

# Värden av ett förnybart energisystem i Sverige



# Executive Summary

*This report investigates the total value for Sweden of transforming its energy sector to only use renewable energy. The calculated value is based on a scenario where Sweden's energy sector is completely renewable year 2040 after a continuous increase of the renewable share from today's production mix. This will inevitably incur changes in the energy market as we know it today in terms of actors, price mechanisms and value propositions. The background for this transformation is the agreement in the Swedish parliament stating that the energy sector should be 100% renewable by 2040.*

*The identified value of a transformation to a renewable energy sector is 6 130 bn SEK following an investment of 1 550 bn SEK. This implies an internal rate of return at 7.8%. The calculated contributions come from revenues and cost savings for the country.*

*Revenues are split into seven areas of which three are related to the energy industry itself. They are electricity revenues (domestic and export), grid revenues and taxes. The other four are derived from other industries that would benefit from cheap and reliable renewable energy. The latter category includes revenues from increased export among energy intensive industries, foreign direct investments, international financial support and the Clean Tech Sector.*

*The identified cost savings are derived from three areas. Firstly, a forecasted lower electricity price relative a non-renewable scenario implies savings. Secondly, a renewable production yields savings in environmental and societal cost. Thirdly, savings from a reduced cost for security issues in regards to large scale accidents.*

*In addition to the quantitative values, Sweden would most likely see a set of qualitative values as well. These values are a strengthening global position, increased technological development, and an enhanced society.*

*In addition, potential obstacles to the transformation are assessed, these include market structure and pricing, technology, and regulations. In order to address these potential obstacles and to enable the transformation five areas for further discussions are identified;*

- *Assess the current market model and pricing for electricity to enable a transformation of Sweden's energy system*
- *Develop a plan for how the energy system technically should be constructed and the structure of it*
- *Update laws and regulations regarding the energy system to facilitate and to a larger extent give incentives for change*
- *Evaluate what role private and public actors should have in the transformation and how they should cooperate in an optimal way*
- *Increase actors' incentives for participating in the transformation through predictability and investment protection*

# Sammanfattning

*I denna studie presenteras ett estimat för det totala värdet för Sverige av att transformera sin energisektor till att endast använda förnybar energi. Det beräknade värdet är baserat på ett scenario där Sveriges energisektor är helt förnybar år 2040, följande en kontinuerlig ökning av den förnybara andelen av dagens produktionsmix. Detta kommer oundvikligen att förändra energimarknaden som den ser ut idag i termer av aktörer, prismekanismer och produkter och tjänster. Bakgrunden för denna transformation är Energiöverenskommelsen 2016, som har som mål att skapa en förnybar energisektor år 2040.*

*Det identifierade värdet av transformationen till en förnybar energisektor är 6 130 mdkr efterföljande en investering på 1 550 mdkr. Detta implicerar en internränta på 7,8 %. De beräknade intäkterna kommer från intäkter och kostnadsbesparingar för landet.*

*De beräknade intäkterna är indelade i sju områden av vilka tre är relaterade till energisektorn, intäkter från elförsäljning (inhemsk och exporterad), elnätsintäkter och skatter. De resterande fyra intäktströmmarna kommer från andra industrier som värderar förnybar energi till ett konkurrenskraftigt pris. Dessa inkluderar intäkter från ökad export bland energiintensiva industrier, utländska direktinvesteringar, internationellt finansiellt stöd och Clean Tech-sektorn.*

*De estimerade kostnadsbesparingarna kommer från tre områden. Dels från att ett prognostiserat lägre elpris relativt ett icke-förnybart scenario genererar besparingar för konsumenten. Utöver detta implicerar en förnybar produktion besparingar i miljömässiga och samhällsmässiga kostnader. Den tredje identifierade kostnadsbesparingen är en lägre kostnad för säkerhetsproblem relaterade till storskaliga olyckor.*

*Utöver de kvantitativa värdena har ett antal kvalitativa värden identifierats. Dessa inkluderar värden relaterade till en stärkt global position, en ökad teknologisk utveckling samt ett förbättrat samhälle.*

*Vidare diskuteras ett antal utmaningar som denna transformation kan antas medföra. Dessa inkluderar utmaningar gällande marknad och prissättning, teknik och struktur, samt lagar och regleringar. För att möta dessa utmaningar och möjliggöra för en transformation har fem områden för vidare diskussion identifierats:*

- *Se över dagens marknadsmodell och prissättning av el för att möjliggöra en omställning av Sveriges energisystem*
- *Utveckla en plan för hur energisystemet ska vara uppbyggt tekniskt och vilken struktur det ska ha*
- *Uppdatera lagar och regleringar kring energisystemet för att förenkla och i större grad ge incitament till förändring*
- *Utreda vilken roll privata och offentliga aktörer bör ha i omställningen samt hur de optimalt ska samverka*
- *Öka aktörers incitament till att medverka i omställning genom förutsägbarhet och investeringstrygghet*

# Innehållsförteckning

Executive Summary	2
Sammanfattning	2
<b>1 Inledning</b>	<b>4</b>
<b>2 Ett energisystem redo för förändring</b>	<b>5</b>
<b>3 Det framtida energisystemet</b>	<b>6</b>
3.1 Beräkningsantaganden kring det framtida energisystemet	6
3.2 Beståndsdelar och dynamiker i det framtida energisystemet	7
<b>4 Värdet för Sverige av ett förnybart energisystem</b>	<b>9</b>
4.1 Intäkter	9
4.2 Kostnadsbesparingar	13
4.3 Kvalitativa värden	14
<b>5 Alternativkostnad för att behålla nuvarande produktionsmix</b>	<b>17</b>
<b>6 Utmaningar för en omställning av energisystemet</b>	<b>18</b>
6.1 Marknad och prissättning	19
6.2 Teknik och struktur	20
6.3 Lagar och regleringar	21
<b>7 Områden för vidare diskussion</b>	<b>23</b>
<b>8 Referenslista</b>	<b>25</b>
<b>9 Appendix</b>	<b>26</b>
9.1 Direkta effekter	26
9.2 Indirekta och inducerade effekter	26

# 1 Inledning

Denna studie analyserar Sveriges framtida omställning till ett helt förnybart energisystem i enlighet med Energiöverenskommelsen 2016 som har som mål att Sverige ska övergå till en helt förnybar elproduktion till år 2040. Detta innebär ett energisystem som främst består av vatten, sol och vind som produktionskällor.

Syftet med studien är att beskriva de kvantitativa och kvalitativa värden för Sverige som energisektorn och andra relaterade industrier har möjlighet att skapa till följd av denna omställning. Genom att estimeras det totala värdet och belysa den breda omfattningen av de kvalitativa värdena kan dessa ställas i relation till investeringsbehovet. I rapporten estimeras även alternativkostnaden av att investera i ett energisystem med dagens produktionsmix.

För att Sverige ska kunna övergå till ett förnybart energisystem har vissa tekniska, strategiska och regulatoriska utmaningar diskuterats av olika aktörer över tiden. I denna studie belyses olika områden som identifierats som potentiella hinder. För att överkomma dessa hinder och skapa en framgångsrik omställning presenteras fem områden för vidare diskussion. Dessa ämnar att skapa diskussion kring vad som behöver ändras, samt hur Sverige ska genomföra en omställning.

## 2 Ett energisystem redo för förändring

Sverige har nått politisk enighet om att ligga i framkant gällande förnybar energi genom att ställa om energisystemet till 100 % förnybart år 2040 enligt Energiöverenskommelsen från 2016. Många länder ser idag över sin energiförsörjning, men även i relation till internationella mått har Sverige ambitiösa mål. Denna transformation innebär en relativt stor omställning för Sverige som nation och det är viktigt att den sker på ett optimerat och genomtänkt sätt för att maximera värdeskapandet, minimera kostnader och reducera risken för störningar.

Energisystemen är inte ensamma om att vara i förändring. Världen förändras idag i snabbare takt än vad som skett historiskt. Nya teknologier, beteenden, affärsmodeller och samhällssystem ersätter tidigare uppfattningar om hur tjänster och produkter skapas och levereras. På makronivå kan de stora och övergripande globala förändringarna delas in i Planetära, Teknologiska, Ekonomiska och Konsumtionsdrivna trender (Figur 1).

Nya konsumtionsmönster innebär till exempel att e-handel blir allt viktigare, att avancerad teknik används i större utsträckning och att medvetenhet kring hälsa ökar i betydelse. Ekonomiska tendenser innebär ökade kapitalflöden över landsgränser samt ökat fokus på produktivitet, R&D och innovation. Teknologin förändras i en exponentiell takt, inkluderande ett ökat antal uppkopplade enheter samt fler smarta apparater och robotar som hjälper individer i vardagen.

De samhällsmässiga megatrenderna innehåller en ökad medvetenhet av växthuseffekten och större fokus på erbjudande av gröna produkter och tjänster. Initiativ världen över innehåller stort miljöfokus som bland annat strävar mot FN:s hållbarhetsmål och att begränsa global uppvärmning. I Sverige ses inom detta område en begynnande samhällsomställning med en fordonssektor som uppmuntras att elektrifieras, regleringar som stödjer en energieffektiv omställning, företag som aktivt prioriterar att minska sin miljöpåverkan och konsumenter som värderar hållbara produkter.

En omställning till ett förnybart energisystem innebär stort fokus på produktionskällor, vilket innebär att intresset för förnybara energislag växer. Genom Energiöverenskommelsen antog Sverige riksdag 2016 ett gemensamt mål om att energisektorn ska vara helt förnybar 2040. Detta definieras som ett energisystem som nästan uteslutande baseras på vattenkraft, solkraft och vindkraft, där vattenkraften i större utsträckning används som reglermekanism för att utjämna variation i behov.

En plan för hur en helt förnybar produktion kan se ut till år 2040 har estimerats i rapporten "100 % förnybart" skriven av Sweco år 2017 på uppdrag av Skellefteå Kraft. Rapporten bekräftar att det är tekniskt möjligt att övergå till en helt förnybar elproduktion. Utöver den tekniska analysen görs också ett kostnadsestimat på de investeringar som behövs i form av nya produktionsenheter, utbyggnation av elnätet och investering i lagringsmöjligheter för att uppnå detta mål. Den totala investeringskostnaden nämnd i denna rapport är i storleksordningen 1 550 mdkr. Denna kostnad utgör investeringar i nya förnybara produktionsanläggningar (550 mdkr), återinvesteringar i viss befintlig energiproduktion (300 mdkr), nybyggnation och återinvestering i elnät (500 mdkr) samt en ökad lagringskapacitet (200 mdkr).

Väljer Sverige att genomföra denna transformation finns möjlighet att bli ett ledande land inom en omställning till ett förnybart energisystem. Genom att skapa ett energisystem som har hög leveranssäkerhet, låg miljöpåverkan och el till konkurrenskraftiga priser kan Sverige skapa ett långsiktigt hållbart och säkert energisystem som attraherar nya investeringar och aktörer. En transformation av denna storlek innebär troligen väsentliga förändringar av energimarknadens framtida dynamik. Detta skapar svårigheter för en transformation, vilket kräver stort engagemang och fokus från både de privata och offentliga aktörerna.

Figur 1. Globala megatrender kan delas in de fyra områdena Planetära, Teknologi, Ekonomi och Konsumtion.



