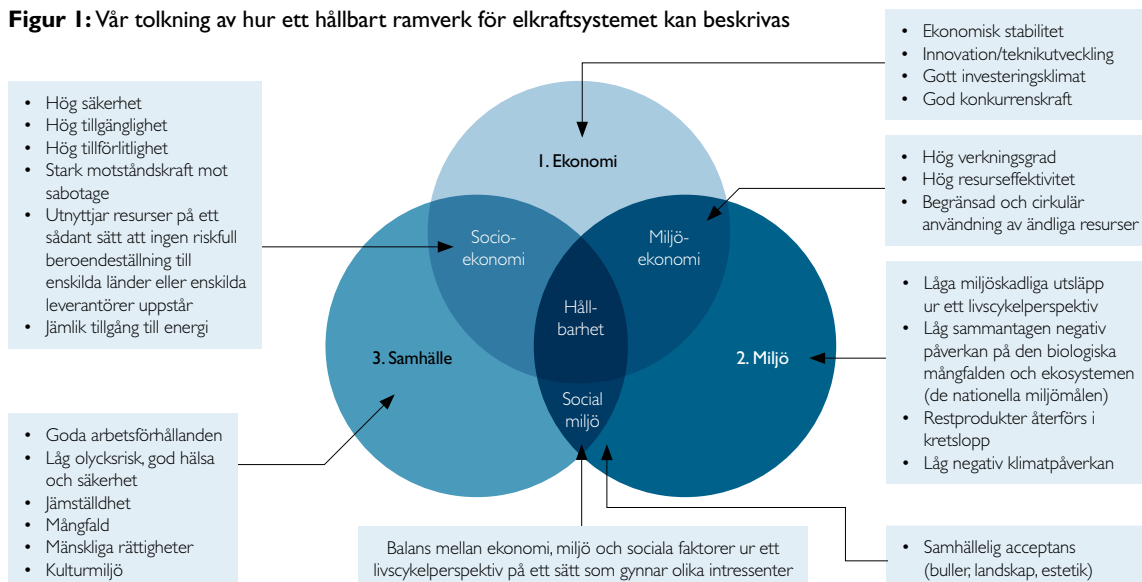
SOCIALA, EKONOMISKA OCH MILJÖMÄSSIGA ASPEKTER

Ett långsiktigt hållbart elkraftssystem producerar el utan att överträda det ramverk som jordens resurser sätter eller andra viktiga samhällsvärderingar. Hur detta ramverk ser ut är en avvägning mellan en rad olika aspekter inom områden som kan härledas till både ekonomi, miljö och samhälle, vilket illustreras i Figur 1. Klimat- och miljöområdet är komplext och ett område som inte varit möjligt att behandla i sin helhet inom projektet. Vi har valt att visa i princip alla hållbarhetsaspekter och sedan avgränsa oss till de mest relevanta klimat- och miljöfaktorerna för naturmiljön samt hållbarhetsaspekterna för elsystemet.

AVVÄGNINGAR OCH/ELLER SYNERGIER

De långsiktiga aspekterna i utformningen av ett elkraftssystem bör ses ur ett livscykelperspektiv. Hållbarhet, som är det övergripande målet, byggs upp av olika delar, som dels ibland kan ses som konkurrerande, dels ibland kan anses ha synergier med varandra. Utbyggnad av ett hållbart elkraftssystem behöver ske under ekonomiskt stabila förhållanden i ett gott investeringsklimat. Förväntningarna på elkraftssystemet kan inte vara att negativ miljöpåverkan eller negativ påverkan på samhälleliga faktorer ska vara noll, men dessa ska minimeras. Att väga olika effekter av elsystemet mot varandra bör göras ur ett perspektiv som omfattar hela samhället och verkar för en god utveckling på en helhetsnivå. Prioriteringar mellan olika mål kan skapa målkonflikter, men även synergieffekter.

Figur 1: Vår tolkning av hur ett hållbart ramverk för elkraftssystemet kan beskrivas





4. Mål och styrmedel

FNs HÅLLBARHETSMÅL – EN VIKTIG INRIKTNING AV DEN SVENSKA POLITIKEN

I september 2015 antog FNs medlemmar ett nytt globalt ramverk för global hållbar utveckling, med nya mål för hållbar utveckling – Sustainable Development Goals; SDG, vilka illustreras i Figur 2. Den så kallade 2030-agendan innebär en nyordning för det globala samarbetet på flera sätt. Ramverket innehåller 17 mål och 169 delmål, en deklaration och mekanismer för genomförande och uppföljning.

Målen är integrerade, det vill säga de hänger ihop och ska betraktas som en ”odelbar helhet”, och täcker in ekonomiska, sociala, miljömässiga och institutionella dimensioner av utveckling. Målen är universella och ska genomföras av och i alla världens länder. Agendan är dessutom att betrakta som transformativ, det vill säga den sätter upp höga ambitioner för fundamentala systemförändringar som på ett genomgripande

Figur 2: Översikt av FNs hållbarhetsmål

1. Stoppa fattigdom Stoppa fattigdom i alla dess former överallt	2. Stoppa hunger Stoppa hunger, uppnå matsäkerhet och förbättrad näring och främja hållbart lantbruk	3. God hälsa Säkerställa välmående liv och främja god hälsa för alla vid alla åldrar	4. God utbildning Sörja för utbildning av god kvalitet för alla och främja livslångt lärande	5. Jämställdhet Uppnå jämställdhet mellan kön och bemyndiga alla kvinnor och flickor	6. Rent vatten Säkerställa tillgång till vatten och god hygien för alla
7. Prisivård och ren energi Säkerställa tillgång till prisvärd, pålitlig och modern energi för alla	8. Hållbar tillväxt Sörja för hållbar ekonomisk tillväxt, anställning och värdigt arbete för alla	9. Resilient infrastruktur Bygga resilient infrastruktur, främja hållbar industrialisering och främja innovation	10. Reducera ojämlikhet Reducera ojämlikhet inom och mellan länder	11. Hållbara städer Göra städer inkluderande, säkra, resilienta och hållbara	12. Hållbar konsumtion Säkerställa hållbar konsumtion och produktionsvägar
13. Klimat åtgärder Vidta omedelbara åtgärder för att bekämpa klimatförändring och dess påverkan	14. Liv under vatten Bevara och nyttja haven och dess marina resurser	15. Liv på land Hållbart nyttjande av skog, motverka ökenutbredning, stoppa och vända markförstörelsen, stoppa förlusten av biologisk mångfald	16. Rättvisa & fredliga samhällen Främja rättvisa, fredliga och inkluderande samhällen	17. Globala samarbeten Återuppliva de globala samarbetena för hållbar utveckling	

Inom energimålet (nr 7) finns följande fem delmål:

- 7.1 Senast 2030 säkerställa allmän tillgång till ekonomiskt överkomliga, tillförlitliga och moderna energitjänster.
- 7.2 Till 2030 väsentligen öka andelen förnybar energi i den globala energimixen.
- 7.3 Till 2030 fördubbla den globala förbättringstakten vad gäller energieffektivitet.
- 7.a Till 2030 stärka det internationella samarbetet för att underlätta tillgång till forskning och teknik inom ren energi, inklusive förnybar energi, energieffektivitet samt avancerad och renare fossilbränslebaserad teknik, samt främja investeringar i energiinfrastruktur och reneteknik.
- 7.b Till 2030 bygga ut infrastrukturen och uppgradera tekniken för att leverera moderna och hållbara energitjänster till alla i utvecklingsländerna, i synnerhet de minst utvecklade länderna

sätt ska förändra samhället från lokal till internationell nivå.

Det är intressant och positivt att dessa mål tar sig an helheten och tydliggör vikten av den internationella utvecklingen. Synsättet som Agendan har speglar väl den tolkning av hållbar utveckling, som arbetsgruppen gör i kapitel 2.

För mål nr 7, om att säkra tillgången till kostnadseffektiv, säker hållbar och modern energi till alla, har Sverige en viktig roll på den internationella planet med export av både teknik och kunskap. Sverige tillhör idag de ledande inom EU, och bland de främsta på global nivå, vad gäller andelen förnybar energi i vårt energisystem (Christian Kroll, 2015). Det är därför svårt att idag avgöra hur SDG-åtagandet konkret kommer påverka våra ytterligare ansträngningar inom energiområdet på hemmaplan.

Från regeringens sida är ambitionen tydlig att Sverige generellt ska gå före. Det finns enligt regeringen två skäl till detta: dels att

det är moraliskt rätt och vi har ett ansvar för människor i hela världen, men också för framtida generationer, dels att det är också ekonomiskt smart. Svenska företag ska vara de som tar fram den nya teknik och de nya lösningar som världen ropar efter för att minska koldioxidutsläppen och Sverige gynnas som land av att ligga i framkant av klimatomställningen (Stefan Löfven, 2016).

Hållbarhetsmålen kommer att omsättas i den svenska politiken och EU-politiken, hur är dock ännu inte klarlagt. 2030-agendan är inte legalt bindande men Sverige har tillsammans med åtta andra länder (Tyskland, Brasilien, Colombia, Sydafrika och så vidare) åtagit sig att vara ett föregångsland i genomförandet. Tre ministrar delar det svenska regeringsansvaret för genomförandet och en delegation har tillsatts. Det är även för tidigt att uttala sig om vilken påverkan FNs hållbarhetsmål har på de svenska miljökvalitetsmålen.

MÅL FÖR ENERGI OCH KLIMAT I EU OCH SVERIGE

EUs klimat- och energimål

För att motverka klimatförändringar och luftföroreningar, minska beroendet av importerade fossila bränslen och ha konkurrenskraftiga energipriser har EU fastställt följande klimat- och energimål för 2020:

- 20 procent lägre utsläpp av växthusgaser än 1990
- 20 procent av energin ska komma från förnybara källor
- 20 procent ökad energieffektivisering i förhållande till ett referensscenario (EU, 2010)
- 10 procent förnybar energi i transportsektorn

EU har dessa mål för 2030:

- 40 procent lägre växthusgasutsläpp än 1990
- 27 procent av energin ska komma från förnybara källor
- 27 procent ökad energieffektivisering i förhållande till referensscenariot

Målen syftar till att uppnå ett mer konkurrenskraftigt, säkert och hållbart energisystem och ska uppmuntra till privata investeringar i ledningsnät och fossilfri teknik. EU har även målet att till 2050 minska växthusgasutsläppen med 80 procent (EU, 2016).

Sveriges mål

De viktigaste målen för den svenska klimat- och energipolitiken till år 2020 är (Riksdagen, 2008):

- 40 procent lägre utsläpp av växthusgaser än 1990 för utsläpp som inte ingår i utsläppshandelssystemet
- 20 procent mindre tillförd energi per BNP-enhet än år 2008
- 50 procent av energianvändningen ska täckas av förnybar energi

Sverige strävar också efter att ha en fossiloberoende fordonsflotta 2030. Det finns även en

vision om att Sverige 2050 ska ha en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning utan nettoutsläpp av växthusgaser. Det är mot bakgrund

av dessa mål som Arbetsgruppen för elproduktion haft som utgångspunkt att elproduktionen ska vara fossilfri 2050 sett över året.

DE 16 NATIONELLA MILJÖKVALITETSMÅLEN

Det övergripande målet för den svenska miljöpolitiken är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen i Sverige är lösta utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sverige. Det innebär bland annat att kretsloppen ska vara resurseffektiva, att det sker en god hushållning med naturresurser samt att andelen förnybar energi är hög och att energianvändningen är effektiv. Förutom det övergripandet så kallade generationsmålet finns sexton nationella miljö kvalitetsmål med sikte

på 2020 (Naturvårdsverket, 2016) illustrerade i Figur 3.

Nedan beskrivs de miljö kvalitetsmål som bedöms ha störst bäring på elsystemet. Alla bedömningar kommer från Naturvårdsverkets fördjupade utvärdering av miljömålen 2015.

Målet *begränsad klimatpåverkan* säger att halten av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatet inte blir farlig. Det preciseras som att den globala ökningen av medel-



Figur 3: Sveriges nationella miljö kvalitetsmål

1. Begränsad klimatpåverkan
2. Frisk luft
3. Bara naturlig försurning
4. Giftfri miljö
5. Skyddande ozonskikt
6. Säker strålmiljö
7. Ingen övergödning
8. Levande sjöar och vattendrag
9. Grundvatten av god kvalitet
10. Hav i balans samt levande kust och skärgård
11. Myllrande våtmarker
12. Levande skogar
13. Ett rikt odlingslandskap
14. Storslagen fjällmiljö
15. God bebyggd miljö
16. Ett rikt växt- och djurliv

Illustration: Tobias Flygar

temperaturen begränsas till högst 2°C jämfört med den förindustriella nivån och att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på lång sikt stabiliseras på högst 400 ppm koldioxid-ekvivalenter. Målet kommer inte att kunna nås till 2020 med befintliga och beslutade styrmedel och åtgärder. Utvecklingen är negativ eftersom den globala halten av växthusgaser ökar, främst på grund av användningen av fossilt bränsle för el- och värmeproduktion, industriprocesser och transporter.

Frisk luft innebär att luften ska vara så ren att människors hälsa eller djur, växter och kulturvärden inte skadas. Det ska vara låga halter av luftföroreningar såsom partiklar och kvävedioxid. Målet nås inte men utvecklingen är positiv eftersom halterna minskar.

När vi har *bara naturlig försurning* underskrider de försurande effekterna av nedfall och markanvändning gränsen för vad mark och vatten tål. Målet nås inte men utvecklingen är positiv eftersom nedfallet av försurande ämnen minskar.

Med en *giftfri miljö* menas att ämnen i miljön som skapats i eller utvunnits av samhället inte ska hota människors hälsa eller ekosystem. Detta mål nås inte heller och utvecklingen har ingen tydlig riktning. Vissa miljögifter minskar men globalt ökar spridningen av farliga ämnen.

I en *säker strålmiljö* skyddas människors hälsa och den biologiska mångfalden mot skadliga effekter av strålning bland annat genom att individens exponering för skadlig strålning begränsas och att utsläppen av radioaktiva ämnen i miljön begränsas. Målet är nära att nås. Strålsäkerheten utvecklas positivt inom flera områden förutom exponeringen för UV-strålning.

Levande sjöar och vattendrag är ekologiskt hållbara, bland annat genom att ha strukturer och vattenflöden som ger möjlighet till livsmiljöer och spridningsvägar för vilda växt- och djurarter. Hav i balans samt levande kust och skärgård ska ha en biologisk mångfald. Havet ska ha en långsiktigt hållbar produktionsförmåga och kust och skärgård ska ha upplevelse-, natur- och kulturvärden. Dessa två mål nås inte och utvecklingen är otydlig. Exempelvis behöver fler vandringshinder undanröjas och konflikter mellan kustområdets bevarande och nyttjande hanteras.

Levande skogar innebär att skogens värde för biologisk produktion ska skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras samt kulturmiljövärden och sociala värden värnas. Målet nås inte och utvecklingen är otydlig eftersom mer skog skyddas men många arter är hotade. Miljöhänsynen vid avverkningar förbättras men hyggesfria brukningsmetoder behöver användas mer.

Målet en *storslagen fjällmiljö* säger att fjäl- len ska ha en hög ursprunglighet för biologisk mångfald. Verksamheter ska bedrivas med hänsyn till upplevelse-, natur- och kulturvärden. Fjällens karaktär av betespräglad storslaget landskap med vidsträckt sammanhängande områden ska bibehållas. Målet nås inte och utvecklingen går åt fel håll eftersom bland annat vindkraft påverkar miljön negativt.

Målet *god bebyggd miljö* säger bland annat att byggnader och anläggningar ska lokaliseras och utformas så att en långsiktigt god hushållning med resurser främjas. Infrastruktur för energisystem mm ska anpassas till människors behov, minska resurs- och energianvändning och klimatpåverkan samt ta hänsyn till natur- och kulturmiljö, estetik, hälsa och säkerhet. Främst förnybara energikällor ska användas och avfall ska tas till vara. Målet nås inte men utvecklingen är positiv bland annat tack vare allt mer energieffektiva byggnader.

Ett rikt växt- och djurliv innebär att den biologiska mångfalden bevaras och nyttjas på ett hållbart sätt. Arternas livsmiljöer och ekosystemen värnas. Arter skall kunna fortleva i långsiktigt livskraftiga bestånd med tillräcklig genetisk variation. Inte heller detta mål nås till 2020 och utvecklingen är negativ bland annat på grund av bristande hänsyn när resurser nyttjas och för lite skydd av naturmiljöer.

Övriga miljömål bedöms inte påverkas lika mycket eller lika direkt av energiförsörjningen: skyddande ozonskikt, ingen övergödning, grundvatten av god kvalitet, myllrande våtmarker och ett rikt odlingslandskap. Av dessa mål nås endast skyddande ozonskikt, mycket tack vare att den globala överenskommelsen mot ozonnedbrytande ämnen (Montrealprotokollet) är framgångsrik.

Genomgången visar att flertalet av de uppsatta

miljökvalitetsmålen inte kommer att uppnås. En viktig faktor i detta är tidsperspektivet, då målen är formulerade som ett generationsmål, dvs de ska vara uppnådda till år 2020. Även själva

formuleringen av vissa mål kan diskuteras, dvs om de överhuvudtaget är uppnåeliga. I ett längre perspektiv är ändock bedömningen att flera av målen bör vara möjliga att nå.

EKONOMISKA OCH ADMINISTRATIVA STYRMEDEL I MILJÖ-, KLIMAT- OCH ENERGIPOLITIKEN

Det finns ett stort antal skatter och andra styrmedel som påverkar elverksamhet i Sverige. Nedan beskrivs några av de för elverksamheten viktigaste miljö-, klimat- och energipolitiska styrmedlen. Utöver dessa finns även andra skatter och styrmedel som kan ha miljö- och klimat-effekter.

Skatter och avgifter

- **Koldioxidskatt** och energiskatt för bränsle utgår i princip inte för framställning av skattepliktig el. Vid användning av fossila bränslen i produktio-nen hänförs dock en viss del schablonmässigt till intern elanvändning och beskattas därmed.
- **Svavelskatt** utgår vid utsläpp av svaveldioxid vid förbränning av fasta fossila bränslen och torv. Skatt tas inte ut om svavelhalten i bränslet upp-går till maximalt 0,05 procent.
- **Kväveoxidavgift** minskar utsläppen av kväve-oxider från större förbränningsanläggningar och omfattar anläggningar med pannor som produ-cerar mer än 25 GWh per år. Större delen av de inbetalda avgifterna återbetalas av staten till de avgiftsskyldiga i proportion till deras andel av den sammanlagda produktionen.