Samhälle



Teknologi



Ekonomi



Konsumtion

### 3 Det framtida energisystemet

Givet Sveriges agenda om att ställa om energisystemet kommer såväl produktionsmix som marknadsdynamiker att förändras. I detta kapitel beskrivs först det framtida energisystem som ligger till grund för beräkningarna i studien. Vidare beskrivs teman som kan tänkas influera hur energisystemet kommer utvecklas i framtiden.

#### 3.1 Beräkningsantaganden kring det framtida energisystemet

Beräkningarna i studien baseras på en byggnation av ett förnybart energisystem som förväntas initieras 2018 och vara färdigställt 2040. Mindre förändringar sker från 2018 till 2020, därefter sker omställningen i högre takt för att vara som mest intensiv under 2030-talet. Värden genererade till och med år 2065 har inkluderats i beräkningarna då investeringar i nya produktionsenheter kommer att generera intäkter under hela dess tekniska livslängd, konservativt antagen till 25 år. Intäkterna i scenariot minskar således efter 2040 då inga nyinvesteringar inkluderats efter det.

År 2040 estimeras en produktionsmix där kärnkraft och fossila källor är ersatta av förnybar energi, främst sol- och vindkraft (100 % förnybart) (Figur 2). I scenariot 2040 producerar vattenkraften en liknande volym som idag, men byggs ut för att i högre utsträckning kunna fungera som reglerkraft. För att i beräkningarna modellera hur produktionsmixen kommer att utvecklas över tid har historiska och aktuella behov av bland annat energi, effekt och trans-

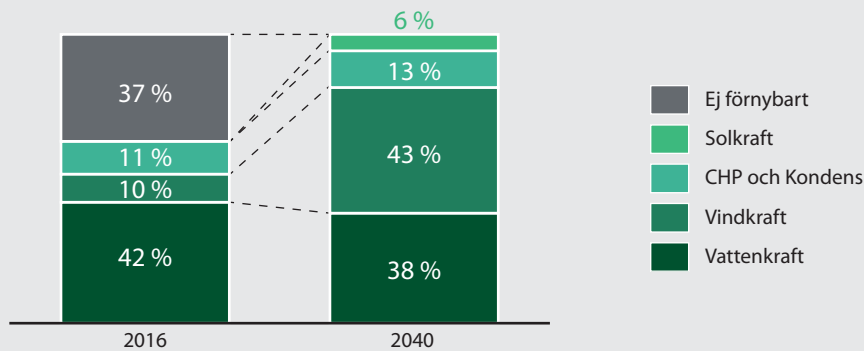
missionskapacitet använts som utgångspunkt. En metaanalys av relevanta prognoser och rapporter kombinerat med expertutlåtanden har sedan legat till grund för de framtida estimerarna.

Den totala energiförbrukningen i landet uppskattas vara relativt stabil fram till 2040, baserat på att en ökad konsumtion av elektricitet troligtvis sker parallellt med en effektivisering av förbrukningen. En total ökning estimeras från 167 TWh 2017 till 173 TWh producerad elektricitet i Sverige 2040 (100 % förnybart) (Figur 3). Den estimerade tillväxttakten 2017 till 2040 antas hållas stabil fram till 2065.

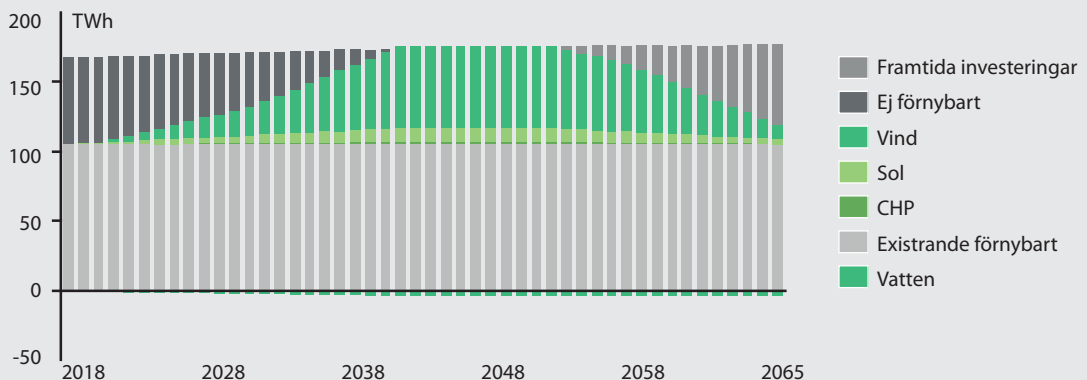
I beräkningarna fhas de icke förnybara energislagen ut i takt med att ny installation av förnybar produktion sker. Den faktiska livslängden för majoriteten av de icke förnybara produktionslagen estimeras vara begränsad som längst till 2040-talet, vilket innebär att beräkningarna inkluderar en utfasning något tidigare än den tekniska livslängden. Det är viktigt att ta hänsyn till att ifall Sverige väljer att behålla nuvarande produktionsmix kommer investeringar i icke förnybara produktionsanläggningar krävas. Även dessa anläggningar behöver fhas in i systemet innan 2040, vilket kommer att innebära en överkapacitet under ett visst antal år.

Investeringar i ny produktionskapacitet, oavsett om dessa är förnybara eller ej estimeras bidra till ett högre elpris vid nuvarande marknadsmodell då dagens elpris ligger under produktionskostnaden. Det framtida priset för el är i denna

Figur 2. Dagens produktionsmix och en estimerad produktionsmix 2040 vid en omställning till ett helt förnybart energisystem.



Figur 3. Utvecklingen från dagens produktionsmix till den estimerade produktionsmixen vid ett förnybart energisystem.



studie baserat på prisprognoser från International Energy Agency (IEA) där priset för samtliga produktionskällor är högre än dagens spotpris. Baserat på dessa prisprognoser bedöms elpriset för ett system med nyinstallerad kärnkraft innebära ett högre elpris än det förnybara scenariot (Figur 4). Detta innebär att Sverige på lång sikt beräknas få ett relativt lägre elpris med en förnybar produktionsmix mot dagens produktionsmix med nyinstallerad kärnkraft. Detta ligger i linje med de estimat Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) presenterar i rapporten "Sveriges framtida elproduktion" det vill säga att en ökning av sol och vind relativt ny kärnkraft skulle innebära lägre årliga produktionskostnader.

För att estimera ett marknadsmässigt elpris har ett påslag på 25 % adderats på produktionskostnaden, vilket ger en produktionsmarginal på 20 %. Påslaget bedöms ge långsiktigt hållbara marginaler för elproducenter. Utvecklingen från dagens spotpris till det framtida elpriset har antagits vara linjär då investeringar i nya produktionsslag kommer behöva ske successivt.

Sannolikt kommer energisystemets struktur år 2040 att ha förändrats i jämförelse med dagens system som i huvudsak är baserat på att producenter levererar el från produktionskällan via nätet till konsumenten (Figur 5). Konsumenten betalar idag för användning av el baserat på både energi och effekt, en fast kostnad för effekt till distributionsnäten och även en rörlig baserat på energianvändning. Beräkningarna i denna studie är dock baserade på ett energisystem där marknadsstrukturen i stor utsträckning ser ut som idag men där energimix och förbrukning förändras till 2040 enligt ovan beskrivna förändringar.

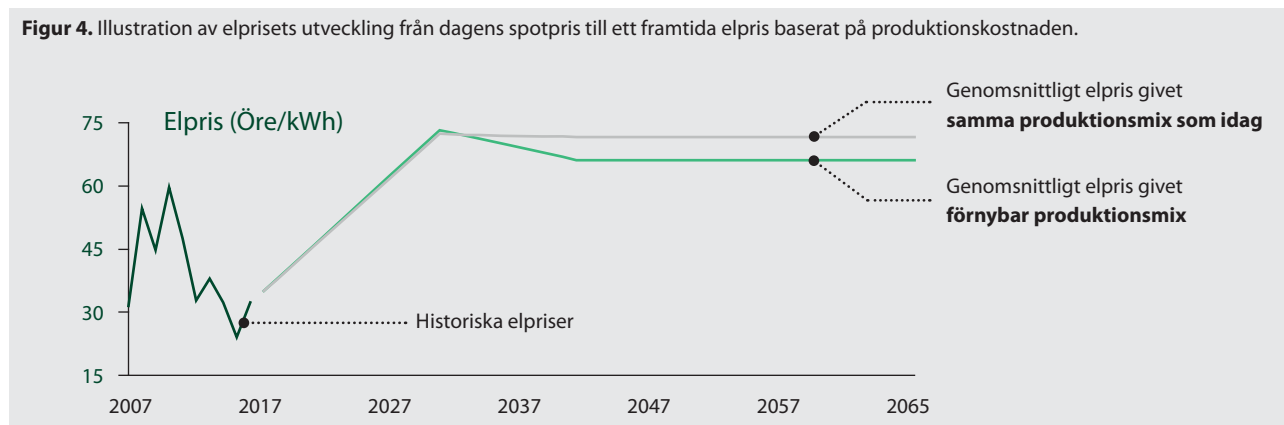
### 3.2 Beståndsdelar och dynamiker i det framtida energisystemet

Hur energisystemet kommer att se ut i framtiden är omtvistat. Det är t.ex. osäkert var vindkraftverk och solpaneler kommer att vara placerade, hur betalningsstrukturen för elektricitet kommer att se ut samt vilka aktörer som kommer att finnas på marknaden. Troliga beståndsdelar och dynamiker i ett framtida system kan dock med högre precision förutses baserat på den utveckling som observeras samhällsmässigt och teknologiskt idag. Exempel på dessa dynamiker är mindre produktionsanläggningar, ökad distribuerad produktion, nya försäljningskanaler samt ökad användning av data och analys (Figur 6). Detta innebär ett mer komplext ekosystem som genererar samhällsvärden genom nya aktörer och intäktströmmar, befintliga aktörer som blir mer effektiva, samt privatpersoner som får en större roll på energimarknaden.

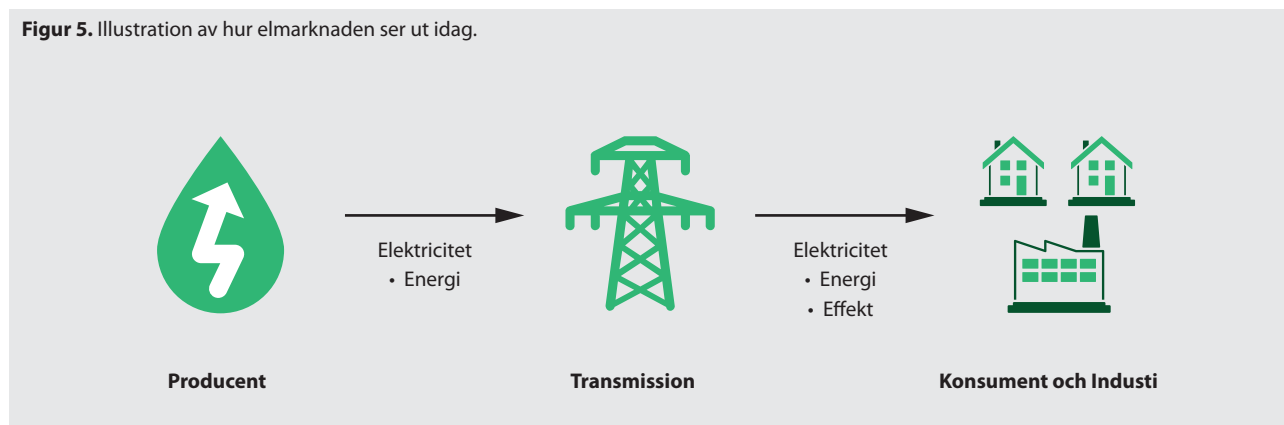
Det är möjligt att elförsäljningen kommer att ske på andra sätt än idag, exempelvis genom att producenter som komplement till elförsäljning också får betalt för att säkerställa en viss effekt. Andra tänkbara scenarion är att el säljs via sampaketering med andra produkter, eller att producenter integrerar sin värdekedja framåt och säljer en tjänst, såsom ljus eller värme, till konsumenten.

En ökad andel distribuerad produktion skulle innebära att viss nyinstallerad kapacitet för vind- och solkraft placeras nära konsumenten. Det skulle troligtvis innebära att privatpersoner och företag i större utsträckning kommer att handla el från varandra. För att underlätta handel mellan konsumenter är det möjligt att det uppstår nya system att

Figur 4. Illustration av elprisets utveckling från dagens spotpris till ett framtida elpris baserat på produktionskostnaden.



Figur 5. Illustration av hur elmarknaden ser ut idag.



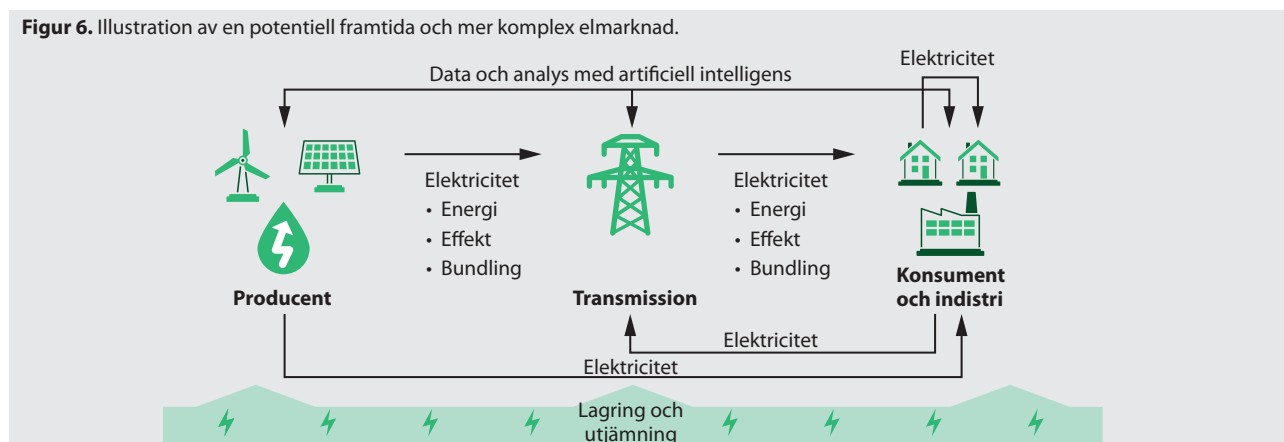
handla el på. Det kommer förmodligen att bli viktigt att förstå kunders beteendemönster vilket kan ge upphov till olika typer av analys- och betaltjänster. Ett sätt att möjliggöra dessa tjänster är att använda blockkedja för att öka säkerhet och förtroende mellan aktörer.

Då viss förnybar produktion, t.ex. sol- och vindkraft, i olika utsträckning varierar med säsong och tid på dygnet är det nödvändigt att lagring blir en mer väsentlig del av ett nytt system och att olika typer av lagringsmöjligheter utvecklas. Lagring kan både ske på lokal nivå i exempelvis batterier, likväl som på central nivå i exempelvis vattenreservoarer. Ökad förmåga till lagring jämnar ut efterfrågan på nygenererad el, vilket implicerar stabilare elpriser och större förutsägbarhet på marknaden. Nya tekniker och innovationer som till exempel är kopplade till mer effektiv och långvarig lagring kan även leda till att handeln förändras i form av nya tjänster och produkter.

Det kan även antas att det kommer att utvecklas lösningar för en effektivare och jämnare konsumtion av el för att parera de produktionsvariationer som förnybara källor genererar. Exempel på denna effektivisering är smarta hem som med hjälp av artificiell intelligens kan förutse när efterfrågan på el är hög och matcha konsumtion till produktionskapacitet. En utveckling i denna riktning ställer krav på en ökad kommunikation, dataöverföring mellan aktörer och nya typer av tjänster.

Dynamikförändringar i energisystemet kommer förmodligen att göra att funktioner som idag ses som självklara blir alltmer viktiga för att upprätthålla ett fungerande system. Exempel på sådana funktioner är upprätthållande av frekvens, svängmassa eller effekt i systemet. Detta skulle kunna leda till förändringar av såväl affärsmodeller som aktörer, tjänster och maktförhållanden på energimarknaden. Potentiellt kan aktörer som enbart säljer effektgarantier eller liknande tjänster komma in på marknaden.

Figur 6. Illustration av en potentiell framtida och mer komplex elmarknad.





# 4 Värdet för Sverige av ett förnybart energisystem

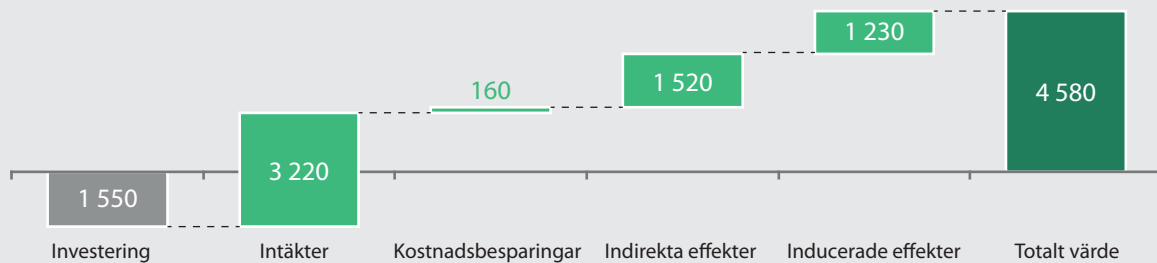
För att övergå till ett helt förnybart energisystem uppskattas en grundinvestering i storleksordningen 1 550 mdkr. Denna investering estimeras fram till 2065 generera intäkter och kostnadsbesparingar på sammanlagt 6 130 mdkr, uttryckt i dagens penningvärde. Utöver dessa kvantifierade värden har ett antal kvalitativa värden identifierats.

Nettonuvärdet av de kvantifierade intäkterna bedöms vara omkring 4 580 mdkr (Figur 7) vilket innebär en positiv avkastning på investeringen. Uttryckt i internränta, som beskriver den årliga avkastningen, innebär denna investering en avkastning på 7,8 %. Internräntan är beräknad genom att kombinera grundinvesteringen och kassaflödet av samtliga värden som realiseras från år 2018 till år 2065 diskonterade med en reell ränta på 2 %. De estimerade intäkterna och kostnaderna antas ge upphov till indirekta respektive inducerade effekter genom att en viss del spenderas på andra industrier och löner (Appendix 1).

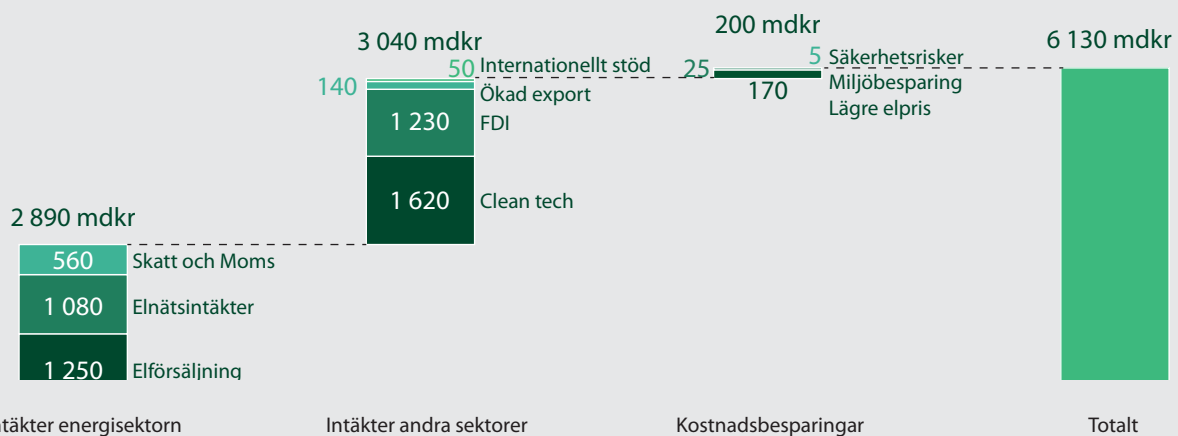
## 4.1 Intäkter

Intäkterna har delats in i två kategorier: intäkter från energisektorn på 2 890 mdkr och intäkter från andra sektorer på 3 040 mdkr (Figur 8). Den första kategorin, energisektorn, inkluderar intäkter till energiföretag genom elförsäljning och elnätsavgifter, samt intäkter till staten i form av skatt och moms. För den andra kategorin, andra sektorer, är intäkterna främst baserade på ökad tillväxt. Detta inkluderar segmentet Clean Tech, företag som arbetar med innovationer för ett hållbart samhälle, som förväntas öka i både antal och omsättning. Vidare förväntas intäkter härledda från utländska direktinvesteringar öka, på grund av ökad efterfrågan på priseffektiv, förnybar och pålitlig elförsörjning. Exempel på företag som visat på en stark efterfrågan av pålitlig förnybar el är Apple, Google och Facebook. Något som illustrerar detta är Facebooks val att bygga datacenter i Norden. Sveriges export estimeras även öka från svenska energiintensiva företag då kostnaden för el bedöms minska, relativt ett icke förnybart scenario, och således leda till lägre produktpriser. Slutligen antas det att Sverige kan få visst finansiellt stöd från internationella organisationer som vill främja framstående miljöarbete.

**Figur 7.** Estimerat värde vid en omställning till ett helt förnybart energisystem uppdelat på investering, intäkter, kostnadsbesparing samt indirekta och inducerade effekter.



**Figur 8.** Bruttovärdet av ett förnybart energisystem uppdelat på intäkter inom energisektorn och andra sektorer samt kostnadsbesparingar.



### 4.1.1 Intäkter från elförsäljning

Elförsäljning av förnybart genererad el från ny kapacitet ger intäkter till producenter och elhandlare till ett uppskattat nuvärde på 1 250 mdkr tillsammans med indirekta och inducerade effekter. De årliga intäkterna beräknas vara som störst kring 2040 då systemet är fullt utbyggt och minskar sedan i takt med att de producerande enheternas estimerade livslängd på 25 år löper ut (Figur 9). Intäkterna från elförsäljning är beräknade dels utifrån en prognos på elpriset för förnybar energi och dels utifrån en prognos på ny volym.

Elprisprognosen är baserad på produktionskostnadskurvor för olika energityper erhållna från IEA (Figur 10). För att erhålla en genomsnittlig produktionskostnad är dessa kostnadskurvor viktade efter den förväntade energimixen per år (Figur 4).