Handel med utsläppsrätter

Syftet med handel med utsläppsrätter är att på ett kostnadseffektivt sätt minska växthusgas-utsläppen i EU. Länder och företag får möjlig-het att välja mellan att genomföra utsläpps-minskande åtgärder i det egna företaget eller att köpa utsläppsrätter som då genererar utsläpps-minskningar någon annanstans. Det finns ett begränsat antal utsläppsrätter som minskar varje år. EUs utsläppshandel inleddes i januari 2005 och omfattar cirka 13 000 anläggningar inom industri- och energiproduktion i EU, vilka

står för cirka 40 procent av EUs utsläpp av växt-husgaser. Den årliga minskningstakten av ut-släppsbubblan är idag satt till 1,74 procent. För närvarande pågår en översyn av regelverket för utsläppshandelssystemet inom EU som syftar till att fastställa villkoren för perioden 2021–2030. Efter 2021 är förslaget av EU-kommissionen att minskningstakten ökar till 2,2 procent per år.

Miljöbalken

Miljöbalken trädde i kraft den 1 januari 1999 och är en samordnad, breddad och skärpt miljö-lagstiftning för en hållbar utveckling. Syftet med miljöbalken är att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande gene-rationer kan leva i en hälsosam och god miljö. Alla typer av åtgärder som kan få betydelse för de intressen balken avser att skydda berörs. Detta oavsett om de ingår i den enskildes dag-liga liv eller i någon form av näringsverksamhet. Miljöbalkens regelverk påverkar tillkomsten av nya större elproduktionsanläggningar och nätanläggningar eftersom sådana måste prövas enligt miljöbalken. I samband med att myndig-heterna ger tillstånd för olika verksamheter så ställer de samtidigt miljökrav (villkor) på verk-samheten som måste uppfyllas för att verksam-heten ska få bedrivas.

I Miljöbalkens fjärde kapitel regleras även möjligheten att bygga ut ny vattenkraft med begränsningar definierade för ett antal älv-sträckor, inklusive förbud mot utbyggnad i de fyra nationalälvarna Torneälven, Kalixälven, Piteälven och Vindelälven.

Kärn- och strålsäkerhetslagstiftning

De generella principerna för kärnsäkerhet och strålskydd läggs huvudsakligen fast i kärn-

tekniklagen respektive strålskyddslagen. Även Miljöbalken är aktuell i sammanhanget. Frågor om strålning – såväl joniserande som icke joniserande – omfattas av bestämmelserna i balken. En kärnteknisk anläggning får inte innehas eller drivas utan tillstånd utfärdade enligt kärntekniklagen och miljöbalken. Det krävs alltså två separata tillstånd, utfärdade enligt två olika lagar, för att få inneha och driva en kärnteknisk anläggning. Bestämmelserna i dessa lagar kompletteras av förordningar och myndighetsföreskrifter som innehåller mer detaljerade bestämmelser.

Möjligheten att bygga ny kärnkraft regleras i miljöbalken genom en ändring som tillkom 2010 efter den energipolitiska överenskommelsen inom dåvarande regering. Lagstiftningen innebär att regeringen får tillåta ny kärnkraft endast om den nya reaktorn uppförs på samma plats som och ersätter en reaktor som varit i drift efter 31 maj 2005 och som är permanent avstängd vid det kommersiella idrifttagandet av den nya reaktorn.

Elcertifikatsystemet

Elcertifikatsystemet infördes i Sverige 2003 som ett styrmedel för att öka användningen av förnybar el. 2012 infördes en gemensam elcertifikatmarknad för Sverige och Norge. Målet med elcertifikatsystemet är att öka produktionen av el från förnybara källor med 28,4 TWh mellan 2012 och 2020 i Sverige och Norge tillsammans. För den del som finansieras av svenska kunder innebär målet att elcertifikatsystemet har ökat den förnybara elproduktionen med 30 TWh år 2020 jämfört med 2002. Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat stödsystem för utbyggnad av elproduktion från förnybara energikällor och torv i Sverige. De energikällor som har rätt att tilldelas elcertifikat är vindkraft, viss vattenkraft, biobränslen, solenergi, geotermisk energi, vågenergi samt torv i kraftvärmeverk. Grundprincipen för systemet är att producenter av förnybar el får ett elcertifikat av staten för varje MWh som producerats. Samtidigt har elhandelsföretagen en skyldighet att införskaffa en viss mängd elcertifikat i förhållande till sin försäljning och användning av el – så kallad kvotplikt. Genom försäljningen av elcertifikat får produ-

centerna en extra intäkt utöver intäkterna från elförsäljningen. Därigenom ökar de förnybara energikällornas möjlighet att konkurrera med icke förnybara källor.

Statligt stöd till solceller

Det finns sedan 2009 ett investeringsstöd till solceller,² vilket förstärktes av regeringen i budgeten för 2016. Alla typer av aktörer kan erhålla stödet: företag och offentliga organisationer samt privatpersoner.³ Stödets exakta utformning har justerats en del under åren.

Stödet har sannolikt bidragit till att främja intresset för solcellsinvesteringar, även om andra incitament för solesproduktion såsom energiskattebefrielse för egenproducerad el, elcertifikat samt andra faktorer haft en påverkan på intresset att investera i solceller. Det är svårt att säga vilken förändringen från solcellsstödet specifikt är. Stödet främjar nyinvesteringar av en produktionsform som har låg produktion under de timmar på året då effektuttaget är som högst (vintertid). Således bidrar inte stödet särskilt mycket till att klara effektbalansen under de mest kritiska tillfällena och det finns en risk att stödet långsiktigt leder till att effektbalansen försvagas (Sweco En rapport till Vägval el, 2015).

Lagstiftning gällande koncession inklusive miljöprovning av elnät

För byggnation av kraftledningar krävs tillstånd i form av en koncession. Ansökan görs hos Energimarknadsinspektionen. Tillståndsprocessen syftar bland annat till att undvika att parallella elnät byggs och för att minimera påverkan på miljö och hälsa. Miljöprovning som del av koncessionsansökan omfattar krav på samråd och upprättande av miljökonsekvensbeskrivning i enlighet med miljöbalken. Tillstånd krävs för alla starkströmsledningar som har en spänning, styrka eller frekvens som kan vara farlig för personer eller egendom. Undantag från kravet på tillstånd finns för vissa elledningar, så kallade icke-koncessionspliktiga nät. Koncessionspliktiga nät delas upp i två typer: nätkoncession för linje som omfattar stam- och regionnät där tillståndet gäller för en enskild kraftledning med en bestämd sträckning samt nätkoncession för

område som omfattar lokalnät och tillstånd för att driva elnätsverksamhet inom ett bestämt område.

Standarder inom produkt- och energiområdet

Det har generellt visat sig att standarder framförallt på ett internationellt plan är ett effektivt sätt att höja miljökrav på produkter. EUS ECO-design direktiv, vilket behandlar olika produktgrupper, har visat sig generellt höja energieffektiviteten och därmed indirekt minska både klimat- och miljöeffekterna vid användning av produkter.

Certifieringar mot standarder av olika ledningssystem fortsätter att öka enligt ISOs årliga statistik. Den mest märkbara ökningen står standarden för energiledning, ISO 50001, för, vilket kan vara en följd av Energieffektiviseringsdirektivet med krav på energikartläggning för stora företag. Totalt fanns det 6778 certifikat i världen och i Sverige fanns 87 stycken utfärdade. Intresset för ISO 50001 kan även vara en viss återspeglning av en ökad betydelse av hållbarhetsfrågor som energibesparingar och miljöpåverkan (www.sis.se, 2015).

Även miljöledningssystem skapar en systematik och ger företag underlag för att kartlägga stora och små miljöaspekter i sin verksamhet och därmed även bedöma energianvändningen. Generellt är uppslutningen stor bland de större svenska företagen (mer än 250 anställda), för miljöledningssystemet, ISO 14001, 80 procent har infört detta. För medelstora företag (50–249) anger Tillväxtverket (Tillväxtverket, 2014) att cirka 55 procent infört systemet samt att ytterligare 10 procent infört ett förenklat miljöledningssystem (Richard Almgren, Linköpings universitet). Enligt SIS finns i Sverige cirka 4 000 företag och organisationer certifierade mot miljöledningsstandarderna, och flertalet energiföretag i Sverige är certifierade enligt Svensk Energi.

Målstyrning inom miljöarbetet har utvecklats kraftfullt inom näringslivet de senaste åren och det kan konstateras att numera ligger företagen många gånger långt före lagstiftningen inom miljöområdet (Almgren, 2015).



5. Klimatförändringar påverkar miljön och elsystemet

HÖGRE TEMPERATURER, MER NEDERBÖRD OCH HÖGRE TILLVÄXT I SKOGEN

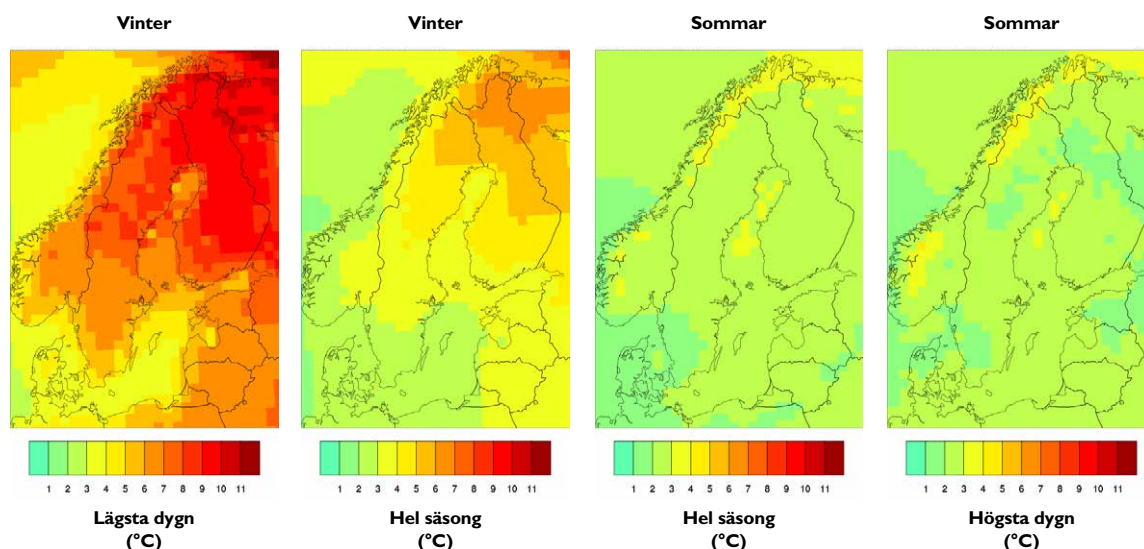
Sammantaget kan konstateras att temperatur-effekterna på grund av klimatförändringarna blir kraftigare i norra hemisfären och över land. Skulle temperaturökningen kunna hållas under 2 grader på global nivå betyder det ändå att temperaturen ökar kraftigare i Sverige. Scenarierna visar på en möjlig temperaturökning mellan 2–6 grader i Sverige enligt SMHI, Naturvårdsverket och Energimyndigheten vars slutrapport presenterades under hösten 2014. Rapporten beskriver olika scenarier utifrån klimatmodeller. (Strandberg, G., Barring, L., Hansson, U., Jansson, C.,

Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, M., Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A. and Wang, S., 2014)

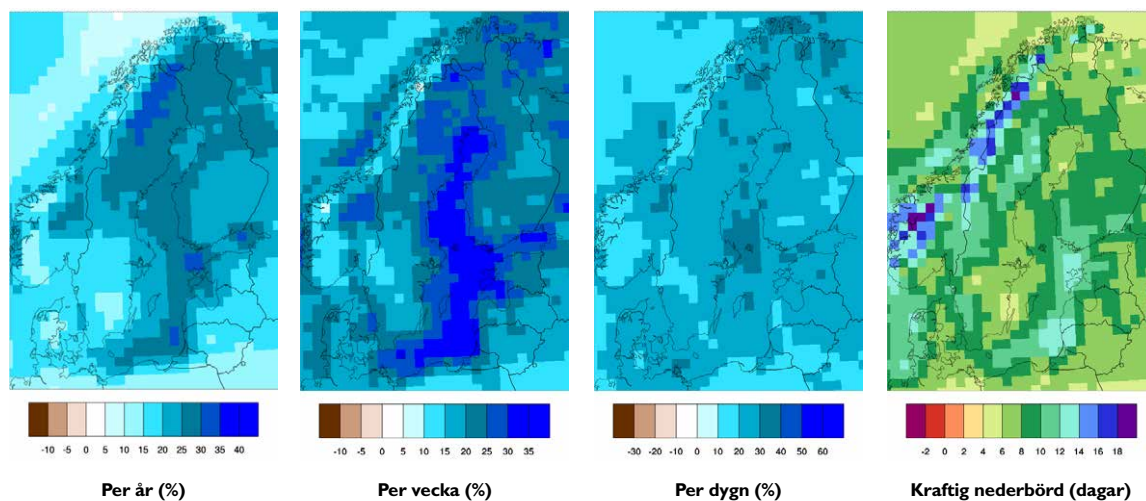
Mätningar idag visar att globalt har det skett en uppvärmning på cirka 0,8 grader sedan 1880-talet. Temperaturökningen i Sverige har varit ungefär dubbelt så stor som förändringen i global medeltemperatur sedan slutet av 1800-talet. Även om vi i Sverige kan få kraftigare värmeböljor sommartid så är den största skillnaden i temperatur under vinterhalvåret, se Figur 4.

Nederbörden kommer öka i Sverige, både

Figur 4: Illustration av hur temperaturerna kan utvecklas enligt SMHIs klimatscenarier. Källa: SMHI



Figur 5: Illustration av hur nederbörden kan utvecklas enligt SMHs klimatscenarier



på sommaren men framförallt vintertid. Regnmängderna ökar i storleksordning mellan 10–25 procent. Den ökade nederbörden sker framförallt under sommaren i norr och eventuellt minskar den i söder. I sydöstra Sverige kan dock nederbörden komma att minska, och i kombination med ökad temperatur leda till torrare förhållanden. Snö mängderna kommer minska

kraftigt och nederbörden kommer i form av regn istället på grund av ökad temperatur och därmed minskar stora delar av vårfloden då mindre snö mängder smälter, se Figur 5.

Vindstyrkorna bedöms däremot inte påverkas i någon större grad, eller snarare ger inte klimatmodellerna underlag för att göra sådana bedömningar.

MÖJLIGA EFFEKTER PÅ ELPRODUKTIONEN

Ökad nederbörd kan betyda en ökad vattenkraftsproduktion. Samtidigt kommer temperaturen att öka och därmed minskar behovet av uppvärmning, vilket ger en minskad potential för kraftvärmeproduktion, men även minskat behov av el för uppvärmning. Denna aspekt har tagits hänsyn till i delrapporten Framtidens elanvändning (Arbetsgruppen för elanvändning Vägval el, 2015). Tillgången på biomassa kommer att öka i Sverige då tillväxten ökar, vil-

ket Skogsstyrelsen har med i sina beräkningar för framtida tillväxt (Svante Claesson, Karl Duvemo, Anders Lundström, Per-Erik Wikberg, 2015). Samtidigt kan det bli dyrare att avverka då minskad tjäle gör skogen mer svårtillgänglig. Vindstyrkorna bedöms inte öka nämnvärt och därmed bedöms inte kraven på ökad robusthet behöva öka för transmissions- eller distributionsnäten. Vindkraften påverkas därmed heller inte nämnvärt.

6. Viktiga miljöfrågor för elsystemet 2050

Här görs en kort genomgång av miljöpåverkan från de olika kraftslagen samt de tilläggsystem som kan behövas i de olika elproduktionsalternativen för 2050. I Tabell 1 nedan visas en över-

sikt av de fyra alternativen (medelalternativet) som har arbetats fram inom Vägval el (Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016).

SOLKRAFT

Solceller är ett av de elproduktionsslag som har minst direkt miljöpåverkan eftersom inga utsläpp av växthusgaser genereras under användning och vid placering på byggnader eller inom bebyggd miljö tas ingen ny markyta i anspråk. Vid byggnadsintegrering av solceller direkt vid nybyggnation kan solcellerna ersätta annat material, exempelvis i glasrutor och takkonstruk-

tioner, vilket ger möjligheter till effektivare materialanvändning.

Utsläppen av växthusgaser är indirekta i hög grad och sker främst under tillverkningen varför antaganden om solcellernas tillverknings-sätt, livslängd och produktion spelar en stor roll när utsläppen beräknas och fördelas per kWh. Det faktum att stora delar av utsläppen

Tabell 1: Översikt av produktionsalternativen (medel)

Produktionsalternativ	1	2	3	4
Tekniker för elproduktion	Mer sol & vind	Mer biokraft	Ny kärnkraft	Mer vattenkraft
Vattenkraft, magasin	32.5	32.5	32.5	52.5
Vattenkraft, ström	32.5	32.5	32.5	32.5
Vind, landbaserad	55	40	20	35
Solkraft PV, på tak	15	5	5	5
Kärnkraftverk	0	0	50	0
Total KVV bestående av:	25	50	20	35
KVV-Biomassa (el)	23	48	18	33
KVV-Avfall (el)	2	2	2	2
Total produktion (TWh)	160	160	160	160

är indirekta betyder att solceller har potential att tillverkas mer utsläppsnålt i framtiden. Om större delen av en solpanel kan återvinnas blir utsläppen i nästa generation solceller troligtvis ännu mindre.

Tunnsolceller kräver mindre energi i tillverkningen och mindre resurser totalt sett, men innehåller i många fall sällsynta och miljöfarliga material, exempelvis sällsynta jordartsmetaller och kadmium. Kiselsolceller är mer energikrävande att tillverka och kräver mer resurser totalt sett, men baseras på ett av jordens vanli-

gaste ämnen (Laleman, Albrecht, Dewulf, 2010) (Varun, Bhat, Prakash, 2009).

Takmonterade kiselsolceller är den teknik som valts ut av Arbetsgruppen för elproduktion för att bidra till det svenska energisystemet 2050. Eftersom en så stor del av utsläppen är indirekta är det svårt att bedöma miljöpåverkan från framtida produktion och bruk av kiselsolceller. Den är i hög grad beroende av var solcellerna tillverkas och i vilken utsträckning den globala energimixens fossilberoende har minskat till dess.