Produktionsvolymerna som används för dessa beräkningar inkluderar den estimerade kapacitet som behövs i framtiden, bortsett från cirka 6 % i förluster (Figur 3). Produktionsvolymen av ny förnybar kapacitet förväntas öka till 68 TWh 2040 och minskar sedan successivt i och med att produktionsenheternas livslängd löper ut. Omkring 12 % av produktionsvolymerna antas gå till export och resterande volymer förbrukas inom landets gränser.

### 4.1.2 Elnätsintäkter

De totala elnätsintäkterna till år 2065 har ett nuvärde på 1 080 mdkr tillsammans med indirekta och inducerade effekter (Figur 11). Dessa intäkter är baserade på prognoser för ny volym förnybar energi samt estimat för framtida elnätstariffer.

Volymprognosen är baserad på samma volymer som elförsäljningen korrigerad för förluster och export. Aktörer inom näringslivet står för 42 % av användningen medan hushåll står för resterande 58 % (SCB).

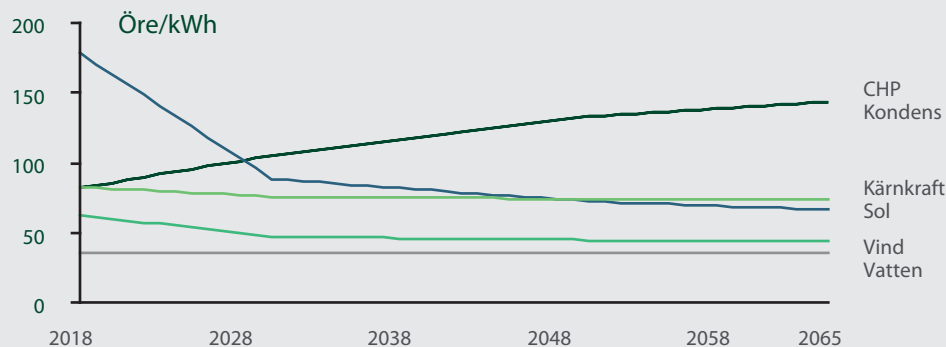
Elnätspriserna inkluderar både fasta och rörliga avgifter, och varierar mellan olika typkunder. Genomsnittliga elnätspriser för hushåll och näringsliv år 2018 är beräknat till 37 respektive 18 öre/kWh. En genomsnittlig årlig tillväxt har beräknats från historiska värden för elnätspriser och antas hålla samma tillväxt fram till år 2065, 1,7 % för hushåll och 0,5 % för näringsliv.

För att realisera omställningen till ett helt förnybart energisystem krävs investeringar i elnätet. T.ex. estimeras i scenariot att en stor del av den installerade kapaciteten kommer ske i norra Sverige, vilket innebär ökade krav på elnäten från norr till söder. Enligt det beräknade scenariot behövs totalt 500 mdkr i elnätsinvesteringar, av vilka

**Figur 9.** Estimerade intäkter från inhemsk och exporterad elförsäljning vid en omställning till ett förnybart energisystem.



**Figur 10.** Produktionskostnadsprognoser till 2065 för olika produktionsslag.



**Figur 11.** Estimerade elnätsintäkter vid en omställning till ett förnybart energisystem fördelat på hushåll och näringsliv.



400 mdkr är återinvesteringar i det befintliga elnätet och 100 mdkr är investeringar för utbyggnation för att ställa om till ett förnybart system. De estimerade 100 mdkr antas höja de genomsnittliga priserna för elnätet utöver den årliga tillväxten genom ett påslag som täcker dessa kostnader.

#### 4.1.3 Skatt och moms från elförsäljning

Totalt beräknas skatt och moms ha ett nuvärde på 560 mdkr för direkta intäkter. Beräkningarna inkluderar intäkter bestående av energiskatt och fastighetsskatt samt moms på elförsäljning, energiskatt och nätintäkter.

Inkluderat i beräkningarna är politiskt beslutade förändringar på respektive område. Detta inkluderar förändringar i fastighetsskatten för vattenkraft från 2,2 % 2017 till 0,5 % 2020 samt ökning av normalskattenivån på energiskatten från 29,5 öre/kWh 2017 till 33,7 öre/kWh 2019. Förutom beslutade förändringar är inga prognoser på skatte- och momsförändringar inkluderade i beräkningarna.

Gällande energiskatten antas konstant fördelning i konsumtionsvolym mellan normalskatt, lågskatt och skatt för industriell verksamhet. Fördelningen mellan dessa är baserade på siffror från SCB 2015 och är cirka 53 %, 5 % respektive 42 % av total konsumtion.

#### 4.1.4 En växande Clean Tech-sektor

Totalt antas ett förnybart energisystem bidra till en Clean Tech-sektor i Sverige som omsätter 180 mdkr år 2065 och leder till en sysselsättning om 50 000 heltidstjänster. Nuvärdet för Sverige av den ökade omsättningen fram till år 2065 är beräknat till 1 620 mdkr tillsammans med indirekta och inducerade effekter.

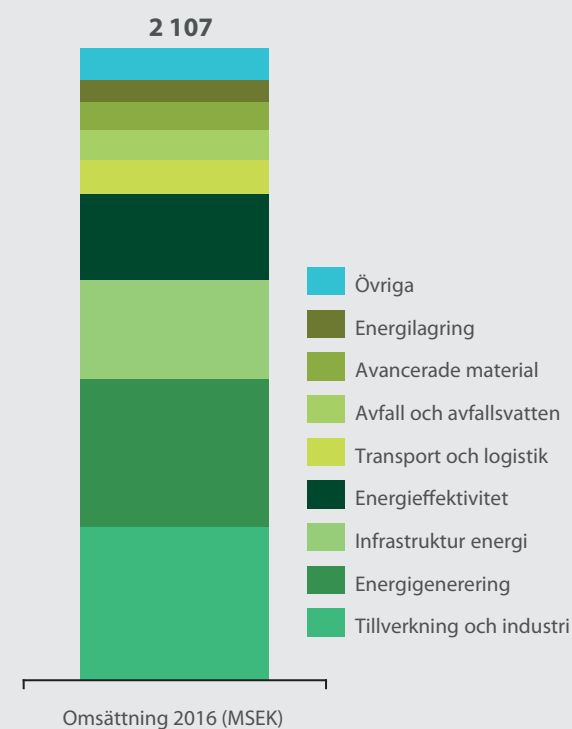
Sverige är internationellt erkänt som ett land med hög innovationsförmåga inom Clean Tech. The Global Innovation Index 2017 rankar Sverige som topp tre bland de länder som mest troligt blir stora inom Clean Tech i framtiden. EU:s Eco-Innovation Index, ett index som estimerar hur länder på en nationell nivå bidrar till att skapa förutsättningar för eko-innovationer, rankar Sverige på plats fem.

Sveriges Clean Tech-sektor omsätter uppskattningsvis drygt

2 mdkr 2016, baserat på 184 Clean Tech-bolag (Figur 12). Sverige har dock en god utgångspunkt för att få en väsentligt större Clean Tech-sektor. Ett helt förnybart energisystem kan stärka Sveriges position signifikant.

För att estimerar den framtida potentialen för Clean Tech i Sverige är beräkningarna baserade på totala investeringarna idag och hur dessa förväntas öka. Globalt har investeringar i Clean Tech-bolag ökat med 9 % årligen de senaste fem åren och främst har investeringarna tillfallit kategorierna Energigenerering, Transport och logistik samt Energieffektivitet. Europas andel av dessa investeringar har under tidsperioden varit runt 25 % av vilken Sverige i sin tur estimeras ha attraherat 7 % under 2016.

**Figur 12.** Omsättning av Clean Tech-sektorn i Sverige 2016 segmenterat på nio områden.



I scenariot antas de globala investeringarna öka med 9 % per år till 2035, baserat på historisk tillväxt, för att sedan stabiliseras till en ökad tillväxt på 5 % per år. Sveriges andel antas öka från nuvarande 7 % av de europeiska investeringarna till 12 % år 2035, en ökning med 5 % per år. Från 2035 till år 2050 antas Sveriges andel öka med 2 % per år till en total andel på 16 % för att därefter hållas konstant.

#### 4.1.5 Ökad andel direkta utlandsinvesteringar

En omställning till ett förnybart energisystem kan antas attrahera nya företag att etablera hela eller delar av sin verksamhet i Sverige, vilket estimeras generera ett nuvärde på 1 230 mdkr tillsammans med indirekta och inducerade effekter fram till år 2065. Relaterat till en flytt av dessa industrier till Sverige erhålls även ett ökat antal jobb i Sverige, i detta scenario antaget till 13 000 heltidstjänster i Sverige år 2065.

Genom att erbjuda förnybar elektricitet till ett konkurrenskraftigt pris bedöms Sverige kunna locka till sig företag från ett antal olika energiintensiva branscher. Exempel på sådana branscher med god global tillväxt inkluderar datacenter, batteritillverkning, vätgasproduktion och aluminiumproduktion (Figur 13).

Under de senaste tio åren flyttade företag inom energiintensiva och miljöfokuserade industrier en total omsättning på omkring 8 mdkr per år till Sverige. Genom att Sverige gör en transformation inom energisektorn bedöms Sveriges

andel kunna öka. Hur stor ökningen kan bli är beroende av ett flertal faktorer av både global och nationell karaktär. En estimerad ökning till 1 % innebär en omsättning från energiintensiva och miljöfokuserade industrier som flyttar till Sverige på 50 mdkr år 2065. Estimatet inkluderar en årlig tillväxt på 2 % av de globala investeringarna, vilket motsvarar historisk utveckling.

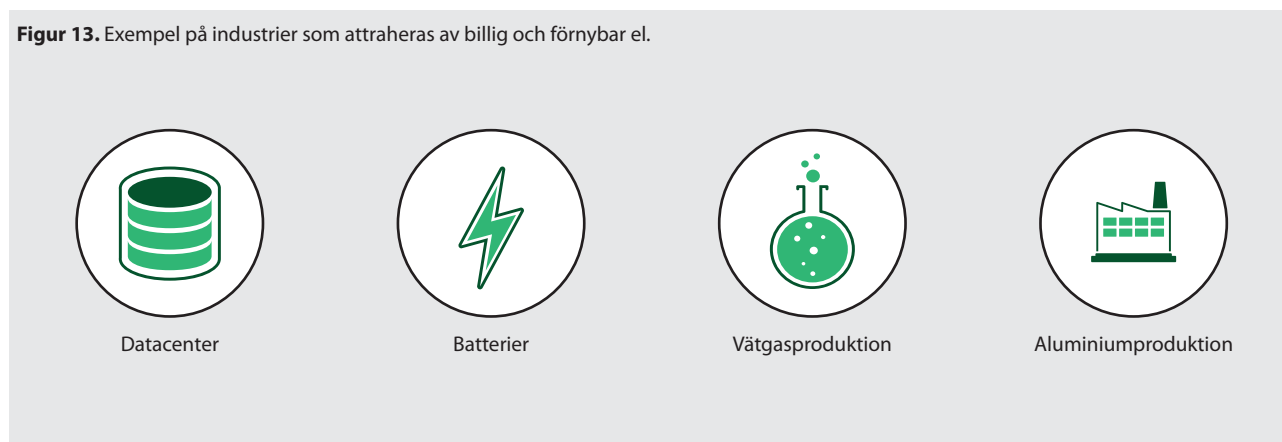
#### 4.1.6 Ökad export från elintensiv industri

Totalt beräknas ökad export generera ett nuvärde på 140 mdkr fram till 2065 för Sverige tillsammans med indirekta och inducerade effekter, samt generera 2 000 nya heltidstjänster. Detta drivs av att vissa energiintensiva industrier bedöms få relativt lägre produktionskostnader än om ingen omställning görs, vilket leder till en ökad produktionsvolym som kan exporteras. Den totala omsättningen för dessa industrier var 765 mdkr år 2015 (Figur 14).

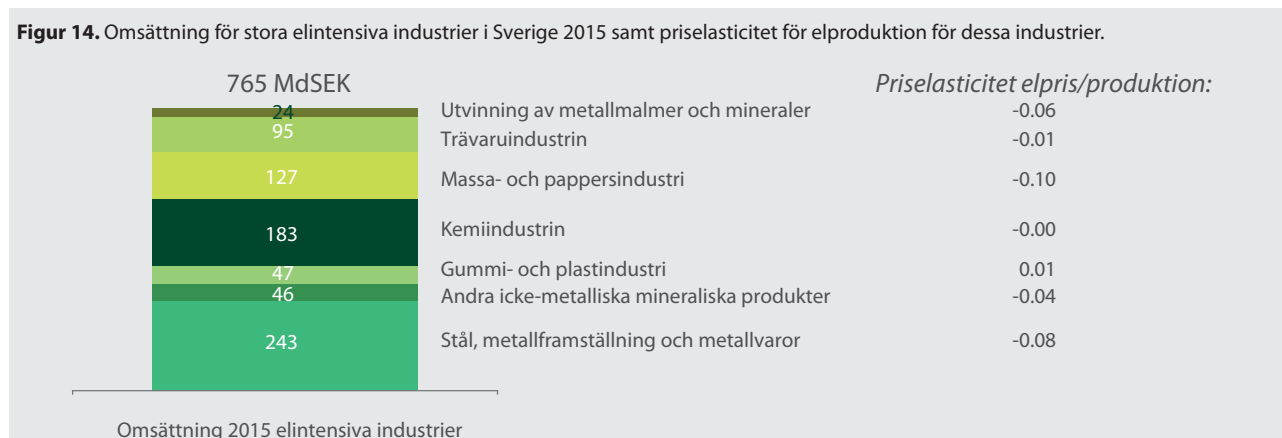
De energiintensiva industriernas produktion är direkt relaterad till elpriset. För majoriteten av dessa industrier innebär ett lägre elpris en ökad internationell konkurrensfördel. Hur en relativ justering i elpriset påverkar produktionen på dessa industrier har forskats på vid Umeå universitet genom beräkning av koefficienter för produktion/elpriselasticitet.

Den estimerade ökningen av dagens elpris till år 2065 gäller både ett helt förnybart energisystem och ett system uppbyggt på dagens produktionsmix. Det framtida elpriset i ett helt förnybart system relativt ett system med dagens produktionsmix prognostiseras dock vara lägre, enligt estimat

Figur 13. Exempel på industrier som attraheras av billig och förnybar el.



Figur 14. Omsättning för stora elintensiva industrier i Sverige 2015 samt priselasticitet för elproduktion för dessa industrier.



på LCOE-kurvor för dessa produktionslag. Den relativa prisskillnaden mellan dessa två prognoser ger en prisskillnad som använts för att estimeras en skillnad i produktionsvolymerna för de elintensiva industrierna. Dessa beräkningar resulterar i en ökad produktion inom dessa industrier som genererar intäkter till ett nuvärde av 140 mdkr fram till 2065.

#### 4.1.7 Intäkter i form av internationellt finansiellt stöd

Det totala nuvärdet av internationellt finansiellt stöd som Sverige beräknas få fram till år 2065 givet en omställning beräknas till 50 mdkr i direkta intäkter. Beräkningen av detta värde är baserat på det finansiella stöd som Sverige idag får från EU till följd av landets energisatsningar. Idag topprankas Sverige inom innovation enligt EU och får finansiellt stöd genom organisationens initiativ Horizon 2020 och ESIF (European Structural and Investment Funds).

Horizon 2020 är ett initiativ skapat av EU i samband med de energimål som satts upp till 2020. Initiativet ger finansiellt stöd till länder som engagerar sig i att skapa och förbättra teknik för hållbar energi. ESIF är ett initiativ som till viss del inkluderar finansiellt stöd till hållbara energiinvesteringar. Beräkningarna baseras på antaganden om att dessa eller liknande initiativ behålls av EU med liknande budgetstorlek och att Sverige som EU-medlem bibehåller sin andel av det finansiella stödet.

## 4.2 Kostnadsbesparingar

De inkluderade kostnadsbesparingarna har definierats utifrån besparingar som innebär ökad köpkraft för konsumenter eller som frigör pengar för olika aktörer att investera på andra områden. I studien har kostnadsbesparingar relaterade till elpris, miljö samt säkerhet och riskhantering estimerats (Figur 8).

Kostnadsbesparingar relaterade till elpris baseras på minskade kostnader för råvaror och transport, finansiella kostnader samt lägre drift och underhåll. Miljörelaterade kostnadsbesparingar är kvantifierat utifrån att fossila produktionskällor tas helt ur bruk. Det sista inkluderade besparingsområdet, säkerhet och riskhantering, är baserat på kostnader att hantera dessa. (Figur 15).

### 4.2.1 Kostnadsbesparingar relaterat till elpris

En förnybar energimix prognostiseras att på sikt innebära ett relativt lägre elpris än vad nyinvesteringar i andra energislag hade inneburit. Ett minskat elpris ger en besparing för både privatpersoner och industri som får minskade elkostnader. Genom att estimeras den relativa prisskillnaden mellan ett förnybart system och ett system med nuvarande produktionsmix väntas ett lägre elpris totalt medföra kostnadsbesparingar till ett nuvärde av 170 mdkr fram till 2065 tillsammans med indirekta och inducerade effekter.

I denna studie baseras de framtida elpriserna på prognoskostnadskurvor från IEA. Det totala värdet som lägre elpriser medför har beräknats baserat på samma metodik som för beräkning av intäkter från elförsäljning. Skillnaden är att två prisprognoser har gjorts baserade på produktionskostnadskurvor från IEA där den ena är viktad som i ett förnybart och den andra i ett icke förnybart system. Skillnaden mellan dessa priskurvor kombinerat med den totala energivolymer i Sverige resulterar då i den årliga besparingen.

### 4.2.2 Miljörelaterade kostnadsbesparingar

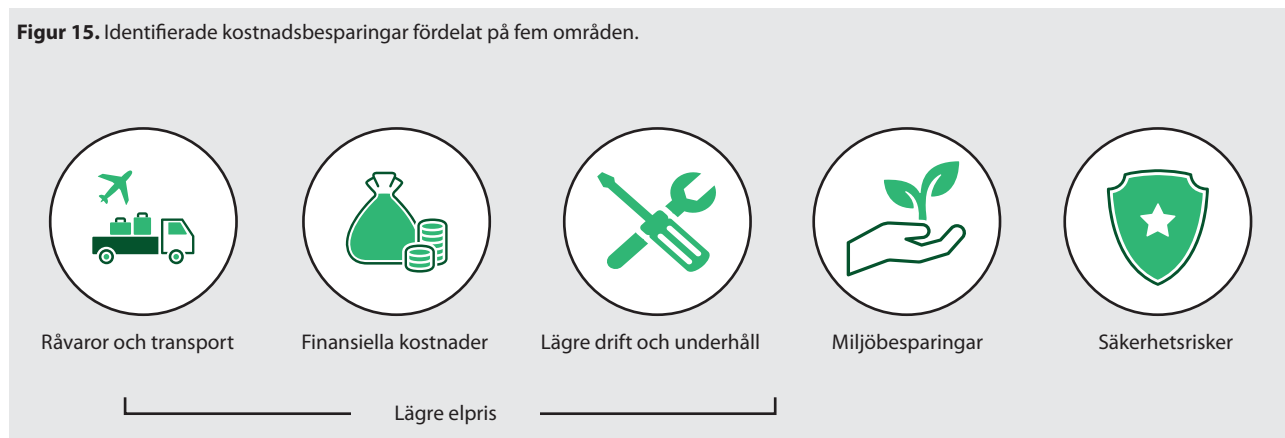
En kostnadsbesparing som uppstår genom att minska användningen av fossila bränslen genererar ett uppskattat nuvärde på 25 mdkr fram till 2065 för direkta intäkter. Dessa besparingar är baserade på de samhällsmässiga kostnader som är förenliga med en reducerad volym växthusgaser och svaveldioxid.

I beräkningarna har priset för växthusgaser värderats i form av koldioxidekvivalenter prissatta till 1 140 kr per ton (TRV). Kostnaden för utsläpp av växthusgaser och svaveldioxid antas öka i takt med BNP, 1,7 % per år.

### 4.2.3 Kostnadsbesparingar relaterat till säkerhet och riskhantering

Givet en helt förnybar produktionsmix antas sannolikheten för samhällsekonomiska konsekvenser relaterade till energiproduktion minska. Olyckor kan naturligtvis ske även vid förnybara produktionslag men får då mer småskaliga och lokala effekter. Totalt beräknas kostnadsbesparing för säkerhet och risker ha ett nuvärde på 5 mdkr fram till 2065, beräknat genom sannolikhetsbedömning och konsekvensanalys, vilket sammantaget uppskattas till en genomsnittlig besparing på 200 mnkr per år (MSB).

Figur 15. Identifierade kostnadsbesparingar fördelat på fem områden.



## 4.3 Kvalitativa värden

De identifierade kvalitativa värdena inkluderar en stärkt global position, en ökad teknologisk utveckling samt ett förbättrat samhälle (Figur 16). Dessa estimeras generera värden för Sverige på ett flertal olika delområden.

### 4.3.1 Stärkt global position

Sverige kan skapa en stärkt global position i form av att visa ledarskap inom en omställning till ett förnybart energisystem. Detta inkluderar exempelvis att skapa förutsättningar i form av politik och regleringar som uppmuntrar en förändring.

#### Politisk position

Ur ett internationellt perspektiv kan en satsning på ett förnybart energisystem komma att leda till att Sverige får en mer framträdande roll i den globala energidebatten. Det finns även möjligheter för Sverige att som nation positionera sig som ett land med framgångar inom hållbarhets- och innovationsfrågor. Därtill kan Sverige vid ett beslut om en omställning till ett hållbart energisystem driva internationella politiska frågor mer självständigt. Detta bland annat på grund av att Sverige ur en energimässig ståndpunkt blir mer geopolitiskt oberoende.

#### Globalt ledarskap

Genom att övergå till ett helt förnybart energisystem kan Sverige skapa motivation till en ökad förändringsbenägenhet inom andra länder. Att Sverige visar att det är genomförbart skulle kunna underlätta för andra länder att initiera en omställning till att bli mer hållbara. Detta skulle potentiellt kunna leda till en positiv spiral som i sin tur gynnar det globala samhället.