VINDKRAFT

Vindkraften har låg klimatpåverkan och rätt placerad även en låg direkt miljöpåverkan. Vindkraftverk innebär dock en förändring av landskapet som påverkar växter, djur och människor. I vissa fall kan känsliga biotoper störas och även fågellivet samt fladdermöss kan påverkas (Vindval, 2015). Vindkraften kan därutöver upplevas som störande på landskapsbilden och vissa människor reagerar negativt på

ljudeffekter. De största utsläppen för vindkraft kommer ifrån tillverknings- och byggnadsfasen, där vissa effekter är indirekta och beror av produktionsland och metoder (Ecofys, 2015). Många vindkraftverk använder också sällsynta jordartsmetaller. Det är en förutsättning att denna användning i framtiden fasas ut och ersätts med andra material om vindkraften ska kunna bli långsiktigt hållbar.

BIOKRAFTVÄRME

Kombinerad produktion av el och värme utgör generellt ett effektivt resursutnyttjande, och med biobränsle har den förutsättning att bli hållbar och långsiktigt klimatneutral. Biomassans ursprung är av stor betydelse för hållbarheten och i alternativet Mer biokraft har antagits att det främst är restprodukter från svenskt skogsbruk som nyttjas. I alternativet har även antagits att det är kraftvärme som produceras, det vill säga ingen biobaserad kondenskraft i behov av kylning. Vid kondensdrift är även utsläpp av kylvatten en möjlig påverkansfaktor.

Arbetsgruppens antagande bygger även på ett teknisksprång i kraftvärmeproduktionen för att utnyttja bioresurserna effektivt och erhålla en betydligt högre elverkningsgrad genom Top-spool-

tekniken. Tekniken bygger på en integrerad för-gasningsprocess särskilt utvecklad för biobränslen. Top-spool behöver ett visst fortsatt utvecklingsarbete och demonstration i industriell skala innan den kan lanseras på bred front. Inför denna teknik, skulle givetvis en kraftfull ökad resurseffektivitet vara positivt för olika miljöaspekter.

Hur mycket biomassa som kan tas ut ur skogen och vad denna ska användas till för att bli klimatneutral diskuteras närmare i avsnittet *Biomassan allt viktigare men utmaningar för biologisk mångfald* i kapitel 9.

Partiklar och kväveoxider

Inom el- och fjärrvärmeproduktion är det främst förbränning av biomassa som orsakar

utsläpp av små partiklar. Utsläppen har ökat sedan 1990, i takt med att fjärrvärme som drivs med biobränslen byggts ut. Men bränsleanvändningen har ökat snabbare än utsläppen, vilket beror på att anläggningarna successivt fått bättre reningsutrustning. Utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktionen av små partiklar var cirka 3 200 ton år 2014, det vill säga cirka 16 procent av de totala utsläppen, som 2014 var 20 500 ton. Det är en minskning med 42 procent sedan 1990 (Naturvårdsverket, 2016).

Den största källan till utsläpp av små partiklar är däremot vanlig småskalig vedeldning, som står för 28 procent av de totala utsläppen. Industrin står för ungefär en fjärdedel. Utsläppen från tunga lastbilar har minskat dramatiskt, 82 procent under samma period, vilket är en följd av att striktare bränslekrav har införts (Naturvårdsverket, 2016).

AVFALL

Miljöbedömningen av avfallsförbränning är komplex och beror mycket på indirekta effekter i samhället. Avfallsförbränning kommer först på fjärde plats i EUs avfallshierarki (Avfallsdirektiv 2008/98/EG, 2008), men det är generellt bättre att utvinna energin ur avfallet än att deponera det i de fall återvinning inte är möjligt (Naturvårdsverket, 2015). Dock finns en risk att en stor satsning på avfallsförbränning kan leda till så kallade inlåsnings effekter där ett beroende av avfall som bränsle kan göra att incitamenten minskar för åtgärder högre upp i avfallshierarkin, som att förhindra upp-

KÄRNKRAFT

Kärnkraft är ett elproduktionslag med låg klimatpåverkan och med fördelen att den vid normal drift levererar stabil och planerbar elproduktion. Nackdelarna med kärnkraft inkluderar å andra sidan svårigheter och risker vid

Kväveoxid-utsläppen ligger på höga nivåer i många områden i Sverige. El- och fjärrvärme-sektorn står idag för mindre än tio procent av kväveoxid-utsläppen i Sverige, trots en kraftig ökning av produktionen under senare år. Enligt uppgifter från Naturvårdsverket minskade utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion under perioden 1990 till 2014, trots att biobränsletillförseln mer än fördubblades under perioden (Naturvårdsverket, 2016).

Utsläpp av kväveoxider kommer nämligen främst från transporter (40 procent), industri (22 procent) och arbetsmaskiner inom olika sektorer som står för 16 procent av de totala utsläppen, som år 2014 var 136 000 ton (Naturvårdsverket, 2016).

komst, återanvända och återvinna (Corvellec et al, 2013). Om miljöpåverkan skulle allokeras på sitt ursprungliga användningsområde tas dock inte indirekta effekter i samhället i beaktande, exempelvis substitutionseffekter i det fall förbränt avfall hade kunnat ersätta primär materialproduktion med bättre återvinningsstrukturer. Vid förbränning av matavfall går vi också miste om att använda restprodukterna från till exempel rötning och kompostering som växtnäring. Den biologiska återvinningen av matavfall ökar i samhället men den behöver förstärkas (Naturvårdsverket, 2015).

hantering av radioaktivt material och risk för olyckor som kan få stora konsekvenser.

Produktionsgruppens antaganden gällande alternativet ”Ny kärnkraft” är att de reaktorer som byggs när de gamla stängs är av typen

Gen III+. Denna typ av reaktor baseras, liksom dagens reaktorer, på den ändliga resursen uran. De två största påverkanskategorierna för kärnkraften är användningen av uran och kostnad för olyckor. Lokal miljöpåverkan av kärnkraften uppstår också vid uranbrytning, slutförvar av avfall samt lokal miljöpåverkan genom utsläpp av kylvatten i sjöar och hav. På motsvarande sätt som för tillverkning av t.ex. solceller kan det ske växthusgasutsläpp vid utvinning, transport och bearbetning.

Fjärde generationens kärnkraft, Gen IV, har stora fördelar ur miljö- och resurssynpunkt jämfört med dagens reaktorer och Gen III+. Framförallt skulle påverkanskategorin användning av uran ha minskat betydligt om Gen IV valts som teknik eftersom dagens kärnavfall kan förse den med bränsle under överskådlig framtid och ingen ny uran således behöver utvinnas. Olycksrisken minskar också betydligt jämfört med dagens reaktorsystem liksom tiden som avfallet behöver slutförvaras.

VATTENKRAFT

Vattenkraftens fördelar ur miljösynpunkt är låga utsläpp av växthusgaser och dess goda reglergenskaper som medför att den kan bidra till att integrera mer intermitterande produktion i systemet. Vattenkraften medför samtidigt stora, irreversibla effekter på vattenmiljöer och omgivande natur vid byggnation och drift, och är troligen det kraftslag som medför störst direkt skada på den biologiska mångfalden. Exempel på negativ påverkan är fördämningar, torrfåror, flödesvariation, reglerade sjöar samt kraftverkskanaler som innebär stora fysiska förändringar av naturens normala funktion. Tillsammans med vandringshinder för fisk och hinder för transport av organismer och organiskt material, förändrade flödesmönster och vattennivåer, leder detta till stora förändringar både lokalt och på vattensystemnivå där storskaliga processer förändras (Näslund et al, 2013).

Det är svårt att göra en allmän bedömning av påverkan från vattenkraft, eftersom de största miljöeffekterna beror på det lokala ekosystemets sammansättning (Singh et al, 2013). Därför är det grundläggande att ta hänsyn till de lokala förutsättningarna vid utarbetning av förslag på åtgärder i form av faunapassage och eventuella fisktrappor.

I arbetsgruppens alternativ Mer vattenkraft görs antagandet att idag skyddade älvar och vattendrag byggs ut i varierande omfattning, vilket skulle kräva en förändrad lagstiftning

och leda till irreversibel förlust av unika svenska miljöer.

Strömkraftverk

Utvecklade strömkraftverk skulle kunna vara ett sätt att undvika vandringshinder. I de strömkraftverk som för närvarande utvecklas, utvinns energin direkt ur vattenströmmarna och teknik används som liknar dagens vindkraftteknik: en turbin som drivs av vattenströmmarna och är kopplad till en generator.

Enligt Uppsala universitet (Lalander, 2013) skulle Sveriges älvar kunna ge upp mot 5 TWh från strömkraftverk. Hur turbinens skovlar påverkar miljön under ytan är däremot inte helt utrett ännu, men eftersom de snurrar betydligt långsammare än vattenkraftturbiner så är bedömningen att de inte skadar fiskar. Målet är att strömkraftverken ska generera elektricitet med hög verkningsgrad vid långsamma vattenrörelser. Strömkraftverken kommer inte att kunna styras direkt för att bidra till effekteregleringen. Om de däremot kan installeras i följd efter ett vattenkraftverk som kan regleras, borde strömkraftverket indirekt bidra till ökad effektförmåga.

GASKRAFT SOM BALANSKRAFT

Arbetsgruppens antagande i alternativet Mer sol och vind implicerar att en större andel av elproduktionen kommer från energikällor som varierar över tid. För att säkra elförsörjningen för konsumenterna krävs att det finns en viss andel snabbstartad elproduktion som kan kompensera för effektvariationer, som gaskraft, i det svenska elsystemet när detta inte kan lösas med efterfrågefleksibilitet eller import från våra grannländer.

Miljöpåverkan vid användning av gaskraft som balanskraft beror till stor del på vilken typ av gas som används. För att elproduktionen ska vara koldioxidneutral krävs antingen att produk-

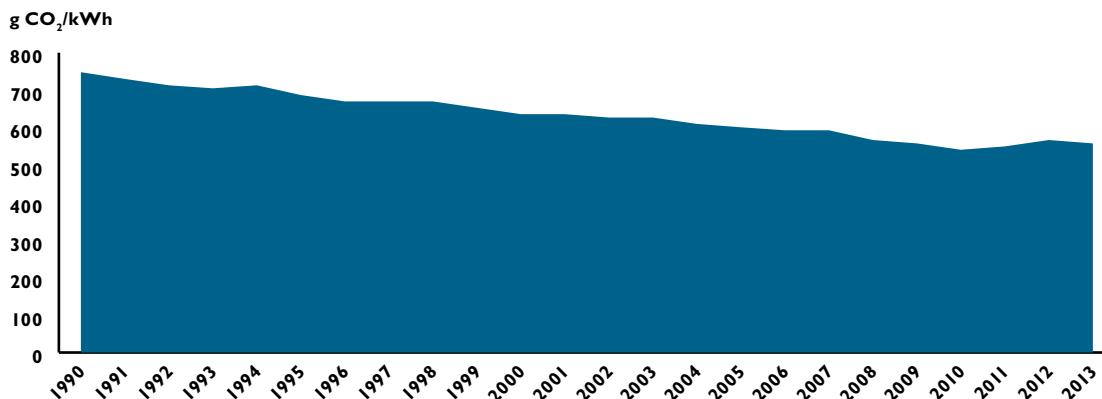
tionen sker med förnybar gas eller att koldioxidutsläppen för fossil gasanvändning kombineras med CCS-teknik. Utsläpp från drift av gaskombikraftverk med naturgas av den typ som finns i Sverige är 350–550 CO₂ekv/kWh^{el} och gasturbiner för enbart elproduktion ger utsläpp på cirka 620 g CO₂ekv/kWh^{el}. Om produktionen istället skulle ske med biogas så sker inga utsläpp av fossil koldioxid vid förbränning, men utsläppen för hela livscykeln skulle vara cirka 17–70 g CO₂e/kWh^{el} biogas beroende på vilken råvara som används (slam, hushållsavfall, gödsel, sockerbetor med mera) (Gode J, Martinsson F, Hagberg L, Öman A, Höglund J, Palm D, 2011).

IMPORT OCH EXPORT

Behovet av att importera el varierar både mellan olika år och under ett och samma år. Ibland har Sverige ett överskott och kan exportera en del av vår elproduktion (exempelvis 2012 då det fanns extra mycket vatten i vattenkraftverkens magasin). Andra år kan det vara brist på el, vilket gör att vi måste importera (exempelvis 2010 då det regnade mindre). Även inom ett och samma år kan det finnas en varia-

tion. Under 2014 var svensk nettoexport 15,6 TWh vilket är den näst största exporten någonsin efter rekordåret 2012 då 19,6 TWh nettoexporterades (Energimyndigheten, 2015). Hur stor miljöpåverkan från importerad el är 2050 beror på hur långt övriga Europa har kommit i sin energiomställning. Se Figur 6 nedan för den historiska utvecklingen i Europa (European Environment Agency, 2016).

Figur 6: Utvecklingen av CO₂-intensiteten i Europa (EU 28) från 1990 fram till 2013.



TRANSMISSIONS- OCH DISTRIBUTIONSSYSTEM

För transmissionssystemet är det generellt materialfasen med utvinning av råvaror och produktion av ingående material samt byggnationsfasen med avverkning, anläggning och materialtransport som dominerar miljökostnaden (se Figur 7). Driftsfasen har ett litet bidrag på cirka 10 procent i de två luftledningsfallen. Avvecklingsfasen har endast en marginell effekt på miljökostnaden. I slutvärderingen för samtliga tekniker står resursutarmning för 85–95 procent av den totala miljökostnaden. Biologisk mångfald har däremot mycket liten inverkan på slutvärderingen. Detta beror på att antalet arter som försvinner i ett område till följd av den studerade livscykeln miljöpåverkan är mycket litet (i storleksordningen hundradels arter) (Svenska Kraftnät, Karin Lövebrant, 2012). Slutvärderingen för alla studerade tekniker/komponenter som kan finnas i distributions- och transmissionssystemen visas i Figur 7 nedan.

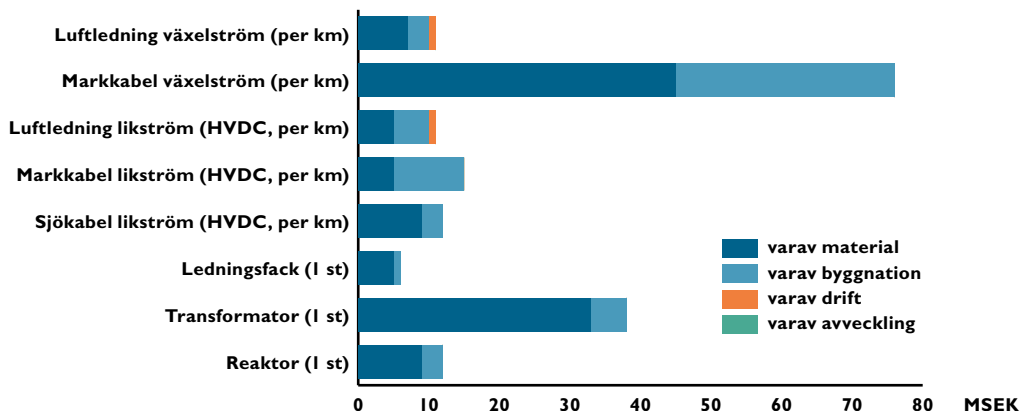
Ett antal studier i Norden (Svenska Kraftnät, Karin Lövebrant, 2012) visar alla att elproduktion för att täcka förlusterna i nätet står för den

största delen av miljöpåverkan för transmission och distribution.

Vattenfall har i genomförda livscykelanalyser (LCA) beräknat miljöpåverkan för lokal- och regionnät separat som bidrag till försurning, växthuseffekt, övergödning, ozonuttunning samt bildande av marknära ozon (Richard Jernlås, Vattenfall, 2008). Resultaten pekar på att överföringsförlusterna står för den största delen (trots att svensk elmix används för förlustvärderingen), men att även transporter och anläggningsmaskiner står för en icke-försumbar del. Materialåtervinning av koppar och aluminium är i stort sett fullständig i regionnäten beroende på att luftledningarna dominerar. För lokalnäten med stor andel jordkabel är återvinningen av dessa metaller mycket sämre. Slutsatsen dras att övergången till större andel stormsäker jordkabel i näten, kommer att medföra en allt lägre återvinningsgrad av metaller om inte återvinningsmetoder för jordkablar utvecklas. Vad gäller återvinning av järn, så beror förlusterna på den armering som blir kvar i vissa typer av stolpfundament vid ledningsrivning.

Figur 7: Bidrag från delar av livscykeln till miljökostnad för olika anläggningar.

Källa: Svk, bearbetat av Arbetsgruppen för klimat och miljö



ANVÄNDNING

Arbetsgruppen för elanvändnings rapport Framtidens elanvändning (Arbetsgruppen för elanvändning Vägval el, 2015) visar på en något högre elanvändning än idag, men att elektrifieringen troligen kommer att ersätta bränslen i vissa applikationer. Framförallt bör bränsleanvändning i mindre, utspridda källor, till exempel transporter, minska medan kvarvarande bränsleanvändning sker i större anläggningar med mer kontrollerbar miljöpåverkan.

BOSTADS- OCH SERVICESEKTOR: Hushållen använder redan idag huvudsakligen el eller fjärrvärme för uppvärmning och det bedöms inte ske några större förändringar inom sektorn, men en kontinuerlig effektivisering är att förvänta. En potentiell miljöeffekt kan komma från ökat behov av batterilösningar.

INDUSTRI: El kan ersätta bränslen, framförallt olja och gas, för uppvärmning i vissa processer. Industrin är idag mer elintensiv än motsvarande internationella anläggningar eftersom Sverige historiskt har haft god tillgång till el till konkurrenskraftiga priser (Arbetsgruppen för elanvändning Vägval el, 2015). I andra länder är det vanligt att naturgas används för uppvärmning och produktion av insatsvaror till processerna.

Större processindustrier omfattar ofta ett flertal processteg eller kluster av sammanlänkad industriverksamhet där resurser och energi nyttjas integrerat. Bränsleanvändningen inom kemiindustrin, skogsindustrin och i viss mån stålindustrin, baseras därför ofta på sekundär användning av råvarubasen i produktionen för att maximalt utnyttja energiinnehållet i råvarorna. Detta gör att potentialen för ytterligare

substitution av bränslen mot el är begränsad. I det fall el ersätter olja för uppvärmning är den främsta miljöpåverkan minskade utsläpp av koldioxid, kväveoxider och partiklar. Om substitutionen av olja i första hand kommer att ske mot gas, bidrar det steget till utsläppsminskningar av främst partiklar och kväveoxider men även till viss del växthusgaser.

De totala utsläppen av växthusgas år 2014 var cirka 54 miljoner ton koldioxidequivaler (Naturvårdsverket, 2016). En möjlighet är att använda vätgas för reduktion av järnmalm vilket skulle kunna reducera koldioxidutsläppen per år med upp till 10 procent. Det skulle innebära ett elbehov på upp till 20 TWh för vätgasproduktion (Arbetsgruppen för elanvändning Vägval el, 2015). Men då krävs ett tekniksprång.

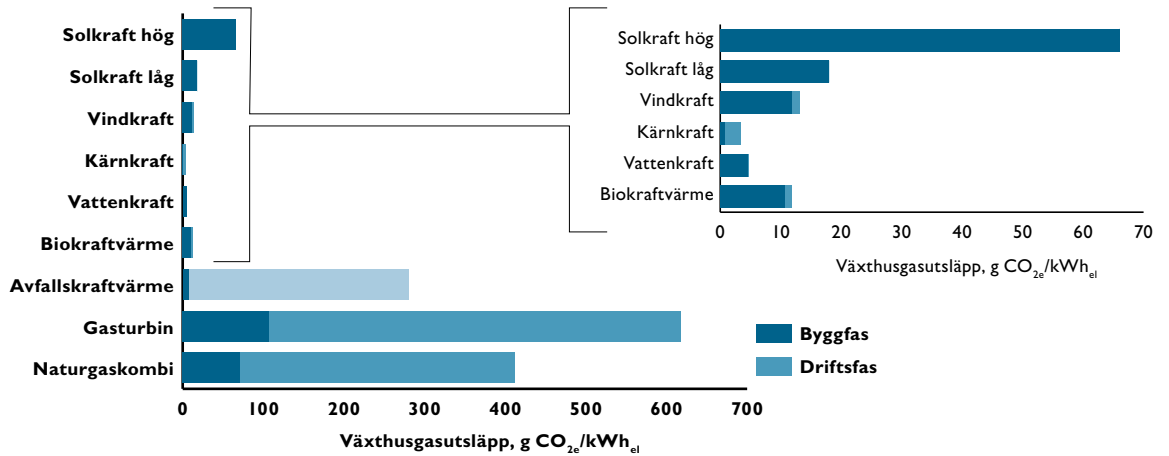
TRANSPORTER: Den stora potentialen för minskad miljöpåverkan genom ökad elanvändning finns inom transportområdet. Idag används cirka 30 TWh bensin och 40 TWh diesel inom transportsektorn. Bedömningen är att elanvändningen bortom 2030 kan ligga kring 10–16 TWh vilket skulle kunna motsvara hälften av dagens bränsleanvändning. Miljöeffekterna från transporter orsakade av bränsleanvändning är främst utsläpp av koldioxid, kväveoxider, partiklar och kolväten. En halverad användning av fossila drivmedel skulle minska koldioxidutsläppen med omkring 10 miljoner ton per år och kväveoxidutsläppen skulle kunna minska med närmare 30 000 ton per år, det vill säga drygt 20 procent. Ökad användning av elbaserade transporter skulle också vara positivt när det gäller buller eftersom transporter är det största källan till samhällsbuller.

PRODUKTIONSSLAGENS KLIMATPÅVERKAN

Olika produktionslag har olika klimatpåverkan – både i tillverkningsfasen och driftsfasen. Figur 8 illustrerar växthusgasutsläppen i livs-

cykelperspektiv för olika elproduktionstekniker baserat på LCA-data (Gode J, Martinsson F, Hagberg L, Öman A, Höglund J, Palm D,

Figur 8: Växthusgasutsläpp i livscykelperspektiv för olika elproduktionstekniker



2011). Den infällda figuren är en förstoring av elproduktionsteknikerna med låga utsläpp. Utsläppen är uppdelade i bygg- respektive driftsfasen. Siffrorna är baserade på data för dagens förhållanden. Som framgår av figuren dominerar utsläppen vid driftsfasen för de icke-förnybara kraftslagen, medan byggfasen utgör dominerande utsläppskälla för de förnybara kraftslagen. Med teknisk utveckling och lägre utsläpp från hjälpenergi särskilt i andra länder finns en stor potential att minska utsläppen, särskilt från tillverkningsfasen, i framtiden. För utsläppen som sker i driftsfasen är potentialen för kraftfulla minskningar inte fullt så stor utan utgörs främst av ökad verkningsgrad, bättre prestanda för hjälpenergi i driftsfasen samt för vissa kraftslag avskiljning och lagring av koldioxid (CCS).

Utsläppen från driftsfasen av avfallskraftvärmeverk beror till stor del av hur mycket fraktioner av fossilt ursprung (till exempel plast) som ingår och hur utsläppen allokeras mellan energisystemet och avfallshanteringen. På grund av denna osäkerhet är utsläppen från driftsfasen

för avfallskraftvärme markerade i ljusare blått i figuren.

Figuren är baserad på traditionell livscykelanalys, det vill säga emissionerna över hela livscykeln inventeras och sedan beräknas utsläppen per en funktionell enhet. I figuren är den funktionella enheten 1 kWh producerad el. Detta sätt att beskriva utsläppen under elproduktionens livslängd tar alltså inte hänsyn till när i tiden utsläppen sker. För klimatet har tidpunkten för utsläppen betydelse. Därför är det intressant att i mer detalj beskriva när utsläppen sker under livstiden och alltså göra en dynamisk livscykelanalys av de olika energislagen. En sådan analys är genomförd inom forskningsprogrammet North European Power Perspectives (Gode J, Adolfsson I, Hansson J, 2014). Det framkommer då att det sker utsläppstoppar vid byggnation av nya kraftverk. Traditionell livscykelanalys som inte tar hänsyn till när dessa toppar sker i tid kommer således att underskatta klimatpåverkan på kort sikt medan den överskattas på lång sikt.

MILJÖ- OCH HÄLSOASPEKTER PÅ TILLÄGGSSYSTEM

Med tilläggsystem avses de tekniklösningar som krävs för att grundsystemet – de fyra olika produktionsalternativen – ska fungera det vill säga upprätthålla effektbalansen och trygga leveranssäkerheten (Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016).

Lagring av el och dess miljöaspekter

Enligt rapporterna Sveriges framtida elproduktion och Sveriges framtida elnät (Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016), (Arbetsgruppen för eldistribution och transmission Vägval el, 2016) kommer det krävas en del tilläggsystem för att klara att hålla elsystemet i balans i framtiden. Med ökad väderberoende kraft kommer behovet öka av att jämna ut effekten i systemet, bland annat med hjälp av energilagring såsom vattenkraftsdammar och batterier. Lagring kan även ske genom kemisk lagring, till exempel att man omvandlar el till gas, så kallad power-to-gas, där gasen nyttjas i gasturbin vid senare behov. Vattenkraften utgör en möjlighet för både säsong- och även korttidslagring och dess miljöaspekter finns redan beskrivna i tidigare kapitel. Vi beskriver här korttidslagring med hjälp av batterier, pumpkraft och power-to-gas. Vid bedömningen av batterityperna förefaller litiumjontekniken bli mest konkurrenskraftig i framtiden, då det sker en kraftfull satsning för elbilar inom detta område.

Aspekter på miljö- och hälsofrågor för batterilagring

Litiumjonbatterier bedöms bli den dominerande batteritypen. Det visar sig dock finnas relativt få studier i litteraturen som beskriver miljöaspekterna av dessa batterier. Teknikutvecklingen går snabbt framåt vilket ger upphov till stora osäkerheter i dessa beskrivningar.

Olika former av litiumföreningar med järnkobolt-, mangansalter eller andra metallsalter ingår i dessa batterier och några av dessa föreningar är toxiska och kan ifrågasättas ur såväl hälso- som miljösynpunkt (Swerea IVF Stefan Posner, 2009). De organiska lösningsmedlen som används i litiumbatterierna är också ofullständigt undersökta.

En större LCA-studie av amerikanska naturvårdsverket, EPA, i samarbete med US Department of Energy från 2013 kring batterier (EPA, 2013), visar att det är skillnad mellan vilka metaller som ingår. Kobolt och nickel har större miljöpåverkan och det är därför viktigt att utveckla batterier med andra alternativ, såsom mangan och järn. För att få ned miljöpåverkan är det viktigt att det sker en storskalig återvinning. Idag är det enbart ett fåtal av metallerna som återvinns, men inte själva litiumet och aluminiumet. Det finns idag även en viss skepsis till att använda återvunnet material i själva batteritillverkningen. Det konstateras i studien att återvinningen måste utvecklas kraftfullt för att förbättra miljöaspekterna och minska energiåtgången.

Enligt EPA tyder det mesta på att de stora riskerna ur ett kemikalieperspektiv kring litiumjonbatterier ligger i själva tillverkningsfasen, med bland annat vattenföroreningar och den största energiåtgången sker vid utvinningen av metallerna.

Den primära energiåtgången för att tillverka litiumjonbatterier anges också till 1 780 MJ/kWh, det vill säga knappt 500 kWh/kWh batteri (EPA, 2013).

Grafit kan ersätta nickel, mangan eller kobolt, vilket är intressant då det redan nu används inom industrin i olika former utan att ge upphov till negativa effekter (Elforskrapporten). En fortsatt teknikutveckling är att vänta inom batteriområdet, vilket gör det svårt att idag bedöma hur miljöaspekterna kommer att förändras till år 2030 och framåt.

Växthusgasbelastning av batterier

I litteraturen finns ett fåtal referenser, som berör produktion av metaller och dess påverkan på växthusgasutsläpp i samband med utvinning. Det visar sig att uppgifterna skiljer sig kraftigt åt.

En studie vid Norwegian University of Science and Technology, från 2012 visar att växthuspåverkan för ett 26.6 kWh-batteri (253-kg batteripack) uppgår till 4.6 ton CO₂-ekvivalenter,

det vill säga 170kg/kWh eller 18 kg CO₂ EQV/kg (Troy R. Hawkins, Bhawna Singh, Guillaume Majeau-Bettez, and Anders Hammer Strømman, 2012).

Andra studier har hamnat på siffror från 22 kg CO₂-eq/kg (Majeau-Bettez G, Hawkins TR, Strømman AH, 2011) till 6 kg CO₂-eq/kg (Notter, D.A. et al, 2010) respektive 9.6 kg CO₂-eq/kg (Constantine Samaras, Kyle Meisterling, 2008). Det visar sig att skillnaderna till stor del beror på vilka antaganden som gjorts beträffande energimixen vid tillverkningen samt vilka systemgränser som satts. Det behövs således en bättre kunskap kring hur tillverkningen går till vid batteriproduktionen (Ellingsen, 2014). Idag tillverkas merparten av litiumjonbatterier i Sydkorea, och Japan, men alltmer tillverkas i Kina.

I Elforskstudien (Gunnar Hovsenius, Elforsk, 2009) anges 75 kg CO₂/lagrad kWh el (Ishihara Kaoru et al. Environmental Burdens of Large Lithium-ion batteries developed in Japan).

Vi kan således konstatera att siffrorna är osäkra och skiljer sig åt. Viktiga aspekter för att få ned växthusgaspåverkan är att energimixen vid tillverkningen blir fossilfri samt ett robust återvinningssystem för metallerna och kemikalierna i batterierna.

Potentialen av metaller

Frågan kring framtida tillgång av metallerna är också en fråga som diskuteras i litteraturen. Merparten av litium finns i vattenlösliga salter främst i Bolivia, Chile, Argentina och Kina (Gunnar Hovsenius, Elforsk, 2009). Den största produktionen sker idag i Chile och Argentina. Kobolt finns i relativt låga halter i jordskorpan, och utvinns idag såsom en biprodukt vid annan metallutvinning och kommer bland annat från Kongo och bedöms som konfliktmineral. Nickel har stora kända tillgångar i främst Australien, Brasilien, Indonesien, Kuba, Kanada Ryssland och Sydafrika. Även mangan finns i stora tillgångar i Sydafrika och Ukraina.

Aspekter på miljöfrågor för vattenkraft som lagring

Vattenkraftsutbyggnaden har medfört stora ingrepp i vattensystemen, både under byggnadskedet och under driftskedet, med skada lokalt

och på vattensystemnivå på den biologiska mångfalden, till följd av de stora fysiska förändringarna av naturens normala funktion. En utökad lagringskapacitet i befintliga magasin får troligen begränsad påverkan på vattensystemen utöver den befintliga påverkan, men det beror på utformningen, medan nya magasin kan medföra betydande skada på vattenmiljön. Fördelarna ur miljösynpunkt är låga utsläpp av växthusgaser och goda regleregenskaper som medför att vattenkraften kan bidra till att integrera mer intermittent produktion i systemet.

I några andra länder finns sedan länge lager i form av så kallade pumpkraftverk, där vatten kan pumpas upp till en högt liggande damm, för att sedan utnyttjas för elproduktion. I Sverige finns idag två större pumpkraftverk på totalt cirka 100 MW. Dessa möjliggör mer intermittent produktion i systemet. Förutsättningarna för pumpkraftverk, i större eller mindre skala, har inte utretts under nuvarande förutsättningar för elsystemet. Som energilager och reglering av intermittent produktion är det intressant, men det är svårt att göra bedömningar av dess miljöpåverkan. Om ytterligare pumpkraft byggs ut inom ramarna för befintliga vattenregleringar, bör konsekvenserna för miljön vara begränsade. Om helt nya och stora mark- och vattenområden behöver tas i anspråk, kan konsekvenserna snart bli betydande.

Aspekter på miljöfrågor för power-to-gas som lagring

I Power to Gas-konceptet kombineras koldioxidströmmar från industriella processer med vätgas producerad via elektrolys av vatten (med hjälp av förnybar el) för framställning av gas. Reaktionen är en kemisk omvandling av koldioxid till metan med hjälp av el. Power-to-gas ger en möjlighet att reglera överskott av el, till exempel från vind. Den producerade gasen kan lagras och användas vid kraftproduktion eller för att ersätta fossila drivmedel i transportsektorn. Koldioxid, som utgör en råvara i power-to-gas-processen, recirkuleras från industriella processer.

Då power-to-gas-anläggningar enbart finns som demonstrationsanläggningar främst fokuserade på att producera bränslen till trans-

portsektorn är det komplicerat att göra en miljöbedömning av tekniken. Den största påverkansfaktorn på de direkta utsläppen från produktionen av bränsle är vilken elmix som används (Walker, 2015). Då applikationen i Sverige främst skulle vara att producera bränsle från överskottsel från förnybar produktion kan denna effekt anses vara liten. Ur ett livscykelperspektiv ger produktion av bränsle genom power-to-gas mervärde för miljön då det minskar utsläppen av koldioxid till atmosfären genom att ta hand om restströmmar från industriella processer (Audi, 2014).

Elektromagnetiska fält

Magnetfält från kraftledningar och radiovågor från mobiltelefoner är exempel på elektromagnetiska fält. Ett flertal sammanställningar av forskningsresultat har konstaterat att vid exponering för låga nivåer av elektromagnetiska fält under myndighetens referensvärden, finns inga säkerställda hälsorisker (Strålsäkerhetsmyndigheten). I dagsläget finns det två identi-

fierade områden där skadliga hälsoeffekter vid exponering för elektromagnetiska fält inte helt kan uteslutas. Det handlar om exponering för magnetfält från exempelvis kraftledningar och elektriska apparater, samt radiovågor från den egna mobiltelefonen. Riktigt starka elektromagnetiska fält kan innebära hälsorisker och störa kroppens nervsignaler, men då krävs magnetfält som är hundratals gånger starkare än de som finns under de största kraftledningarna (Strålsäkerhetsmyndigheten, 2013). Då betydelsen av vår storskaliga vattenkraft i norr ökar, i tre av de fyra produktionsalternativen, ökar behovet av överföring från norr till söder (Arbetsgruppen för eldistribution och transmission Vägval el, 2016). En utökning av antalet kraftledningar kan öka risken för att fler människor och djur exponeras av elektromagnetiska fält, vilket kan vara en källa till obehag även om inga hälsorisker föreligger.



7. Ekonomisk värdering av miljöeffekter

Elproduktion är behäftad med olika former av negativa externa effekter i form av klimat- och miljöpåverkan. De negativa externa effekterna i form av föroreningar sprider sig genom luft, vatten och mark och har en påverkan på människornas hälsa, ekosystemet och den biologiska mångfalden. Elproduktion kan också bidra till utarmningen eller påverkan av olika tillgångar såsom vatten, metaller, bränslen, grödor med mera. Det finns även andra externa effekter från elproduktion såsom buller och olycksrisker. Olika elproduktionstekniker ger upphov till olika externa effekter och i olika hög grad. I en studie genomförd av Ecofys hösten 2015 har en kvantifiering och värdering i monetära termer av klimat- och miljöeffekter för fyra produktionsalternativ för Sverige 2050 genomförts. Studien baseras på en modell från arbetet med studien *Costs and Subsidies of EU project* (Ecofys, 2014) av Ecofys som genomfördes på uppdrag av DG Energy 2014. Huvudsyftet med EU-studien var att kvantifiera statlig påverkan/styrning av energimarknaden inom EU. En orsak till att staten behöver påverka/styra energimarknaden är att marknaden inte inkluderar alla externa kostnader som skador på miljö och klimat i energipriserna. Vi vill betona att metoderna för att kvantifiera de externa kostnaderna innebär en hög grad av osäkerhet, och att kvantifieringen endast syftar till att identifiera storleksordningen för externa kostnader som elproduktion ger upphov till.

Vid analys av miljökostnaderna av Ecofys arbete prissattes även utarmning av ändliga resurser, i form av vissa metaller och energiråvara som uran. Det kan diskuteras huruvida detta är

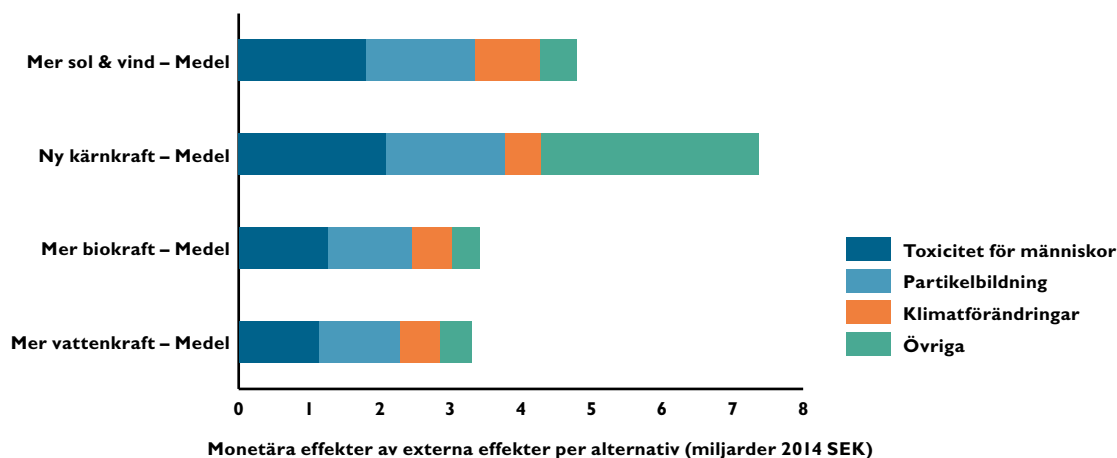
en aspekt som behöver tas med i denna typ av miljöekonomisk analys eller om man kan anse att ändliga resurser kommer att få ett högre pris när det uppstår en knapphet och därmed kan komma att ersättas av alternativ. Merparten av de nationalekonomer som intervjuats, från akademi och myndigheter, anser att det är fel att ta med denna aspekt, utarmning av energiresurser och även metaller, vid analysen av externa effekter. Det är i detta sammanhang viktigt att notera att Ecofys-studier ofta ligger till grund för EU-kommissionens analyser och att detta då är aspekter som tas med i deras avvägningar. Resultaten från kvantifieringen och värderingen 2015 redovisas här utan kostnader för utarmning av metaller och energiråvara, se Figur 9.