#### Regleringar

För att möjliggöra en lyckad transformation krävs att ett antal regleringar ändras. Detta kan potentiellt inspirera till ett mer dynamiskt regelverk, både inom energisektorn men även inom andra sektorer, som förändras kontinuerligt. Det skulle även kunna leda till en ökad förändringstakt för andra fördelaktiga samhällsförändringar.

#### Säkerhet

En omställning till ett helt förnybart energisystem kan leda till förbättringar av den svenska säkerheten. Två identifierade aspekter är internationellt oberoende och mindre risk för storskaliga olyckor. Den första aspekten, ett större internationellt oberoende, skulle innebära att Sverige minskar sin exponering mot exempelvis politisk osäkerhet i andra länder, leveransbrist av råmaterial samt externa prishöjningar. Den andra identifierade aspekten, färre storskaliga olyckor, skulle innebära att Sverige minskar risken för storskaliga energiavbrott och miljökatastrofer på grund av olyckor.

### 4.3.2 Ökad teknologisk utveckling

En övergång till ett förnybart energisystem innebär sannolikt en teknisk omställning av det nuvarande energisystemet. Nya tekniker behöver komma på plats vilket bland annat kan skapa utrymme för innovation, nya företag och ny kunskap i Sverige.

#### Avancerad teknologiutveckling

En övergång till ett förnybart energisystem kan generera nya teknologiska innovationer. Dessa kan exempelvis komma att leda till en mer effektiv energiproduktion och lagring. Genom att vara bland de ledande att genomföra denna transformation kan Sverige skapa en attraktiv miljö för innovationer och därför få konkurrensfördel i form av tidig positionering. Detta innebär att det kan bli lättare att positionera och marknadsföra dessa innovationer både inom och utanför Sverige.

#### Positiv påverkan på företag

En stor omställning inom energisektorn kan vid lyckat utfall inspirera till liknande omställningar även inom andra sektorer. Detta kan i sin tur leda till ett mer dynamiskt och innovationsrikt samhälle. Dessutom kan en omställning leda till att nya företag bildas, antingen från grunden eller från existerande företag. Att nya företag bildas öppnar upp för innovationer, samarbeten och jobb.

#### Humankapital

Väljer Sverige att satsa på förnybar energi kommer kompetens inom detta område att efterfrågas och därmed att öka i flera delar av samhället, inte minst bland företagen inom energisektorn. Den ökade kompetens som uppstår inom energisektorn har även potential att transferera kunskap och innovationer till andra industrier.

#### Teknologiska kluster

I och med att det vid en transformation sker stora satsningar inom förnybar energi, finns det möjligheter för teknologiska kluster att uppstå. Teknologiska kluster främjar samarbete mellan olika aktörer inom akademi och näringsliv vilket kan leda till avancemang inom forskning och utveckling. Bildas ett teknologiskt kluster finns det dessutom bra utsikter att attrahera kompetens och talanger till dessa områden, vilket gynnar energisektorn och Sverige i stort.

Figur 16. Identifierade kvalitativa värden som genereras vid ett förnybart energisystem fördelat inom politiska, teknologiska och samhällsmässiga värden.

### Stärkt global position



#### Politisk position

- Framträdande global roll
- Geopolitiskt oberoende



#### Globalt ledarskap

- Driva global förändring
- Underlättad implementation



#### Regleringar

- Nya regleringar
- Ökad förändringstakt



#### Säkerhet

- Internationellt oberoende
- Inga storskaliga olyckor

### Ökad teknologisk utveckling



#### Teknologiutveckling

- Teknologiska innovationer
- First mover's advantages



#### Företag

- Omställning andra branscher
- Nya företag



#### Humankapital

- Kompetens energisektorn
- Spridning till andra industrier



#### Teknologiska kluster

- Forskning och utveckling
- Attraherar talanger

### Förbättrat samhälle



#### Miljö

- Minskad växthuseffekt
- Inget kärnkraftsavfall



#### Turism

- Ökad internationalism
- Inspirationsresor



#### Engagerade medborgare

- Ökat hållbarhetsbeteende
- Positiv nationalism



#### Hälsa

- Förbättrad levnadsstandard
- Lägre luftföroreningshalter

### 4.3.3 Förbättrat samhälle

De samhällsmässiga värdena för Sverige är främst relaterade till miljö och hälsa som direkta effekter till en utfasning av icke förnybar produktion. Utöver dessa aspekter är det även möjligt att en omställning bidrar till en större framåtanda i samhället med ökat engagemang och internationella interaktioner.

#### **Miljö**

Idag används endast en liten del fossila bränslen i Sverige för produktion av el, men genom att helt sluta använda fossila bränslen för detta syfte kan Sverige minska sin påverkan på växthuseffekten och reducera mängden luftföroreningar. Detta skulle på flera sätt kunna gynna både den lokala och globala miljön. Avveckling av kärnkraftverk medför även att det inte tillkommer mer kärnkraftsavfall i Sverige, med relaterade utmaningar kring lagring.

#### **Internationalism**

En omställning till ett förnybart energisystem har god chans att öka attraktionskraften för internationella flyttar till Sverige. En mer internationell energisektor främjar samarbete över landsgränser. Dessutom skulle en ökad turism kunna åstadkommas om möjligheter för kreativa lösningar kring ett förnybart energisystem realiserar.

#### **Engagerade medborgare**

Om Sverige lyckas förmedla en positiv syn på transformationen till sina medborgare finns potential i att skapa ett starkt engagemang där Sveriges medborgare känner sig delaktiga. Detta skulle även kunna leda till ett generellt ökat hållbarhetsbeteende.

#### **Hälsa**

En minskad användning av fossila bränslen skulle innebära färre föroreningar, en mer välmående miljö och en förbättrad hälsa för Sveriges invånare. Minskade utsläpp av t.ex. svavel-dioxid skulle innebära en minskning av de luftvägssjukdomar som inandning av detta ämne medför. Dessutom kan nya idéer kring förnybar energi vidare förbättra levnadsstandarden. Sveriges satsningar på ett förnybart system kan öka privatpersoners medvetenhet kring hållbarhet, vilket underlättar aktiva beslut rörande t.ex. transport, konsumtion och kost.



## 5 Alternativkostnad för att behålla nuvarande produktionsmix

Väljer Sverige att inte övergå till ett helt förnybart energisystem, kommer investeringar i andra produktionslag att krävas. Dessa investeringar kan sannolikt ske senare än estimerat i scenariot för förnybar produktion, men behöver ske innan 2040. Sveriges elproduktion består idag av cirka 35 % kärnkraft varav sex av Sveriges åtta kärnkraftverk har en beräknad livslängd till början på 2040-talet, resterande två till 2019 och 2020. Detta innebär att om Sverige väljer att behålla den produktionsmix som finns idag efter 2040 behövs investeringar i nya kärnkraftverk innan dess. För att estimerade vad alternativkostnaden till ett helt förnybart energisystem är har en kostnad för att investera i nya kärnkraftverk uppskattats i relation till investeringar i ett helt förnybart system.

Investeringskostnaden för ett helt förnybart energisystem uppgår till 850 mdkr exkluderat 200 mnkr för lagring och 500 mnkr för elnät. Av dessa 850 mdkr är en väsentlig del, ca 300 mdkr, upprustning av befintliga produktionsanläggningar för vatten-, vind- och kärnkraft. Resterande 550 mdkr är investeringar av ny förnybar kapacitet, estimerat till en installation av 18 000 MW vindkraft och 11 000 MW solkraft, vilket kan översättas till omkring 5 500 - 6 600 nya vindkraftverk och 75 km<sup>2</sup> nya solceller. Detta utgår ifrån en effekt på 2 700 - 3 300 kW per vindkraftverk och 150 W/m<sup>2</sup> för solpaneler (Figur 17).

Omfånget för vindkraftverk utgår från den installerade kapaciteten 2016 då genomsnittet var 2 700 kW/installerat vindkraftverk och majoriteten var 3 300 kW. En fortsatt tekniskt utvecklig för solpaneler och vindkraftverk indikerar att effekten per enhet ökar vilket innebär ett minskat antal enheter. En utbyggnad av den estimerade omfattningen motsvarar cirka 10 000 fotbollsplaner eller 6 % av Ölands yta täckt med solceller och cirka 19-23 nya vindkraftverk per kommun i Sverige, en produktion som till skillnad från idag kan vara utspridd över stora delar av Sverige.

Väljer Sverige att behålla nuvarande produktionsmix behöver istället omkring 500 mdkr investeras i nya kärnkraftsreaktorer. Idag finns ca 8 900 MW installerad effekt kärnkraftverk. Effektbehovet 2040 estimeras dock till 9 200 MW, en ökning i linje med den förmodade ökade energiförbrukningen inkluderad i scenariot med förnybar produktion. Vidare har en kostnad per effekt (MW) för installation av ny kärnkraft estimerats baserat på IEA:s och NEA:s rapport "Projected Costs of Generating Electricity". Uppskattad installationskostnad för modern kärnkraft, vilket realiserats i bl.a. Finland och Frankrikes nybyggnationer på senare år, är cirka 50 mnkr/installerad MW.

Investeringskostnaden för ny kärnkraft i Sverige estimeras således till cirka 500 mdkr, vilket kan jämföras med de 550 mdkr som behövs för ett helt förnybart energisystem.

Förutom investeringskostnaden bör det även noteras att dessa olika system innebär en skillnad i rörliga kostnader, vilket anses avspeglas i en billigare prognostiserad produktionskostnad för förnybara energikällor. Exempelvis bedömer IEA att sol- och vindkraft år 2050 kommer att vara 2 respektive 35 öre/kWh billigare än kärnkraft med framtidens teknik. Denna skillnad är delvis driven av lägre operativa kostnader som mindre behov av råvaror, lägre säkerhetskostnad och avsaknaden av avfallshantering för förnybara källor.

En satsning på ett energisystem baserat på dagens produktionsmix innebär också att vissa värden som estimerats för ett helt förnybart energisystem presenterade i kapitel 5 i studien inte realiserar. Dessa inkluderar de kvantifierade värdena för Clean Tech, FDI, Ökad export, Internationellt finansiellt stöd, Lägre elpris, Miljöbesparing och säkerhetsrisker till ett totalt värde om 3 240 mdkr. Utöver dessa går Sverige även miste om att realisera de identifierade kvalitativa värdena.

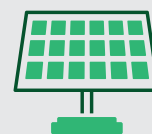
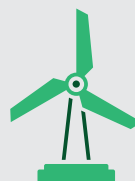
**Figur 17.** Estimerat behov av ny produktionskapacitet för en omställning till ett förnybart energisystem respektive ett energisystem med dagens produktionsmix.

500 mdkr investering i ny kärnkraft...