Beräkningarna har baserats på olika antaganden och för några nyckelvariabler har känsligheten analyserats. Ecofys antagande i basfallet innebär ett pris på koldioxid 2050 som är 500 kr/ton. För biokraftvärme har 52 procent av effekterna allokerats till el.

Känslighetsanalysen visar att resultaten påverkas av förändringar av nyckelvariabler, men i de flesta fall i låg grad och med i huvudsak likartade effekter för alla alternativen. Alternativen Biokraft och respektive Vattenkraft visar mycket låg känslighet för förändringar. Alternativet Sol och Vind är mest känsligt för variabeln teknikförbättring, som kopplar till de relativt höga antagandena om förbättring i dessa teknikers miljö- och klimateffekter, särskilt för solceller (Ecofys, 2015).

Det har även visats sig att underlag kring biomassa från Ecofys var baserat på mer central-

Figur 9: Externa kostnader per alternativ och år [miljarder SEK]. Källa: Ecofys Externality costs of power generation 2050 scenarios for Sweden per år. Bearbetad av Arbetsgruppen för klimat och miljö



europiska data. De har i analysen 2014 inte haft data kring flis från skogen, vilket kan ha gjort att tidigare analyser kring biomassa har fått missvisande data.

Beräkningarna visar att alternativen resulterar i en miljökostnad i intervallet tre till sju miljarder kronor per år, se Figur 9. Alternativet Ny kärnkraft resulterar i de högsta externa kostnaderna. Alternativen Mer biokraft respektive Mer vattenkraft är i stort sett likvärdiga i sina kostnader där vattenkraftalternativet har lägst externa kostnader. Mer sol och vind-alternativet uppvisar något högre externa kostnader.

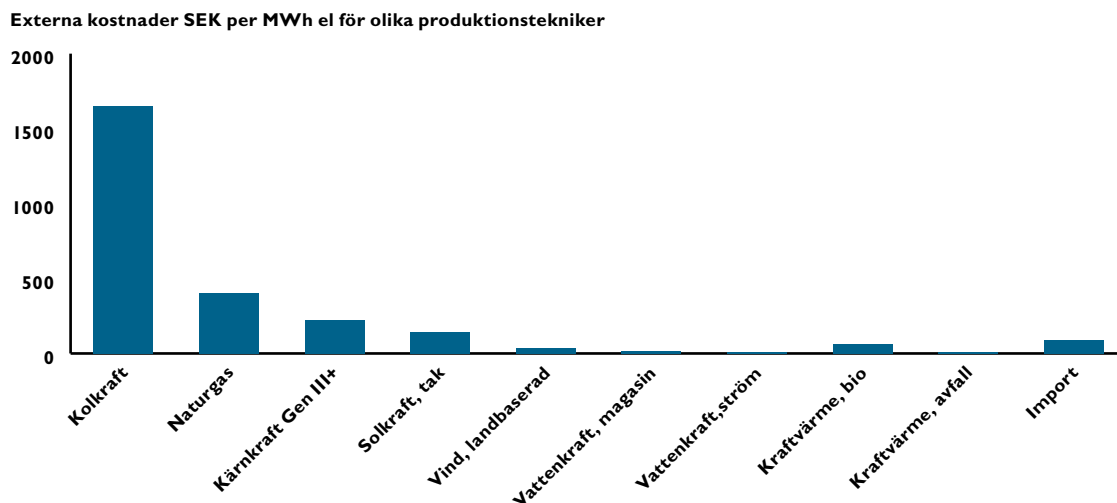
Kostnaden för toxiciteten för människor är relativt hög i samtliga alternativ. I alla alternativ, förutom Mer kärnkraft, är det huvudsakligen solceller, vindkraft och biokraft som är källan. I alternativet Ny kärnkraft adderas också kostnaden för toxicitet från kärnkraft till toxiciteten från solceller, vindkraft och biokraft, som också finns representerade i detta alternativ. Toxiciteten härrör från olika typer av föroreningar som skapar ohälsa, förkortar den statistiska livslängden och genererar en samhällskostnad/förlust.

Vattenkraft är ett av de kraftslag med minst

externa miljökostnader, enligt Ecofysrapporten. Detta beror på att påverkan på biologisk mångfald inte tagits i beaktande fullt ut i modellen/rapporten. Modellen tar till exempel inte hänsyn till vattenkraftens direkta påverkan på djurliv genom dammbyggen, vandringshinder, ändrad hydromorfologi, förändrade flöden med mera. Studien tar upp några parametrar som handlar om landanvändning, men räknar hektar för varje enhet producerad el jämfört med en genomsnittlig landanvändning som inte speglar de lokala miljöerna. Den tar inte heller upp vattenkraftens vattenanvändning och de tusentals hektar strömmande ekosystem som degraderas till sjöliknande system och ofta torrfårar.

De övergripande resultaten visar att toxicitet för människor, partikelbildning och klimatförändringar har störst enskild påverkan. Restande 13 kategorier av miljöpåverkan⁴ har samlats under övriga effekter, med relativt små bidrag med undantag för Kärnkraftsalternativet där kärnkraftsolyckor och joniserande strålning ger ett större bidrag. Det kan noteras att effekter inom kategorin Klimatpåverkan är relativt låga i alla alternativ, men med tanke på utformningen av alternativen och valen av

Figur 10: Jämförelse av externa kostnader SEK per MWh el för olika produktionstekniker



produktionstekniker med låga koldioxidutsläpp eller som anses vara klimatneutrala är detta inte är så förvånande.

Ecofysrapporten redovisar inte effekterna på ekosystemtjänster, ekosystem och biologisk mångfald fullt ut, och resultatet kan bli annorlunda om även dessa faktorer vägs in. Dessa faktorer är dock mera platsberoende, och behöver bedömas utifrån var och hur resurserna nyttjas.

Ett betydande bidrag till de externa kostnaderna från biokraftvärme härrör från partikelbildning. Med ytterligare teknisk utveckling för att minska partikelbildning och -utsläpp finns här en stor potential att i framtiden minska de externa kostnaderna från förbränning av biobränslen.

Solceller uppvisar näst störst externa miljökostnader av de studerade energislagen, enligt Ecofys beräkningar. Detta beror på att tillverkningen är energiintensiv och sker i länder med elproduktion med betydande negativ miljöpåverkan, som Kina, Taiwan och Malaysia, samt att effektiviteten är lägre i Sverige. I beräkningarna har ett antagande gjorts om en förbättring av miljöpåverkan på 1 procent per år för solceller (Ecofys, 2015).

Även kärnkraften påverkas av bränslemixen i tillverkningsländer. Detta bidrar också till tekniken kärnkrafts höga externa miljökostnader i Ecofysrapporten. I Ecofys-rapporten antas import av el ha högre externa miljöeffekter än alla produktionsslag utom kärnkraft och solkraft. Viss hänsyn har tagits till att det nord-europeiska energisystemet ska ha minskat sitt fossilberoende.

Figur 10 ovan visar de externa kostnaderna per mwh⁵ för de olika teknikerna som ingår i alternativen. Som storleksreferenser redovisas även externa kostnader för kolkraftverk och naturgasbaserad elproduktion. Alla tekniker i de olika alternativen har relativt sett låga externa kostnader jämfört med fossila bränslen. Till exempel skulle ett kolkraftverk ha externa kostnader på 1 650 kr/MWh och ett naturgaseldat kraftverk 400 SEK/MWh⁶ (Ecofys, 2015).



8. Påverkan på dagens miljö kvalitetsmål

För att få en mer systematisk värdering av påverkan på dagens Miljö kvalitetsmål med sikte på 2030–2050 och möjliggöra en sammanvägd bedömning av olika experter i Arbetsgruppen för klimat och miljö, har vi använt oss av en semi-kvantitativ analysmodell för expertpaneler. Resultatmatrisen nedan visar det sammanlagrade resultatet av expertpanelens bedömningar för de fyra produktionsalternativen. Utgångspunkten var att bedöma hur miljö kvalitetsmålen förändras mot dagens elsystem.

För de fyra produktionsalternativen genomförde expertpanelen en bedömning av hur respektive Miljö kvalitetsmål påverkas i tidsperspektivet 2030–2050. Bedömningarna graderas på en skala från minus 3 till plus 3 utan nollvärde, där minus 3 är den mest negativa påverkan på målen och plus 3 är den mest positiva inverkan för att nå målen. Expertpanelen har utgjorts av tio av arbetsgruppens medlemmar. Resultaten aggregerades och illustreras enligt följande:

MER SOL OCH VIND samt **NY KÄRNKRAFT** förväntas totalt sett leda till mest positiva effekter på miljö kvalitetsmålen. Alternativet **MER VATTENKRAFT** bedöms sammantaget leda till minst positiva miljöeffekter.

BEGRÄNSAD KLIMATPÅVERKAN och **FRISK LUFT** bedöms få en positiv utveckling förutom i alternativet Mer biokraft där ingen förändring förväntas och även försämras för frisk luft. Mer biokraft innebär utökade förbränningsprocesser och klimatneutraliteten uppnås först över tid, då utsläpp och tillväxt inte sker samtidigt.

GIFTFRI MILJÖ och **SÄKER STRÅLMILJÖ** förväntas påverkas positivt i alla alternativen förutom i alternativet Ny kärnkraft, där bedömningen med stor sannolikhet har påverkats av själva förekomsten av ny kärnkraft.

LEVANDE SJÖAR OCH VATTENDRAG påverkas negativt av alternativet Mer vattenkraft. En påverkan på biologisk mångfald väger tungt här.

Tabell 2: Förklaring till pilarna

Minus 5 till plus 5	Oförändrat	horisontell pil
Minus 6 till minus 10	Viss försämring	nedåtriktad sned pil
Minus 11 till minus 20	En klar försämring	nedåtriktad pil
Minus 21 och mer	En kraftig försämring	två nedåtriktade pilar
Plus 6 till plus 10	Viss förbättring	uppåtriktad sned pil
Plus 11 till plus 20	En klar förbättring	uppåtriktad pil

Tabell 3: Resultat av expertpanelens bedömning

Produktionsalternativ	1	2	3	4
Miljö kvalitetsmål	Mer sol & vind	Mer biokraft	Ny kärnkraft	Mer vattenkraft
1. Begränsad klimatpåverkan	→	→	↑	↑
2. Frisk luft	↗	↓	↑	↗
4. Giftfri miljö	→	→	→	↑
6. Säker strålmiljö	↑	↑	↓	↑
8. Levande sjöar och vattendrag	→	→	↗	↓↓
10. Hav i balans samt levande kust och skärgård	→	↗	→	↘
12. Levande skogar	→	↓	↗	↗
14. Storslagen fjällmiljö	↓	→	↗	↘
15. God bebyggd miljö	↑	↗	↗	→
16. Ett rikt växt- och djurliv	↗	↘	↗	↓

HAV I BALANS SAMT LEVANDE KUST OCH SKÄRGÅRD påverkas något negativt i alternativet Mer vattenkraft. Här är det återigen den biologiska mångfalden samt natur- och kulturvärden som spelar in

LEVANDE SKOGAR påverkas svagt positivt eller oförändrat utom för alternativet Mer biokraft, där ett maximerat uttag av biobränsle och skogsrester med negativa konsekvenser på biologisk mångfald och kulturmiljövärden inverkar på bedömningen.

STORSLAGEN FJÄLLMILJÖ bedöms påverkas negativt eller oförändrat för alla alternativ förutom för Ny kärnkraft, där en viss positiv förväntan finns i bedömningen. De negativa aspekterna utgörs av biologisk mångfald och upplevelse-, natur- och kulturvärden som antas få en negativ påverkan av främst vindkraft.

GOD BEBYGGD MILJÖ bedöms påverkas oförändrat eller positivt i alla alternativen och framförallt i Mer sol och vindalternativet. Möjligheter till byggnadsintegrering av solceller – både för ny-

byggnation och befintlig bebyggelse – bidrar till ökad resurseffektivitet, då ingen ny markyta behöver tas i anspråk för elproduktion. Vidare så har solceller en liten direkt miljöpåverkan.

ETT RIKT VÄXT- OCH DJURLIV påverkas något positivt av Mer sol och vind samt av Ny kärnkraft. Mer biokraft och Mer vattenkraft har båda en negativ påverkan på den biologiska mångfalden.

Konklusionen av expertpanelens bedömning är att alternativen mer sol och vind och Ny kärnkraft skapar störst positiv utveckling av miljö kvalitetsmålen. En av huvudorsakerna är ett starkt genomslag av negativ påverkan på biologisk mångfald i alternativen Mer biokraft och Mer vattenkraft.

9. Morgondagens klimat- och miljöutmaningar respektive möjligheter

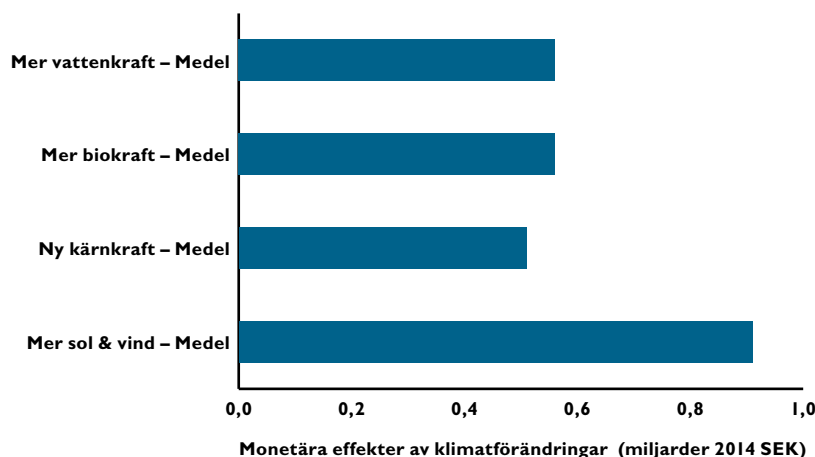
KLIMATPÅVERKAN

Alla fyra alternativ som utvecklats av Arbetsgruppen för elproduktion har som utgångspunkt att elsystemet ska vara fossilfritt över året. Det innebär att det inom landet produceras lika stor andel klimatneutral el som det förbrukas inom landet per år. Trots detta så har alla alternativen en klimatpåverkan. I Figur 11 nedan framgår att alternativet Ny kärnkraft är det alternativ som uppvisar lägst kostnad för klimatförändringar (Ecofys, 2015). Detta beror på att sol och vindkraft har stora indirekta utsläpp i produktionskedjan, vilket kan komma att ändras genom att produktionen flyttas till andra länder eller genom att det globala energi-

systemet går mot en energimix med mindre fossila inslag.

I Paris i december 2015 enades världens ledare om att sträva efter en global uppvärmning på max 1,5 grader, vilket innebär att världens energisystem bör vara fossilfritt kring 2040. Så antagandet som görs i Ecofysrapporten är konservativt. Enligt Paris-avtalet kommer Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC, att presentera en ny rapport under 2018 om vad 1,5 graders-målet innebär. I en IEA-rapport görs emellertid analysen att en större minskningstakt för utsläppen är möjlig trots att bakgrundsantaganden om ett fortsatt stort fossilberoende

Figur 11: Kostnader för klimatförändringar för de fyra alternativen enligt Ecofys

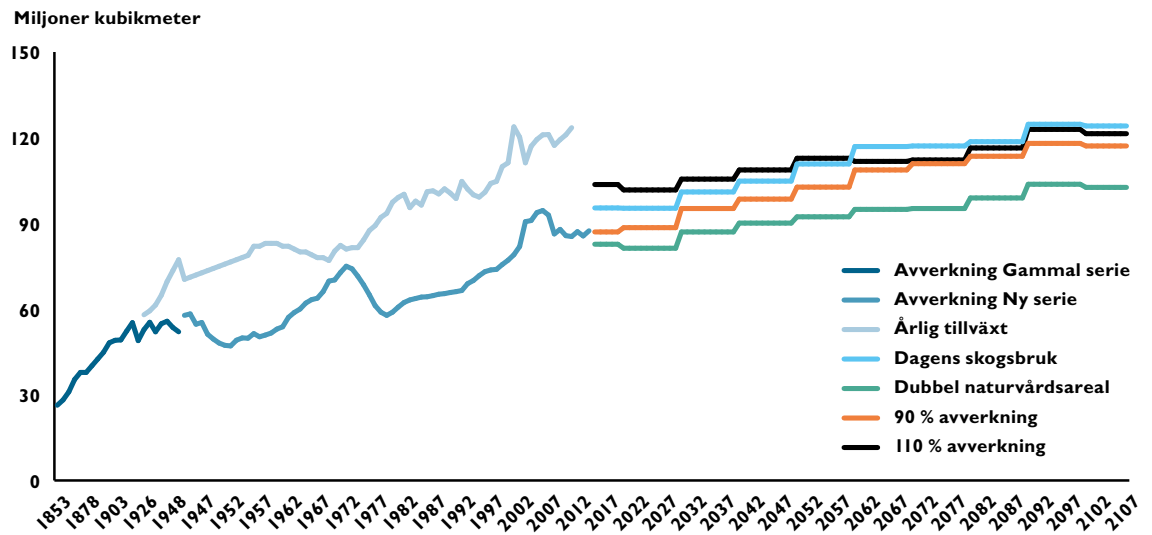


i energimixen i Europa gjorts (IEA PVPS, 2015). Andra studier visar på lägre utsläpp för nyare solceller (Intertek, 2015) och en större potentiell minskning för framtida system är möjlig både med hänsyn till detta och med tanke på att livslängden på panelerna på sikt troligen är längre än de 30 år som vanligtvis används i LCA-beräkningar.