Sex nya kärnkraftsreaktorer  
(1 600 MW / reaktor)

... eller 550 mdkr investering i förnybar energiproduktion



5 500 - 6 600 nya vindkraftverk  
(2.7 - 3.3 MW / vindkraftverk)

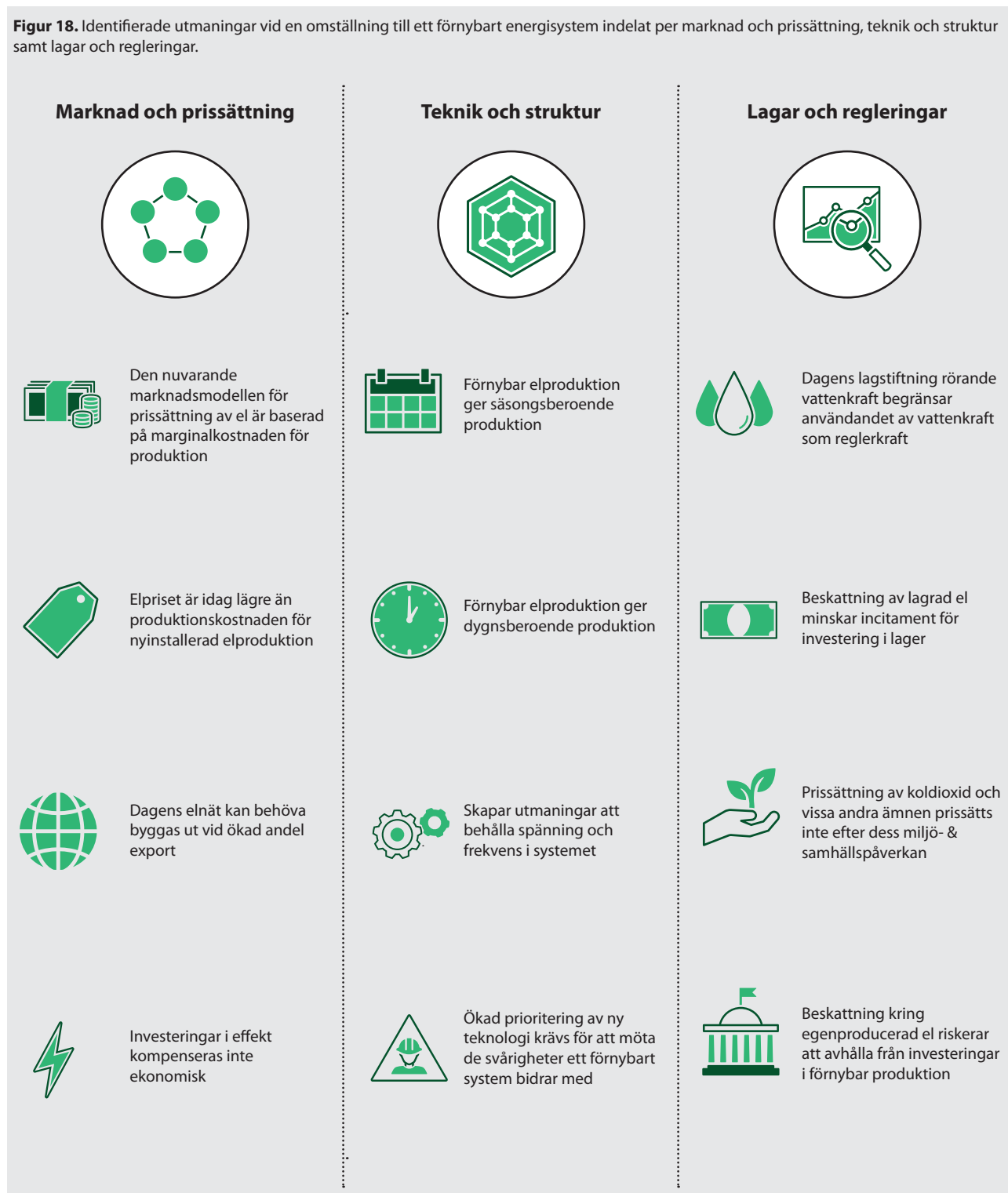
75 km<sup>2</sup> solceller (150 W/m<sup>2</sup>)

## 6 Utmaningar för en omställning av energisystemet

För att Sverige ska kunna övergå till ett helt förnybart energisystem och realisera de värden som påvisats i studien, har exempel på utmaningar identifierats (Figur 18). För att transformationen ska kunna ske på ett effektivt sätt är det av intresse för Sverige att dessa adresseras. Kapitlet innehåller även ett antal internationella exempel som

beskriver hur liknande svårigheter har adresserats i andra länder. Dessa exempel har inkluderats för att visa på att det är möjligt att hitta lösningar. Hur Sverige ska kunna överkomma dessa utmaningar måste självfallet anpassas till lokala förutsättningar och mål.

**Figur 18.** Identifierade utmaningar vid en omställning till ett förnybart energisystem indelat per marknad och prissättning, teknik och struktur samt lagar och regleringar.





**Figur 19.** Ny marknadsmodell i Kina där industriella elkonsumenter betalar för el beroende på tidpunkt kan leda till att solenergi är en mer värdefull investering för producenten.

## 6.1 Marknad och prissättning

För att övergå till ett förnybart energisystem finns områden inom den nuvarande marknadsmodellen och prissättningsmodellen att adressera. Nedan presenteras fyra exempel på hur dagens marknadsmodell och prissättning kan begränsa en omställning till ett förnybart energisystem.

För att övergå till ett förnybart energisystem finns områden inom den nuvarande marknadsmodellen och prissättningsmodellen att adressera. Nedan presenteras fyra exempel på hur dagens marknadsmodell och prissättning kan begränsa en omställning till ett förnybart energisystem.

### **Den nuvarande marknadsmodellen för prissättning av el är baserad på marginalkostnaden för produktion**

Marginalkostnaden för att producera el med förnybara energikällor är låg. Dagens marknadsmodell med prissättning av el baserat på marginalkostnaden för produktion skulle således innebära ett lågt elpris när endast förnybara energikällor används. Vid en omställning till ett förnybart energisystem kan det antas att Sverige vid fördelaktiga väderförhållanden till stor del kan möta behovet på el med endast förnybara produktionskällor. När väderförhållandena är ofördelaktiga för förnybar produktion kopplas andra produktionskällor med högre marginalkostnad in. Sammanfattningsvis skulle denna dynamik implicera låga intäkter för förnybar energiproduktion, främst solceller och

vindkraftverk. Det kan i sin tur bidra till låga incitament att investera i dessa kraftslag. Genom att identifiera nya sätt att prissätta el kan denna problematik elimineras.

Ett exempel är i Kina där en ny marknadsmodell för försäljning av el till industriella konsumenter lett till ökade incitament för investeringar i solkraft. I Kina betalar idag en stor del av de industriella konsumenterna för sin el beroende på vilken tidpunkt elen förbrukas. I de provinser denna marknadsmodell används innebär investeringar i solenergi ökat värde för producenten då efterfrågan från industrin är som störst när solkraft kan produceras (Figur 19).

### **Elpriset är idag lägre än produktionskostnaden för nyinstallerad elproduktion**

Sverige har idag en historiskt låg produktionskostnad för energi. Detta beror till stor del på att landet använder produktionsanläggningar som redan avskrivits och har låga kapitalkostnader. Stora delar av dessa anläggningar närmar sig dock slutet på dess tekniska livslängd. Detta medför investeringar i nya produktionsanläggningar som realistiskt sett kommer att öka produktionskostnaden. Därför kommer elförsäljning från nya produktionsanläggningar rimligtvis att kräva ett högre elpris än det nuvarande för att täcka sina investeringskostnader. Genom att justera dagens prissättning eller införa andra ekonomiska incitament finns dock möjligheter att påverka det faktiska slutpriset.

I Kina finns t.ex. mål om att en viss andel av elförsäljningen ska ske direkt mellan konsument och producent för att bland annat uppnå lägre elpriser för konsumenten. Sedan 2014 har Kinas nationella energiadministration satt ett mål på att 3 % av elförsäljningen skall gå via direkta överenskommelser mellan producenter och stora konsumenter. Under detta system är elnätspriserna satta medan förhandlingar mellan producent och konsument helt bestämmer priset. Detta resulterar ofta i lägre priser för konsumenterna men förenklar också att parterna kommer överens om specifika villkor exempelvis gällande billigare pris om konsumtionen sker under vissa tider. Upplägg som detta kan då även vara en möjliggörare för att jämna ut konsumtionen över dygnet (Figur 20).



**Figur 20.** Förnybar elproduktion i Kina som sedan 2014 infört elförsäljning via direkta överenskommelser mellan producenter och stora konsumenter.

### **Dagens elnät kan behöva byggas ut vid ökad andel export**

Vid en övergång till ett förnybart energisystem estimeras Sverige ha en fortsatt export av el. Eftersom många av de nuvarande destinationer som Sverige har exportförbindelser med också estimeras övergå till en stor andel förnybar produktion kan det uppstå behov av export till länder och regioner som Sverige inte har förbindelser till idag. När Sverige har behov av att exportera el är det sannolikt att närliggande länder med förnybar produktion också har ett överskott. Därav kan det antal utlandsförbindelser som existerar idag komma att behöva utökas i och med ett förnybart energisystem.

### **Investeringar i effekt kompenseras inte ekonomiskt**

Givet en omställning till ett system som i större utsträckning består av väderberoende produktion kan den konstanta tillgängliga effekten komma att minska. Därmed kan nya lösningar som garanterar effekt bli av större vikt för Sveriges energisystem. Att det vid varje givet tillfälle finns effekt i det svenska systemet är viktigt för att kunna garantera medborgare en viss levnadsstandard likväl som att garantera säkra förhållanden för industrin. Detta innebär att det är av stor vikt att Sverige identifierar nya modeller att prissätta effekt på för att driva på utvecklingen av nya lösningar som upprätthåller ett stabilt och säkert energisystem.

## **6.2 Teknik och struktur**

För att en transformation av det nuvarande energisystemet ska ske finns ett antal hinder kring den teknik som krävs samt struktur om hur det nya energisystemet ska fungera och byggas upp. Nedan presenteras fyra exempel på utmaningar att utreda.

### **Förnybar elproduktion ger säsongsberoende produktion**

Förnybar elproduktion innebär en säsongsberoende produktion som kan leda till obalans i utbud och efterfrågan. Under vissa perioder kan detta komma att innebära effekt- och energibrist. Å andra sidan kan det under andra perioder innebära ett stort överskott av el som inte kan säljas vidare, varken inrikes eller utrikes, och därmed blir spill i systemet. Utöver detta kan en säsongsberoende produktion ge en säsongsvariation i elpriset.

### **Förnybar elproduktion ger dygnsberoende produktion**

Efterfrågan på el är dygnsberoende med en större efterfrågan på morgon och tidig kväll än mitt på dagen. Samtidigt är produktionen av el från vind- och solkraft hög mitt under dagen då solen lyser mest och det generellt sett blåser mer. Det kan medföra en obalans i utbud och efterfrågan inom systemet på dygnsbasis. Obalansen kan leda till volatila priser med stora skillnader mellan pikar och dalar.

### **Skapar utmaningar att behålla spänning och frekvens i systemet inom nuvarande intervall**

En viktig komponent för att skapa ett stabilt elnät är att bibehålla spänning och frekvens inom systemet. Detta görs genom att tillhandahålla svängmassa och stabil spänningshållning. Idag görs det i stor utsträckning i vatten- och kärnkraftverken. Elproduktion från sol- och vindkraft tillhandahåller en begränsad svängmassa. Vid en övergång till ett förnybart energisystem krävs det rimligtvis andra system för att skapa en bra svängmassa och spänningshållning i systemet. Det saknas idag strukturer för hur dessa system skulle tillhandahållas och även kompenseras finansiellt vilket innebär begränsade incitament att investera i dessa system.