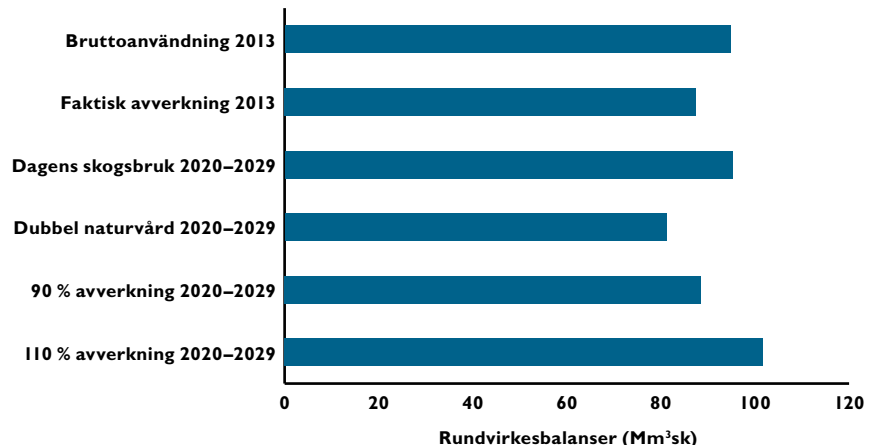
Biomassan allt viktigare men utmaningar för biologisk mångfald

I samtliga produktionsalternativ ökar biokraftvärmen, med mellan 18 och 58 Twh el per år. En fråga som ställs är om de inhemska skogsresterna fyller denna potential och om uttagen kan ske långsiktigt hållbart. Vi kan konstatera att skogsvolymen ökar på sikt. Sett i ett när-

Figur 12: Historisk tillväxt och avverkning samt framtida avverkningspotentialer. Källa: Skogsstyrelsen



Figur 13: Rundvirkesbalanser. Källa: Skogsstyrelsen



mare hundraårsperspektiv har skogsvolymer fördubblats i Sverige, från 60 till 120 Mm³sk, utan att arealen har förändrats, se även Figur 12. Tillväxten och virkesvolymen har ökat genom en mer intensiv skogsskötsel och uttaget har varit mindre än tillväxten i skogen.

Konkret medför detta att den årliga avverkningen enligt Skogsstyrelsen fram till slutet av nästa decennium, kan öka från dagens cirka 80 miljoner kubikmeter till maximalt 100 miljoner kubikmeter, utan att uttaget överskrider tillväxten. Dessutom kan ökat uttag av rester från avverkning i form av grenar och toppar, så kallad GROT, omvandlas till energi motsvarande 30 TWh, vilket är tre gånger mer än dagens volym (Svante Claesson, Karl Duvemo, Anders Lundström, Per-Erik Wikberg, 2015).

Skogsstyrelsen har i sin studie prognostiserat volymerna för skogsavverkning i ett antal olika scenarier. I beräkningarna har hänsyn tagits till ökad tillväxt genom det förändrade klimat som kan förutses. Däremot har de inte i beräkningarna kunnat ta med eventuella ökade skador på skogen då man kan förvänta sig förändrade skadedjursangrepp. I följande diagram framkommer även att om avverkningsvolymen hålls på 90 procent andel avverkning i förhållande till den tillgängliga avverkningspotentialen är det i nivå med vad som faktiskt avverkas idag.

Hur mycket virke som kan tas ut utan att överskrida tillväxten är bara en aspekt på hållbart skogsbruk, se Figur 13 (Svante Claesson, Karl Duvemo, Anders Lundström, Per-Erik Wikberg, 2015). Den svåra miljöfrågan är hurvida tillräcklig hänsyn tas till den biologiska mångfalden inom skogsbruket. En fråga som brukar återkomma i debatten handlar om till exempel askåterföring för att motverka försurning respektive om ytterligare avsättningar bör göras för att till exempel minska antal rödlistade arter. Skogsstyrelsen gör generellt idag bedömningen att det är svårt att med nuvarande styrmedel uppfylla miljömålet ”levande skogar”. Diagrammet visar bruttoanvändning och faktisk avverkning 2013 jämfört med potentiell årlig avverkning i SKA 2020–2029, inklusive tillägg för avverkning på andra ägoslag samt avverkning av vindfallen och död ved.

Energibolagen är en av flera intressenter av

skogsråvaran. Industrin önskar mer råvara till papper, massa, kartong samt sågade trävaror. Användningen av biobränsle ökar och nya innovativa produkter baserade på skogsråvara håller på att tas fram inom bland annat kemiindustrin. Även anspråken från naturvårdens och kulturmiljövårdens sida ökar, vilket bland annat bygger på tillgång till skog för rekreation och friluftsliv samt bevarande av biologisk mångfald och kulturmiljövärden. Att avvägningar måste göras är tydligt då samhällets samtliga behov bör tillgodoses. Det framkommer dessutom tydligt att det finns ett viktigt samband mellan att få ut skogsvaror till industrin och den ekonomiska möjligheten att använda skogsrester till både energisektorn och biobränsleproduktion.

Skogsavfall och rester från skogsindustrin fungerar bra som bränsle i fjärrvärmeanläggningar för produktion av både värme och el. För det ändamålet ställs inga särskilda kvalitetskrav på exempelvis fukthalt och olika typer av rester kan tas tillvara, även stubbar om det skulle bli aktuellt. Skogsstyrelsen menar i sin SKA15-rapport att GROT-uttaget kan tredubblats med hänsyn till uppsatta miljökrav enligt Skogsstyrelsen. Den ökade volymen uppstår dock främst i norra Sverige, vilket ställer krav att etablera en effektiv transportkedja både ur miljö- och kostnadshänseende, om denna volym ska kunna nyttjas för energiändamål. Det är snarare en ekonomisk fråga hur mycket bioenergiester som kan nyttjas för energiändamål alternativt lämnas kvar i skogen.

Dagens volymer av GROT flisas, och uppgår till cirka 5 miljoner kubikmeter motsvarande 9,7 TWh i energi, vilket går till värme- och kraftvärmeproduktion. Även så kallad brännved avverkas och levereras för energiändamål upp till 6 miljoner kubikmeter motsvarande 14,5 TWh (Staffas Louise, Hansen Karin, Sidvall Anders, Munthe John, 2015).

I Sverige är den övervägande andelen skog certifierad enligt FSC eller PEFC. Det har även tagits fram en ny ISO-standard för biomassa. Dessa standarder/kriterier utgör ett viktigt steg till att höja kraven på skogsbruket. Det råder dock delade meningar om kraven är tillräckliga. Trots den höga andelen certifierad skogsmark

Exempel på certifieringar och kvalitetsstandarder

FSC: Forest Stewardship Council är en oberoende internationell medlemsorganisation som ska verka för ett ansvarsfullt bruk av världens skogar. Svenska FSC är en fristående organisation inom ramen för Internationella FSC. Medlemmarna inom FSC representeras av vissa miljöorganisationer, sociala organisationer samt företag. Dessa utvecklar tillsammans standarder för skogsbruk och spårbarhet. De FSC-certifierade skogsägarna ska, utöver internationella överenskommelser, nationella och lokala lagar, följa FSCs särskilda regler som arbetas fram gemensamt inom de tre kamrarna (socialt, ekonomiskt och miljö). Av Sveriges 22,5 miljoner hektar produktiv skogsmark är 12 miljoner hektar skog certifierad enligt FSC.

Det har under många år framförts kritik av olika miljöorganisationer mot FSC och hur certifieringen fungerar i praktiken i Sverige. Där är framförallt uppföljningen som har brutit. Tre miljöorganisationer har avslutat sitt medlemskap i Svenska FSC.

PEFC: Programme for the Endorsement of Forest Certification, svenska delen, bildades år 2000. Standarden har reviderats två gånger och den nuvarande gäller till och med 2017. Svenska PEFC tillhandahåller skogs-, entreprenörs- och spårbarhetscertifiering. I Sverige garanteras en kontroll av PEFC-certifiering genom revision av tredjepartscertifierare, godkända av ackrediteringsorganet Swedac. I Sverige är 11 miljoner hektar skogsmark certifierade enligt PEFC. Totalt sett är runt 10 procent av världens skogsmark certifierad idag. Majoriteten av denna är certifierad enligt PEFC. Viss dubbelcertifiering förekommer således i Sverige med cirka 7 miljoner hektar. Totalt är cirka 70 procent av skogsbruket i den produktiva skogen certifierat och ungefär en miljon hektar skogsmark skyddad för naturvårdsändamål. För 15 år sedan var enbart 40 procent certifierat. Idag berör certifieringen cirka 40 000 skogsägare (Almgren, 2015).

Global Forest & Trade Network är ett WWF-lett partnerskap för drygt 300 företag, miljöorganisationer, entreprenörer med flera i mer än 30 länder runtom i världen. Målet är att skapa en marknad för hållbara skogsprodukter.

Tabell 4: Utsläpp av koldioxid vid olika tidsperspektiv

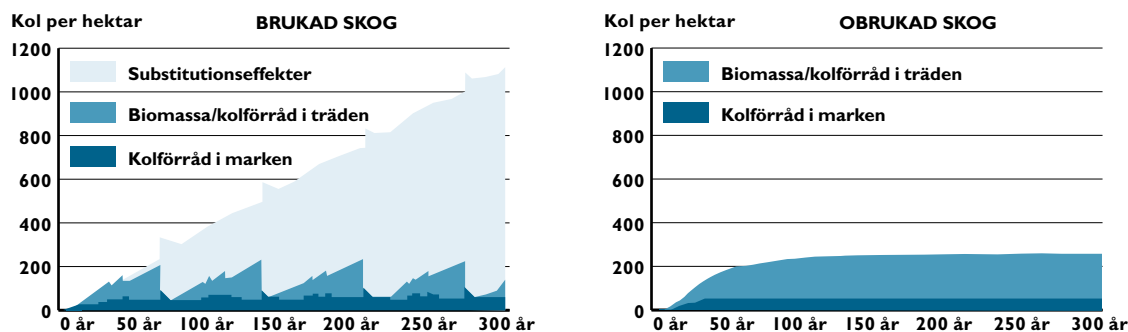
Gram CO ₂ /MJ bränsle	20 år	100 år
Kol	106	106
Fossilgas	69	69
GROT	21–33	7–10
Stubbar	66	8–31

i Sverige, konstaterar ansvariga myndigheter att miljömålet Levande skogar inte kommer att kunna uppnås till 2020. Det finns målkonflikter mellan produktions- och miljömål samt även mellan mål för förnybar energi och biologisk mångfald. Dessa är svåra att möta inom den

satta tidsramen, men är självklart viktiga för ett hållbart skogsbruk.

Vid arbetsgruppens seminarium om biomassa och ett hållbart skogsbruk framkom att det idag är få energibolag som ställer krav på spårbarhet för skogsresternas ursprung.

Figur 14: Effekter på klimatet av en brukad respektive obrukad skog
 – därför är en brukad skog bättre än en obrukad. Bearbetad figur från Eriksson et al.



Förutsättningar:

Brukad skog. Planteras, röjs, gallras och averkas med regelbundna mellanrum under 300 år.

I den brukade skogen bygger man upp ett virkesförråd under cirka 70 år som sedan till större delen averkas. Virke och biobränsle används som ersättning till andra klimatpåverkande material och energislag.

Obrukad skog. Får utvecklas fritt under 300 år.

I den obrukade skogen byggs virkesförrådet upp bara en gång – och förändras sedan obetydligt över tiden. Träden gör tjänst som kolsänka, men i den obrukade skogen går man helt miste om substitutionseffekten.

Biobränslens klimatpåverkan

Biomassa ingår i ett biologiskt kretslopp där kolatomerna cirkulerar mellan fotosyntes och förbränning/nedbrytning. På kort sikt släpper biomassa ut koldioxid vid förbränning då koldioxidhalten i atmosfären ökar. Vid granskning av denna problematik kan man konstatera att man inte kan bortse från tidsaspekten för utsläpp från bioenergi. Teoretiskt är avverkning och förbränning koldioxidneutralt. Men så är det inte i verkligheten. Användningen av bioenergi kan påverka skogens kolförråd och atmosfärens koldioxidinnehåll påtagligt. Men grenar och toppar som ligger kvar på marken släpper ändå på ganska kort sikt ut klimatgaser. Se Tabell 4 där utsläppen av koldioxid har beräknats vid olika tider.

Utsläpp och tillväxt sker inte samtidigt och därför är det viktigt att komma ihåg att det finns en tidsaspekt och det viktiga är att det sker en återplantering efter avverkningen. I den brukade

skogen byggs ett virkesförråd upp under cirka 70 år, som sedan till större delen averkas, för att användas för virke och energi och därmed ersätter annat material och fossila bränslen. I den obrukade skogen byggs också ett kolförråd upp men det konserveras och hålls på samma nivå hela tiden och används därmed inte som någon ersättning för andra material (Zetterberg and Chen, 2014). Det visar sig att substitutionseffekterna är väsentliga att ta med i beräkningen och för att nå positiva effekter för klimatet bör fossila bränslen eller material som orsakar utsläpp av växthusgaser ersättas (till exempel betong som kan ersättas av trä som byggnadsmaterial).

I ett landskap med brukad skog finns skogsbestånd i alla åldrar, från nyplanterad skog till avverkningsmogen skog och hyggen. Vid skörd förlorar skogen kol men genom trädens tillväxt binds ny koldioxid, se Figur 14 ovan referens Lars Z/Erik Ericsson/Mattias Lundblad. Så länge som skörden inte överstiger tillväxten och

markens kolförråd upprätthålls är det balans mellan förlusterna av kol och trädens inbindning av ny koldioxid. Om tillväxten är större än skörden så uppstår ett nettoupptag av koldioxid och skogen fungerar som en kolsänka.

Synen på hållbar biomassa

Det pågår för närvarande ett arbete inom EU med att ta fram hållbarhetskriterier för fasta biobränslen. Samtidigt finns det ett synsätt hos flera miljöorganisationer och bland beslutsfattare i Bryssel att användning av biomassa generellt inte är hållbar (BirdLife International, 2010) (ActionAid, 2015). De menar att biomassa borde

inkluderas i handeln med utsläppsrätter och betala precis som vid förbränning av fossila bränslen. För Sveriges vidkommande skulle en sådan kraftfull förändring av synsättet på att använda skogen innebära att många klimatåtgärder går om intet. Därför är det viktigt för hela skogssektorn att arbeta för rimliga och hanterbara krav på hållbarhet från EU-kommissionen. En viktig aspekt i detta är att hållbarhetskrav bör ställas på all biomassaproduktion oavsett användningsområde. Avstamp borde kunna tas i det internationella standardiseringsarbetet som håller på att utarbetas.

VÄRDERING AV BIOLOGISK MÅNGFALD

Biologisk mångfald brukar definieras som variationsrikedom bland levande organismer av alla ursprung. Detta omfattar mångfald inom arter, mellan arter och av ekosystem. All elproduktion och eldistribution/transmission påverkar biologisk mångfald på ett eller annat sätt. Påverkan kan vara både positiv och negativ.

Vindkraften kan påverka enskilda individer av fåglar och fladdermöss, men inte arterna som sådana. Havsbaserad vindkraft och vågkraft kan förbättra levnadsförutsättningar för fiskar och andra marina arter. Vattenkraft påverkar ekosystemen i sjöar och vattendrag genom direkt påverkan på växt- och djurliv vid dammbyggen, vandringshinder, förändrade flöden och varierande vattennivåer, ändrad hydro-morfologi med mera. Kärnkraft kan genom sina varmvattenutsläpp ge lokal påverkan på vattenlevande växter och djur i utsläppsområdet. Kraftvärme med biobränsle kan påverka den biologiska mångfalden genom skogsavverkning som sker i skogsbruket och som möjliggör uttag av biobränsle. Eldistribution/transmission och dess ledningsgator har visat sig fungera väl som refugier för vissa hotade arter som kräver öppna hedmarker eller motsvarande, och bidrar därmed positivt till den biologiska mångfalden, medan de kan ha negativ påverkan på skogsberoende arter (Svenska kraftnät, 2015).

Elverksamheten påverkar också ett antal ekosystemtjänster. Ekosystemtjänster är de produkter och tjänster som naturens ekosystem ger oss människor och som bidrar till vårt välbefinnande (Naturvårdsverket, 2015). Några exempel på ekosystemtjänster är pollinering, livsmedel, bioenergi, dricksvatten med mera.

Alla förnybara kraftslag är positiva för att begränsa klimatpåverkan. Den globala uppvärmningen fortsätter. Klimatförändringar är potentiellt en av de viktigaste orsakerna till förlust av biologisk mångfald och förändringar av ekosystemtjänster. En rik biologisk mångfald kan vara en faktor som kan dämpa oönskade effekter av en klimatförändring. Med tanke på ekosystemtjänsternas betydelse för att klara de klimatförändringar vi står inför är det dock viktigt att i möjligaste mån bevara den biologiska mångfalden för att öka resiliensen (motståndskraft och anpassningsförmåga) i systemet. Enligt studier av planetens gränser (Steffen, 2015) är förlust av biologisk mångfald ett område som är minst lika akut som klimatpåverkan. Vi kan inte lösa ett miljöproblem genom att skapa ett annat, utan vi måste välja handlingsalternativ som gör så lite skada som möjligt både på klimatet, biologisk mångfald och andra miljökväligheter.

En begränsning i de studier och analyser som beräknat externa effekter kopplat till påverkan

på biotoper är att effekter som biologisk mångfald inte är kvantifierade fullt ut till exempel i Ecofysrapporten, SvKs verktyg eller Vattenfalls LCA för elnät. I exemplet vattenkraft tar Ecofysrapporten till exempel inte med vattenkraftens direkta inverkan på djurliv genom dammbyggen, vandringshinder, ändrad hydromorfologi, förändrade flöden med mera.

Biologisk mångfald har således visat sig vara mycket svårt att värdera i de olika analysverktygen, Det behövs ytterligare kunskap kring hur värdering kan göras på ett systematiskt sätt, främst kring biologisk mångfald i samband med uttag av biomassa och effekter vid vattenkraftsproduktion.

RESURSANVÄNDNING

Energieffektivisering i olika sektorer är en viktig aspekt ur ett systemperspektiv och har bäring på resursfrågan, till exempel genom teknikutveckling av produkter och inom själva elsystemet samt transportsektorn med övergång från fossila bränslen till eldrift, då eldriften är avsevärt mer effektiv.

Effektivare energianvändning

Mer sol och vind är det alternativ som har svårast att klara effektbalansen över året med de antaganden som gjorts i produktionsgruppens

alternativ. Det är därför av vikt att se över möjligheterna att minska behovet av import av fossilbaserad kraft och tilläggsystem som kan ha stor miljöpåverkan, såsom batterier, reservkraft och transmissionskapacitet. Ett intressant alternativ är att titta på hur större satsningar på användarflexibilitet och energieffektivisering skulle påverka möjligheterna att klara effektbalansen i detta alternativ. Arbetsgruppen har inte haft möjlighet att göra beräkningar på detta men vill ändå lyfta möjligheten och behovet av vidare analys.

Rödlistning av arter

Rödlistade arter omnämns i samband med biologisk mångfald. I Sverige görs rödlistningen av ArtDatabanken vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala. För 2015 har 4 273 av 21 600 bedömda arter klassats som rödlistade varav 2 029 arter som hotade. Av Sveriges cirka 60 000 uppskattade antal inhemska arter har 21 600 (36 procent) blivit bedömda i 2015 års rödlista.

Resultatet för 2015 visar inte någon märkbar förändring på övergripande nivå för den biologiska mångfalden i Sverige under de senaste 15 åren. Den hastighet med vilken vi förlorar artmångfald har varken ökat eller minskat.

De faktorer som påverkar flest rödlistade arter i Sverige enligt ArtDatabanken är skogsavverkning och igenväxning, som båda utgör ett hot mot vardera cirka 30 procent av de rödlistade arterna. Avverkning av gammal skog eller tidigare extensivt brukade skogar är en av de viktigaste orsakerna till att skogslevande arter blir rödlistade.

Rödlistans kriterier är skapade för att bedöma arters utdöenderisk. Bedömningen görs utifrån internationellt vedertagna kriterier som baseras på flera olika riskfaktorer: Hit hör om arten minskar snabbt i antal, om dess utbredningsområde krymper eller är kraftigt fragmenterat, eller om artens population är mycket liten och därmed mer känslig för inavel eller oväntade negativa händelser. Möjligheten att arten kan förstärkas eller återinvandra från angränsande länder vägs också in i riskbedömningen.

Ett antagande som gjorts i alternativen från Arbetsgruppen för elproduktion är att effektbehovet följer elbehovet proportionellt, vilket innebär att inga större förändringar antas i behovet av el för uppvärmning i proportion till det totala elbehovet. Behoven av import och reservkraft uppstår ofta under kalla vinterdagar. Enligt användargruppens beräkningar uppgår elvärme i olika former till 25 procent av effektbehovet dessa dagar. Möjligheterna att minska behovet av el till uppvärmning genom utbyggnad av fjärrvärmennät är en möjlighet som dessutom tillför planerbar elproduktion i form av kraftvärme. Ökade satsningar på energieffektivisering i form av isolering av eluppvärmda byggnader och konvertering av direktverkande el och luft/luftvärmepumpar till system som har ett mindre elbehov under de kallaste dagarna, exempelvis bergvärme, är andra alternativ där fjärrvärmeutbyggnad inte är möjligt.

Efterfrågeflexibiliteten antas vara 10 procent i alternativen, vilket baseras på nuvarande ekonomiska förutsättningar. Studier visar att det billigaste och minst miljöbelastande sättet att klara effektbalansen i ett system med mycket intermitterent kraft är att öka incitamenten för efterfrågeflexibilitet. Genom utveckling av digitalisering underlättas även möjligheten att interagera med både små och stora kunder. Enligt Arbetsgruppen för elanvändning är det svårt att bedöma utvecklingen av efterfrågeflexibiliteten men man landar ändå i en framtida potential på mellan 3000 till 4500 MW beroende på varaktighet, vilket alltså utgör mer än 10 procent av det maximala effektbehovet på 28 GW i medelalternativen. Efterfrågeflexibilitet är en aspekt som bör studeras mer i detalj även ur ett miljöperspektiv.

Antaganden om teknikval kan också påverka behovet av tilläggsystem. Det produktionslag som ökar mest i alternativet Mer sol och vind är landbaserad vindkraft, främst i norra Sverige. Landbaserad vindkraft är i dagsläget billigare än havsbaserad, men har en sämre effektfaktor. Lokaliseringen gör att behovet av att bygga ut transmissionskapacitet ökar, vilket har en kostnad både ekonomiskt och ur miljösynpunkt. Utveckling av havsbaserad vindkraft skulle därför vara intressant då även behovet av tilläggsystem

minskar jämfört med alternativet Mer sol och vind.

Digitalisering och Internet of Things

Framtidens elsystem kan genom introduktion av Internet of Things (IoT) ge en potential till ökad energieffektivisering och minskad miljöpåverkan. IoT skulle kunna innebära att elproducenten kan kommunicera med enskilda brukares apparater och därigenom styra ner förbrukningen vid tidpunkter då man närmar sig effekttoppar. Detta förutsätter att det finns incitament för att styra ner förbrukningen ur brukarens synvinkel (till exempel ekonomiska eller miljömässiga hänsynstagen). Anpassningen av elförbrukningen kan ske genom att tillåta leverantören att kortvarigt begränsa elförbrukningen eller att man själv har ett system som reagerar på att till exempel priset per kWh vid en viss tidpunkt är högt. Detta förutsätter i sin tur att den debiterade elkostnaden kan variera ”minut för minut”.

Det finns alltså en potential att med hjälp av IoT mer effektivt utnyttja landets elsystem. Kan effekttoppar undvikas så ökar driftsäkerheten, det vill säga risken för strömavbrott minskar och därmed också behovet av att sätta in reservkraft som ofta har en negativ miljöpåverkan.

Tekniken finns redan idag men det är många pusselbitar som behöver komma på plats för att IoTs potential ska förverkligas (till exempel elpris som kan variera kontinuerligt och förbrukningsapparater som kan styras, lokalt eller av elproducenten).

Beräkningar har visat att om 30 procent av lasten på elnätet går att fjärrstyra och att elproduktionen till 30 procent utgörs av vindkraft, så kan man uppnå 8 procent reduktion av förväntad toppeffektbelastning. Sådana siffror kan förhoppningsvis uppmuntra elleverantörer och elnätansvariga att utveckla system där styrning av elförbrukning blir betydelsefullt i praktiken (Greentech Media, 2015).

En stor del av hushållets elräkning utgörs idag av fasta kostnader. Innovativa affärsmodeller och innovativ politik kan öka brukarnas möjlighet att påverka och även öka incitamenten att göra detta.

Marktytor för vindkraft

Den tekniska potentialen för landbaserad vindkraft är mycket stor, närmare 160 TWh (Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016). Ett viktigt miljöperspektiv på vindkraft är förändringar i landskapet. Vid planering och byggnation av vindkraft görs en åtskillnad av ytor som betraktas som icke utbyggbara i exkluderande ytor – ytor där det inte går eller inte är tillåtet att bygga ut – och konflikttytor – ytor där andra allmänna intressen föreligger och det finns särskilda svårigheter att få tillstånd att bygga. Här inkluderas inte privata intressen. Exempel på exkluderande områden på land är till exempel stadsområden, sankmark, sjöar, vattendrag eller liknande, och till havs till exempel begränsningen på högst 40 meters djup och farleder. Konfliktområden är exempelvis områden av riksintresse för yrkesfiske, kulturmiljövård, naturvård, friluftsliv, kommunikationer, försvar, och vissa geografiskt utpekade områden, som enligt Miljöbalken ska skyddas mot åtgärder som kan skada respektive intresse (Peter Blomqvist, Mats Nyborg, Daniel Simonsson, Håkan Sköldberg, Thomas Unger, Elforsk, 2008).

I Sverige har kommunerna ett stort ansvar för planering av mark- och vattenområden och Plan- och bygglagen ska väga olika samhällsintressen mot varandra. Sverige har nämligen ingen nationell planering, men staten kan påverka den fysiska planeringen genom nationella mål och genom att peka ut anspråk för riksintressen. Energimyndigheten har haft det specifika uppdraget av regeringen att ta fram områden på land och till havs med särskilt goda vindförutsättningar som ska vara av riksintresse för vindbruk. Idag finns det drygt 300 riksintresseområden för vindbruk, varav knappt 30 är till havs och i insjöar. Det totala anspråket utgör drygt 1,5 procent av Sveriges yta inklusive svenskt vatten (Energimyndigheten, 2015).

Dagens vindkraftverk är främst lokaliserade till södra Sverige, i kustnära områden utmed hela Västkusten och Skåne, samt på Öland och Gotland. Det finns även en hel del vindkraftverk i anslutning till Väner och Vättern. På senare år har vindkraftverk även byggts i skogsområden. Utbyggnaden av ny vindkraft kommer sannolikt främst ske (Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016):

- Fortsatt på land med en ökande andel i skog och i kallt klimat vartefter tekniken och kunskapen om dessa områden utvecklas. Utbyggnaden kommer till stor del ske i norra Sverige.
- Kustnära områden och andra områden som redan i stor utsträckning har utnyttjats kommer att få se ett generationsskifte. Äldre vindkraftverk i bra lägen byts ut mot nya mer effektiva vindkraftverk.
- På längre sikt byggs det sannolikt även större vindkraftparker till havs. På kort sikt är det dyrt relativt andra alternativ.

Mycket av forskningen när det gäller miljökonsekvenser av vindkraft har utgått från hur enskilda djurgrupper som fåglar och till exempel fladdermöss påverkas. Men vad som händer med vattenförhållandena när vägar och ledningar dras fram vid stora vindkraftsparker vet man inte så mycket om. Inte heller hur djur påverkas av de barriärer som uppstår när man skiljer av olika områden ifrån varandra.

Vattenkraftens ökade effekthållning – kräver nya vattendomar

När vattenkraften byggdes ut i Sverige var det främsta målet att kunna producera så mycket el som möjligt. Det vill säga konstruktion och tillstånd har utformats för maximal energiproduktion och inte för effekt. Vattenkraften behöver därför till stor del uppdaterade och moderna tillstånd så att den även i framtiden kan fungera som ryggraden i det svenska elsystemet. Med dagens regelverk är detta dock svårt att åstadkomma eftersom processen för att erhålla moderna tillstånd tar lång tid, är mycket kostsam och ger oförutsägbar påverkan på produktionsvolym. Om vi utgår från behovet av ett bättre kapacitetsutnyttjande inom vattenkraften så är åtgärder som ökar förmågan till flexibilitet prioriterade, det vill säga möjligheten att öka eller minska produktionen för att bidra till balansen i elsystemet. Nyttan med investeringar i ny eller förnyad produktion är begränsad om den inte bidrar till ökad flexibilitet.



10. Bilaga

METODIK

METOD FÖR KVANTIFIERING AV NEGATIVA EXTERNA EFFEKTER

Det finns flera metoder som kan användas vid kvantifiering och värdering av externa kostnader för klimat- och miljöeffekter. En metod baseras på bedömning av de skador som externa effekter orsakar, så kallad "damage cost approach". Metoden syftar till att bedöma den totala samhällskostnaden förknippad med energiproduktion. Elproduktionen i Sverige 2050 kan ge upphov till negativa externa effekter i form av föroreningar som sprider sig genom luft, vatten och mark och har en påverkan på människornas hälsa, ekosystemet, den biologiska mångfalden samt utarmningen av olika tillgångar såsom vatten, metaller, bränslen, grödor med mera. Det finns även andra externaliteter från energiproduktion och transportarbetet såsom buller och olycksrisker. Uppskattningar för externa kostnader för elproduktion i Sverige som presenteras här är baserade på en underlagsrapport genomförd av Ecofys november–december 2015. Vi vill betona att metoderna för att kvantifiera de externa kostnaderna kommer med en hög grad av osäkerhet, och att kvantifieringen endast syftar till att identifiera storleksordningen för externa kostnader som elproduktion ger upphov till.

I modellen är utarmning av metaller och energiresurser betraktade som externa effekter. Huruvida utarmningen som sådan är att betrakta som "externa effekter" finns det olika syn på. Ecofys studie lutar sig mot en vidare definition av externa effekter.

Begreppet "externa effekter" och värderingen av sådana effekter har sitt ursprung i national ekonomin. Ägaren av en resurs förväntas vara medveten om, och ta hänsyn till, att utvinningen av resursen idag påverkar värdet av (det vill säga priset på) den resterande resursstocken i fram-

tiden. Värdet av att inte utarma resursen – alternativt kostnaden för att förebygga en framtida knapphet – benämns "resursränta" och antas således återspegla marknadspriset på resursen i fråga. Om resursägarens, till exempel företagets resursränta skiljer sig från samhällets värdering av att undvika en exploatering av resursen, är inte resursen korrekt prissatt och samhället kan välja att förstärka prissignalen genom skatter till exempel för att bättre avspegla resursens knapphet och en förknippad extern kostnad. I den neoklassiska ekonomiska litteraturen som behandlar nyttjandet av ändliga naturresurser anses som regel inte utarmningen (av till exempel energiresurser) som sådan vara förknippad med någon extern kostnad.

För att uppskatta externa kostnader för projektets fyra olika produktionsalternativ har Ecofys använt sig av External-E verktyget och underlag som tagits fram i studien Costs and Subsidies of EU project (Ecofys, 2014) av Ecofys för EU 2014. Verktyget integrerar (1) en livscykelanalys för de externa effekterna som omfattar hela värdekedjan och produktionsanläggningens hela livslängd, (2) faktiska produktions- och kapacitetsdata som aggregerar merparten av de externa effekterna på Sverigenivå samt (3) metoder för kvantifiering av de externa effekterna i monetära termer. För varje enskild produktionsteknologi har samtliga externa kostnader, inklusive elanvändningen i leveranskedjans uppströmsprocesser, tagits i beaktning. I den totala sammansatta nationella produktionsportföljen har dock de externa effekter som annars skulle räknats två gånger dragits bort, dubbelräkning föreligger således inte.

Externa kostnader för olika produktions teknologier har beräknats för fyra olika produktionsalternativ med en låg-, en medel- och en högversion för varje alternativ.

Kategorier av miljöpåverkan

Livscykelanalysen omfattar totalt 18 stycken kategorier av miljöpåverkan, se tabell nedan. Dessa kategorier sammanfattar påverkan av flera parametrar. Ett exempel är klimatförändringen som mäts i enheten ”kg CO₂-ekvivalent”, denna kategori omfattar samtliga växthusgasernas påverkan på klimatförändringen. Ett annat exempel är kategorin partikelbildning med enheten ”kg PM10 eq” som utöver PM10 även omfattar konsekvenserna av NH₃, SO₂ och NO_x. I tabellen nedan presenteras även de externa kostnaderna som kvantifieringsmetoder för respektive kategori ger upphov till.

Analysen för externa kostnader har genomförts för olika kategorier av produktionstekniker i fyra olika huvudalternativ, inklusive processer både uppströms och nedströms av

leveranskedjan. En betydande del av de externa kostnaderna förknippade med förnybara kraftproduktionsteknologier är från uppströmsprocesser, såsom bränslen för transport eller elanvändning i produktion. Av kostnadskategorierna är klimatförändringen, utarmningen av energiresurser, partikelbildning, toxicitet för människor och utarmning av metaller de kategorier som har högsta externa kostnader.

Produktionstekniker

Indata för kvantifieringen av olika miljöeffekter har utgjorts av 12 framtida elproduktionsalternativ för Sverige 2050, som har definierats av Arbetsgruppen för elproduktion inom Vägval el. Alternativen består av fyra olika uppsättningar av elproduktionstekniker benämnda Mer bio kraft, Mer vattenkraft, Mer sol och vind samt

Tabell 5: Kategorier av miljöpåverkan inkluderade i modellen

Kategori av miljöpåverkan	Enhet	2014 EUR per enhet	2014 SEK per enhet
1. Klimatförändringar	kg CO ₂ eq	60.0	560
2. Uttunning av ozonskiktet	kg CFC-11 eq	195	1830
3. Försurning av mark	kg SO ₂ eq	0.23	2.2
4. Eutrofiering av sötvatten	kg P eq	0.24	2.3
5. Eutrofiering av havsvatten	kg N eq	1.88	17.6
6. Toxicitet för människor	kg 1,4-DB eq	0.08	0.7
7. Fotokemisk oxidantbildning	kg NMVOC	0.00	0.04
8. Partikelbildning	kg PM10 eq	27.43	257.6
9. Toxicitet för ekosystemet/mark	species.yr	4.29E+07	4.03E+08
10. Toxicitet för ekosystemet/sötvatten	species.yr	2.29E+06	2.15E+07
11. Toxicitet för ekosystemet/havsmiljö	species.yr	9.56E+03	8.98E+04
12. Joniserande strålning	kBq U235 eq / kBq	0.00	0.02
13. Användning av mark till jordbruk	m ² a	0.10	0.9
14. Användning av mark till städer	m ² a	0.10	0.9
15. Naturlig omvandling av mark	m ²	3.7	34.4
16. Utarmning av vatten	m ³	0.005	0.045
17. Utarmning av metaller	kg Fe eq	0.07	0.7
18. Utarmning av energiresurser ⁷	kg oil eq	0.05	0.5

Tabell 6: Ingående elproduktionstekniker i respektive alternativ

Tekniker för elproduktion	Alternativ (TWh)											
	Mer sol & vind			Mer vattenkraft			Mer biokraft			Ny kärnkraft		
	Låg	Med	Hög	Låg	Med	Hög	Låg	Med	Hög	Låg	Med	Hög
Vattenkraft, magasin	32.5	32.5	32.5	42.5	52.5	62.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5
Vattenkraft, ström	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5
Vind, landbaserad	40	55	70	30	35	40	30	40	50	20	20	20
Solkraft PV, på tak	10	15	20	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Kärnkraftverk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50	70
Total KVV bestående av:	25	25	25	30	35	40	40	50	60	20	20	20
KVV-Biomassa (el)	23	23	23	28	33	38	38	48	58	18	18	18
KVV-Avfall (el)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total produktion (TWh)	140	160	180	140	160	180	140	160	180	140	160	180
Kapacitetsnetto (GW)	5.3	6.8	8.4	2.4	1.0	-0.4	2.2	1.7	1.1	3.5	3.1	2.7
Användarflexibilitet (GW)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Import timmar (h)	200	400	700	200	400	700	200	400	700	200	400	700
Erforderlig Export (-ve) / Import (+ve) (TWh)	0.5	1.5	3.8	-0.1	-0.8	-2.4	-0.2	-0.5	-1.3	0.1	0.0	-0.2

Ny kärnkraft. För varje alternativ har tre olika elproduktionsnivåer definierats: låg (140 TWh), medium (160 TWh) och hög (180 TWh) (Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016), vilka korresponderar mot tre olika användningsnivåer. I Tabell 6 ovan är de olika alternativen sammanställda med en uppdelning på olika elproduktionstekniker. De tre nivåerna låg, medel och hög korresponderar med tre olika nivåer på efterfrågan.

Data för påverkan på klimatförändringar för varje teknik har kompletterats med data från IVL från svenska LCIA. Specifikt för bioteknikerna, där GROT ansatts som bränsle, har Sverige-specifika LCIA data från IVL använts, för att ge en så representativ bild som möjligt av klimatpåverkan.

För påverkan på ekosystem har en modell för förlust av arter använts men modellen fångar inte biologisk mångfald direkt. Effekter som avbrott i vattenvägar från dammar, det vill säga för vattenkraft, från buller eller från ökad vattentemperatur, det vill säga från kylvatten, inte ingår i de kvantifierade resultaten.

Även om effekter och värderingar är anpassade till Sverige är det osannolikt att alla effekter kommer att uppstå i Sverige. Det är snarare så att resultaten avspeglar de globala effekterna för de olika alternativen av det svenska elproduktionssystemet. Till exempel för solceller som tillverkas i Kina men används i Sverige, uppstår de flesta externa effekter i den lokala miljön i Kina. Dessa typer av underliggande osäkerheter och begränsningar beskrivs närmare i Ecofys rapport.

Uppskattningen av externa kostnader för kärnkraft skiljer sig från de övriga teknikerna i och med svårigheten att uppskatta kostnader för olyckor. Alla former av energikällor och energiproduktion har en associerad olycksrisk. Exempelvis har det inträffat olyckor i kolgruvor (främst utanför EU) samt olyckor vid utvinning av gas och olja. Vad gäller kärnkraft är de möjliga konsekvenserna av en olycka mycket högre än för andra energikällor. Även om sannolikheten för olycka anses vara liten, kan konsekvenserna bli betydande. Beroende på vilken typ och omfattning av olycka det är (härdsmlta

Tabell 7: Variabler i känslighetsanalysen

Variabel	Enhet	Basfall	Låg	Hög
Klimatkostnad	euro/tCO ₂ e	0,00	-	60,00
Klimatkostnad "internaliserad"	euro/tCO ₂ e	60,00	30,00	180,00
Energiresurs pris	euro/kg oe	0,049	0,024	0,155
Biokraftvärme – fördelning av effekter	% andel för el	52	30	70
Toxicitet för människor	euro/kg	0,08	0,04	-
Teknikförbättringar (miljö- & climateffekter)	årlig %	Varierar per teknik	0 %	-

eller en kritisk olycka), samt hur ofta en olycka inträffar, påverkar storleksuppskattningen av de negativa externa effekterna.

Känslighetsanalys

Beräkningarna har baserats på olika antaganden och för några nyckelvariabler har känsligheten analyserats. Tabell 7 ovan visar sammanställt vilka variabler som analyserats och hur de har varierats.

Ecofys antagande i basfallet antar ett pris på CO₂ 2050 som är hälften av dagens svenska CO₂-skattenivå. Även om litteraturen kring skadekostnaderna för växthusgaser antyder denna låga nivå är det intressant att sätta 60 €/ton i en svensk kontext.

EXPERTPANEL FÖR VÄRDERING MOT MILJÖKVALITETSMÅLEN

För att få en mer systematisk värdering av påverkan på Miljökvalitetsmålen 2030–2050 och möjliggöra en sammanvägd bedömning från arbetsgruppen, har vi använt oss av den semi-kvantitativa analysmodellen, TEQUILA, för expertpaneler. Den är inspirerad av Delphi-metoden, och har utvecklats inom EU-programmet ESPON⁸ för att vetenskapligt och praktiskt bedöma och diskutera effekter av politiska åtgärderna. I korthet består den av att sammansätta

expertpaneler systematiskt får göra en bedömning i ett eller flera steg av i förväg uppgjorda kriterier. Målet med expertpanelen här är att få fram kvantitativa bedömningar av hur stor påverkan olika produktionsalternativ har på de svenska miljökvalitetsmålen. För att "tvinga" Delphi-panelen att ta ställning och inte alltför lättvindigt hamna i mittfåran, det vill säga bedömningen "neutral", används en skala från minus 3 till plus 3 utan nollvärde. För de fyra produktionsalternativen genomförde expertpanelen en bedömning av hur respektive Miljökvalitetsmål påverkas i tidsperspektivet 2030–2050. Bedömningarna graderas på en skala från minus 3 till plus 3 utan nollvärde, där minus 3 är den mest negativa påverkan/svåraste konflikten på området/målen och plus 3 är synergi med en positiv inverkan (förstärkningseffekt) på området/målet. Expertpanelen har utgjorts av tio av arbetsgruppens medlemmar. Resultaten har sedan diskuteras i arbetsgruppen och förändringar och anpassningar som kan tänkas ske inom andra sektorer diskuterades. Därefter genomförde panelen en förnyad bedömning.

FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP

GROT

Grenar Och Toppar.

LCA

Life Cycle Analysis.

LCI

Life Cycle Inventory.

LCIA

Life Cycle Impact Assessment.

COP 21

Conference of Parties; ett årligt möte inom UN Framework on Climate Change (UNFCCC). COP21 ägde rum i Paris och benämns även 2015 Paris Climate Conference.

SDG

Sustainable Development Goals.

EXTERN EFFEKT

Externa effekter (externaliteter) kan beskrivas som ekonomiska transaktioner som påverkar nyttan för tredje part. Externaliteter kan vara både positiva och negativa. Ett exempel på en negativ extern effekt är luftföroreningar. En externalitet leder till ett marknadsmisslyckande där priserna på en marknad inte motsvarar hela kostnaden av att producera en produkt eller tjänst. (Hållbarhetsguiden, 2014)

FOTNOTER

1. Ecofys är ett holländskt konsultföretag, www.ecofys.com, som är specialiserat på förnybar energi.
2. Riksdagen: *Förordning (2009:689) om statligt stöd till solceller*, 2009.
3. Energimyndigheten: *Stöd till solceller*, hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/Hushall/Aktuella-bidrag-och-stod-du-kan-soka/Stod-till-solceller/> den 24 juli 2015.
4. Uttunning av ozonskiktet, Försurning av mark, Eutrofiering av sötvatten, Eutrofiering av havsvatten, Fotokemisk oxidantbildning, Toxicitet för ekosystemet/mark, Toxicitet för ekosystemet/sötvatten, Toxicitet för ekosystemet/havsmiljö, Joniserande strålning, Användning av mark till jordbruk, Användning av mark till städer, Naturlig omvandling av mark och Utarmning av vatten.
5. Här ingår kostnader för utarmning av metaller och energiresurser för att få en korrekt jämförelse.
6. Baserat på svenska genomsnittliga kraftverk 2012.
7. Ett framtida värde på resurser är svårt att bedöma och kan skilja sig åt mellan de olika resurserna. Så kan till exempel de bränslen som inte har så många alternativa användningsområden, ha ett lägre värde i framtiden än vad de har idag.
8. TEQUILA-modellen, utvecklad av Robert Camagni för ESPON (European Spatial Planning Observation Network), ESPON project 3.2: *Spatial Scenarios and Orientations in relation to the ESDP and Cohesion Policy*, 2006.

REFERENSER

- ActionAid, T. W. I. G. E. U. B. E. A. T. E. E. B. C. A. N. (. E. O. E. A. O. W. E. F.), 2015. *Pitfalls and Potentials the Role of Bioenergy in the EU Climate and Energy Policy Post 2020*, u.o.: ActionAid, Transport&Environment, Wetlands International, Greenpeace European Unit, BirdLife Europe and the European Environmental Bureau, Climate Action Network (CAN) Europe, Oxfam EU Advocacy Office, WWF EU, Fern.
- Almgren, R., 2015. *Näringslivets insatser på miljöområdet LIU-IEI-RR-15/00232-SE*, : Naturvårdsverket.
- Arbetsgruppen för elanvändning Vägval el, 2015. *Framtidens elanvändning*, sid 28, Stockholm: IVA.
- Arbetsgruppen för eldistribution och transmission Vägval el, 2016. *Sveriges framtida elnät*, Stockholm: IVA.
- Arbetsgruppen för elproduktion Vägval el, 2016. *Sveriges framtida elproduktion*, Stockholm: IVA.
- Audi, 2014. *Life cycle assessment Audi e-gas project*, : Audi.
- Avfallsdirektiv 2008/98/EG, 2008. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG om avfall och om upphävande av vissa direktiv*, u.o.: EU.
- BirdLife International, E. E. B. -. E. T. E. -. T., 2010. *Bioenergy a carbon accounting time bomb*, : BirdLife International, European Environmental Bureau – EEB, Transport Environment – T&E.
- Christian Kroll, 2015. *Sustainable Development Goals: Are the rich countries ready?*, New York: Bertelsmann Stiftung.
- Constantine Samaras, Kyle Meisterling, 2008. *Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy*, : American Chemical Society.
- Corvellec et al, 2013. “Infrastructures, lock-in, and sustainable urban development. The case of waste incineration in the Göteborg Metropolitan Area” *Journal of Cleaner Production*, vol 50 no 1 pp 32–39, Göteborg.
- Ecofys, 2014. *Energy costs and subsidies for EU28 across all technologies – first full dataset*, Utrecht: Ecofys.
- Ecofys, 2015. *Ecofys – ESMNL16333 – Report Externality costs of power generation Sweden 2050*, Stockholm: Sweco/Ecofys.
- Ellingsen, A.-W., 2014. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), p. 113–124.
- Energimyndigheten, 2015. *Energiläget 2015*, Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten, 2015. *Energimyndigheten.se*. [Online] Available at: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/riksintressen-for-energiandamal/riksintressen-for-vindbruk/> [Använd 2016].
- EPA, 2013. EPA 744-R-12-001 *Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles*, : EPA.
- EU, 2010. *Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy*. [Online] Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010SC1346&from=EN> [Använd 2016].
- EU, 2016. *European Commission Energy Strategy*. [Online] Available at: <http://>

ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy [Använd 2016].

European Environment Agency, 2016. <http://www.eea.europa.eu>. [Online] Available at: [http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-1#tab-chart_1_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_ugeo%22%3A%5B%22European%20Union%20\(28%20countries\)%22%5D%7D%7D](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-1#tab-chart_1_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_ugeo%22%3A%5B%22European%20Union%20(28%20countries)%22%5D%7D%7D) [Använd 2016].

Gode J, Adolfsson I, Hansson J, 2014. *Dynamic calculations of climate impact of long-term energy scenarios*. IVL-rapport C70, Stockholm: IVL.

Gode J, Martinsson F, Hagberg L, Öman A, Höglund J, Palm D, 2011. *Miljöfaktaboken 2011*. Värmeforsk rapport 1183, Stockholm: Värmeforsk.

Greentech Media, 2015. www.greentechmedia.com. [Online] Available at: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/results-from-the-worlds-biggest-transactive-energy-test> [Använd 2016].

Gunnar Hovsenius, Elforsk, 2009. *Litiumjonbatterier från miljö- och hälsosynpunkt* *Elforskrapport 09:56*, Stockholm: Elforsk.

Hållbarhetsguiden, 2014. www.svid.se. [Online] Available at: <http://www.svid.se/Hallbarhetsguiden/Inspiration/ordlista/#Externalitet> [Använd 2016].

IEA PVPS, 2015. *Life Cycle Assessment of Future Photovoltaic Electricity Production from Residential-scale Systems Operated in Europe*, : IEA.

Intertek, 2015. *Simplified Carbon Assessment Report*, : Intertek.

Lalander, E., 2013. *Projekt Marin Strömkraft*. Uppsala: Uppsala universitet.

Laleman, Albrecht, Dewulf, 2010. *Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation*, u.o.: Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Majeau-Bettez G, Hawkins TR, Strømman AH, 2011. *Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles*, Trondheim: Industrial Ecology Program, Norwegian University of Science and Technology (NTNU),.

Naturvårdsverket, 2015. *Ekosystemtjänster*. [Online] Available at: <http://www.naturvardsverket.se/ekosystemtjanster> [Använd 2016].

Naturvårdsverket, 2015. www.naturvardsverket.se. [Online] Available at: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/> (uppdaterad 7/12 2015) [Använd 2016].

Naturvårdsverket, 2015. www.naturvardsverket.se. [Online] Available at: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Atervinning-av-matavfall/> [Använd 2016].

Naturvårdsverket, 2016. [miljomal.se](http://www.miljomal.se). [Online] Available at: www.miljomal.se

Naturvårdsverket, 2016. [naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se). [Online] Available at: <http://naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Partiklar-till-luft/>

Naturvårdsverket, 2016. www.naturvardsverket.se. [Online] Available at: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Kvaveoxid-till-luft/> [Använd 2016].

Notter, D.A. et al, 2010. Contribution of Li-Ion Batterise to the envorinmental impact

of Vehicles. *Environmental Science and Technology*, (), pp. pp 6550–6556.

Näslund et al, 2013. *Vattenkraftens påverkan på akvatiska ekosystem, Havs- och vattenmyndigheten Rapport 2013:10*, Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.

Peter Blomqvist, Mats Nyborg, Daniel Simonsson, Håkan Sköldberg, Thomas Unger, Elforsk, 2008. *Vindkraft i framtiden Elforsk rapport 08:17*, Stockholm: Elforsk.

Richard Jernlås, Vattenfall, 2008. *Livscykelanalys avseende Vattenfall Distribution Nordens elnät år 2007*, Stockholm: Vattenfall.

Riksdagen, 2008. *En sammanhållen klimat- och energipolitik, regeringens propositioner 2008/09:162,163, www.riksdagen.se*. Stockholm: Riksdagen.

Singh et al, 2013. *Life Cycle Assessment of Renewable Energy Sources*, u.o.: u.n.

Staffas Louise, Hansen Karin, Sidvall Anders, Munthe John, 2015. *Rapport Råvaruströmmar från skogen- tillgång och samband*, NR C 116, Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

Stefan Löfven, 2016. *Sveriges arbete för att nå de globala målen*. Stockholm: Regeringen.

Steffen, W. R. K. R. J. C. F. S. B. E. B. R. C. S. D. V. W. D. W. C. F. C. G. D. H. J. M. G. P. L. R. V. R. B. & S. S., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, Issue vol. 347, no. 6223 DOI: 10.1126/science.1259855.

Strandberg, G., Barring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, M., Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A. and Wang, S., 2014. *CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Reports Meteorology and*

Climatology, 116, Norrköping: SMHI.

Strålsäkerhetsmyndigheten, 2013. *Strålsäkerhetsmyndigheten*. [Online] Available at: <http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/start/Magnetfalt-tradlos-teknik/> [Använd 2016].

Svante Claesson, Karl Duvemo, Anders Lundström, Per-Erik Wikberg, 2015. *10–2015 Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA 15*, Jönköping: Skogsstyrelsen.

Sweco En specialstudie till Vägval el, 2015. *Skatter och subventioner vid elproduktion*, Stockholm: IVA.

Svenska Kraftnät, Karin Lövebrant, 2012. *Verktyg för värdering av miljöpåverkan vid investeringar i det svenska elstamnätet*, Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska kraftnät, 2015. *www.svk.se*. [Online] Available at: <http://www.svk.se/stamnattet/trygg-elforsorjning/miljopaverkan/> [Använd 2016].

Swerea IVF Stefan Posner, 2009. *Risikanalyser av kemikalier vid tillverkning av litiumjonbatterier*, Ver 090828, Mölndal: Swerea IVF.

Tillväxtverket, 2014. *Hållbart företagande Företagens villkor och verklighet 2014*, Stockholm: Tillväxtverket.

Troy R. Hawkins, Bhawna Singh, Guillaume Majeau-Bettez, and Anders Hammer Strømman, 2012. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology* 53.

Walker, S., 2015. *Comparative life cycle assessment of power to gas generation of hydrogen with a dynamic emissions factor for fuel cell vehicles* : Journal of Energy Storage.

Varun, Bhat, Prakash, 2009. LCA of renewable energy for electricity generation systems – A review. *Renewable and Sustainable Energy Review* 13:1067-1073.

Vindval, 2015. *Vindkraft och miljö, Vindvals lägesrapport 2015*, Stockholm: Naturvårdsverket.

www.sis.se, 2015. *www.sis.se*. [Online] Available at: <http://www.sis.se/Nyheter-och-press/Nyheter/Antal-certifieringar-fortsatter-oka1/> [Använd 2016].

Zetterberg and Chen, 2014. The time aspect of bioenergy – climate impacts of solid biofuels due to carbon dynamics. *GCB Bioenergy*.

SEMINARIER

Mer detaljerad information och presentationer från genomförda seminarier återfinns på IVAs hemsida www.iva.se.

Framtidens elsystem löser miljöproblem – och skapar nya 27 augusti 2015

Lars-Erik Liljelund, fd GD Naturvårdsverket, SEI
Dag Henning, Naturvårdsverket
Nina Weitz, SEI
Jenny Godhe, IVL
Svante Axelsson, Naturskyddsföreningen
Cecilia Kellberg, SE
Karin Jönsson, E.ON
Anton Steen, Energikommisionen
Helle Herk-Hansen, Vattenfall
Richard Almgren, Näringslivets syn på miljömålen

Konkurrens om den hållbara skogen 9 november 2015

Magnus Fridh, Skogsstyrelsen
Mårten Larsson, Skogsindustrierna
Ingrid Bodin, Preem
Nils Hannerz, IKEM
Per Ytterberg, Fortum
Emmi Jozsa, Energimyndigheten
Göran Örlander, Södra
Lars Zetterberg, IVL
Mikael Karlsson, KTH och rådgivare 2050,
Gunilla Andrée, Energikommisionens sekretariat
Lars Strömberg, Vasa värme

Vattenkraft och biologisk mångfald 25 januari 2016

Erik Brandsma, Energimyndigheten
Jesper Nyberg, Svenska Kraftnät
Ingemar Näslund, Sveriges Lantbruksuniversitet
Claes Hedenström, vattenkraft Vattenfall
Birgitta Adell, vattenkraft Fortum
Ellen Bruno, Sveriges Naturskyddsförening,
Mattias de Woul, WWF

HEARINGS

Klimatförändringar och ev påverkan på
Sveriges elförsörjning 2050 – 13 april 2015
Erik Kjellström, SMHI.

Miljöarbetet i Näringslivet – 25 maj 2015
*Annika Helker Lundström, Nationell
Miljösamordnare Näringslivet*



KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

i samarbete med