### **Ökad prioritering av ny teknologi krävs för att möta de svårigheter ett förnybart system bidrar till**

För att lyckas med en transformation är det väsentligt att investera i tekniska lösningar som möter de svårigheter ett förnybart system medför. Exempel är att identifiera och utveckla lagringsmöjligheter, t.ex. batterier och vattentankar. Genom en ökad investering i fortsatt utveckling finns möjlighet att skapa effektiva lösningar till ett konkurrenskraftigt pris. En ökad användning av lagringsmöjligheter innebär även att skaleffekter kan realiseras. Det sker globalt stora investeringar i förnybar energi vilket resulterar i lägre priser och bättre teknik. Ett exempel är i Mexiko där stora investeringar i vindkraft resulterat i rekordlåga priser.

Mexiko har under 2017 slagit rekord för lägsta pris för grön energi på motsvarande 15 öre per kWh. Budet för detta pris omfattar rätten att tillhandahålla dryga 600 MW av energi från vindkraft av det italienska företaget ENEL Green Power från 2020. Det nya priset slår det förra rekordet av solenergi satt av Saudiarabien för ett marginellt (2 US\$) högre pris (Figur 21).



**Figur 21.** El från vindkraft i Mexiko har slagit prisrekord för förnybar energi på motsvarande 15 öre per kWh.



**Figur 22.** En illustration av hur kraftverket Amager Bakke i Danmark kommer att se ut, komplett med en skidbacke, klättervägg och utkiksplats.

### 6.3 Lagar och regleringar

Vid en övergång till ett förnybart energisystem är det relevant att diskutera hur Sverige kan underlätta genom lagar och regleringar. Nedan presenteras fyra områden rörande lagar och regleringar som kan påstås vara relevanta att se över för att underlätta en omställning av energisystemet.

#### **Dagens lagstiftning rörande vattenkraft begränsar användandet av vattenkraft som reglerkraft**

Idag används Sveriges vattenkraftverk delvis som reglerkraft. Vid en övergång till ett förnybart energisystem enligt det scenario som beräknats inkluderas en ökad användning av vattenkraft som reglerkraft. Genom att bygga ut de redan befintliga vattenkraftverken har uppskattningar gjorts att den nuvarande effekten ökas med 25 %. Idag finns dock regleringar som hindrar denna utbyggnation.

#### **Beskattning av lagrad el minskar incitament för investering i lagring**

En viktig komponent för att övergå till ett förnybart energisystem är lagring av el. Detta för att skapa ett jämnare flöde mellan utbud och efterfrågan på säsong- och dagsbasis. Användning av lagring innebär att när utbudet är högre än efterfrågan kan elen lagras för att sedan användas då situationen är den omvända. I en sådan modell köper man således först el för att lagra för att sedan sälja den vidare. Idag innebär detta att elen beskattas två gånger. Denna dubbelbeskattning innebär ökade priser på lagrad el, vilket kan antas leda till en minskad efterfrågan och således minskade incitament att investera i lager.

#### **Prissättning av koldioxid och vissa andra ämnen tar inte full hänsyn till miljö- och samhällspåverkan**

Sverige har idag kostnader för utsläpp av koldioxid och vissa andra ämnen som påverkar miljön och samhället. Prissättningen för en del av dessa ämnen skulle kunna argumenteras vara låg relativt den påverkan de har på miljö och samhälle. Detta innebär att de produktionslag som medför utsläpp av dessa ämnen inte bär sin totala kostnad då de ne-

gativa externa effekterna de bidrar till inte är inkluderade. Eftersom det kan anses att dessa produktionslag inte bär sin fulla kostnad innebär detta en kostnadsmässig konkurrensfördel gentemot förnybara produktionskällor.

Danmarks kraftverk Amager Bakke och BIO4 är exempel på koncept som visar på andra värden som kan tillföras vid eliminering av fossila bränslen (Figur 22). De två nya kraftverken i Danmark, som endast ska drivas på avfall och biobränsle, symboliserar ett grönare och renare industrilandskap. Till Amager Bakke har en social infrastruktur integrerats i form av en artificiell skidbacke, klättervägg och vandringsled som planeras att öppnas 2018. Kraftverket BIO4 kombineras med utbildning och hälsa där en vandringsled upp på kraftverket till en utbildningsplats om grön energi inkluderats. Genom dessa initiativ har Danmark möjlighet att skapa en ökad medvetenhet och kunskap kring grön energi samt förbättrad hälsa och levnadsstandard.

#### **Beskattning och regleringar kring egenproducerad el riskerar att avhålla från investeringar i förnybar produktion**

En övergång till förnybar produktionskapacitet kommer att kräva en installation av cirka 5 500 - 6 600 nya vindkraftverk samt 75 km<sup>2</sup> nya solceller. För att omställningen ska kunna ske är det troligt att många aktörer, såväl privatpersoner som organisationer, kommer att vara involverade.

Idag finns skatter och regleringar som kan antas hindra investeringar av privatpersoner. Exempel på hinder är svårigheter att belåna sol- och vindkraftsutrustning samt ofördelaktig skattebörda för aktörer som är både producenter och konsumenter. För att underlätta en installation av dessa produktionsenheter är det även viktigt att skapa processer kring tillåtelse att bygga upp förnybar produktionskapacitet som är tydlig och tidseffektiv. Genom att skapa dessa processer underlättar det för fler aktörer att involvera sig och bidra till omställningen.



**Figur 23.** Tyskland har främjat förnybar energi och distribuerad elproduktion genom att införa feed-in tariffer som policymekanism.

Ett exempel kring detta är Tysklands feed-in-tariffer. Som del av den tyska omställningen till en förnybar energiproduktion, Energiewende, har landet infört feed-in-tariffer för förnybar energi. Feed-in-tarifferna är en policymekanism som de första åren innebar långsiktiga kontrakt för producenter av förnybar el baserade på kostnaden av teknologin i fråga. Solkraft fick till exempel ett högre kWh-pris som finansierades genom ett pålägg på elpriset för konsumenten. Sedan 2014 är tarifferna inte längre fasta och satta av staten, utan bestäms genom auktion (Figur 23).

Tysklands feed-in-system anses ha bidragit till en ökad användning av distribuerad förnybar energi. Stor del av landets medborgare anser att omställningen har varit lyckad trots stora förändringarna i energisystemet. I en barometer gjord 2017 av "Potsdam Institute of Sustainability Studies" svarar 88 % av de 7 500 tillfrågade att de generellt sett är positiva till Energiewende.

# 7 Områden för vidare diskussion

För att en transformation av dagens energisystem ska kunna ske har fem områden för fortsatt diskussion identifierats. Tre områden fokuserar på vad som behöver ske på energimarknaden för att omställningen till ett förnybart energisystem ska initieras. Resterande två områden fokuserar på hur Sverige kan skapa ett mer attraktivt företagsklimat som grund för att driva omställningen i.

## 1. Se över dagens marknadsmodell och prissättning av el för att möjliggöra en omställning av Sveriges energisystem

Genom att se över dagens marknadsmodell och utveckla den med hänsyn till de framtida utmaningar ett förnybart energisystem medför kan potentiellt hinder som bromsar denna utveckling överkommas. Med en ny marknadsmodell har Sverige möjlighet att skapa en prissättningsmodell som skapar incitament att investera i förnybar produktion.

Hur den framtida marknadsmodellen ska utformas kommer att kräva fortsatt diskussion. Nya sätt att sälja el på tillsammans med nya värdeerbjudanden kommer förmodligen att vara en stor del i utformningen av marknadsmodellen. Dessutom är det viktigt att se över ett hållbart sätt för att säkerställa effektbalans i energisystemet.

Frågor som behöver diskuteras är:

- Hur kan systemtjänster som är viktiga för energisystemets funktion kompenseras?
- Hur kan man prissätta el så att det är attraktivt att investera i förnybara källor?

## 2. Utveckla en plan för hur energisystemet ska vara uppbyggt tekniskt och vilken struktur det ska ha

För att lyckas med en omställning är en viktig del att fortsätta diskutera vilket system Sverige faktiskt ska ställa om till och vilka aktörer som har nyckelroller. Väljer Sverige att följa den plan som är utgångspunkt för denna studie behöver cirka 75 km<sup>2</sup> solceller och 5 500 - 6 600 vindkraftverk byggas. Var dessa ska installeras och av vem är frågor som bör kunna besvaras för att transformationen ska kunna ske. Det stora antalet produktionsenheter leder troligtvis till många aktörer och därför är det viktigt att det beslutas om en övergripande struktur.

Ytterligare frågor som behöver utredas är hur Sverige kan investera i lager och reglerkraft för att möta de hinder en volatil elproduktion medför. Genom att exempelvis investera i central lagring som håller under längre perioder kan Sverige skapa ett stabilare flöde av el under året, vilket även innebär en mer stabil prissättning. För att nå dit är det viktigt att den teknologiska utvecklingen fortsätter, något som är viktigt att prioritera för Sverige.

Sammanfattningsvis behöver Sverige fortsätta att diskutera:

- Hur ska det förnybara energisystemet se ut, vilken produktionsmix ska Sverige ha och hur ska det vara strukturerat?
- Hur kan lagring och andra systemtekniska lösningar bli en integrerad del av energisystemet?

## 3. Uppdatera lagar och regleringar kring energisystemet för att förenkla och i större grad ge incitament till förändring

För att förenkla omställningen till ett förnybart energisystem bör lagar och regleringar ses över. Detta innebär att Sverige bör initiera ytterligare analys kring lagar och regleringar som påverkar det nya systemet. Exempel på sådana områden är begränsningar för utbyggnation av vattenkraft, beskattning av lagrad el, koldioxidbeskattning, samt beskattning av egenproduktion och distribuerad produktion. Idag finns vissa skillnader i subventioner mellan olika typer av produktionslag. Generellt sett bör incitament vara neutrala i förhållande till teknikval.

Genom att se över de lagar som begränsar byggnation av vattenkraft finns potential att öka dess reglerkraft. En justering av den nuvarande beskattningen av lagrad el skulle kunna leda till ökade incitament att investera i lagringsmöjligheter, vilket hjälper till att jämna ut volatiliteten i produktionen. Beskattning av koldioxid och andra ämnen bör granskas för att ge förnybara källor en mer rättvis konkurrens. Även de tillståndprocesser som påverkar byggnation av distribuerad produktion bör ses över för att fler aktörer ska kunna medverka i omställningen.

På övergripande nivå behöver Sverige utreda:

- Vilka lagar och regleringar kan bromsa omställningen till ett förnybart energisystem?
- Hur kan nya lagar och regleringar anpassas för att ge incitament för investeringar i förnybar kapacitet?

## 4. Utred vilken roll privata och offentliga aktörer bör ha i omställningen samt hur de optimalt ska samverka

En övergång till ett förnybart energisystem kommer sannolikt att innebära en stor transformation för Sverige. För att lyckas med genomförandet av denna transformation är det fördelaktigt att tydligt utreda vilka aktörer som har ansvar för olika delar, detta både under omställningen och i ett senare skede när ett nytt energisystem etablerats. Vidare bör analyseras hur dessa aktörer optimalt ska samverka. Genom att fortsätta att diskutera samarbetsmodeller för att genomföra denna transformation kan Sverige skapa mer gynnsamma förutsättningar för en omställning.

Områden som behöver besvaras är:

- Vilka aktörer, privata och offentliga, har nyckelroller i omställningen och hur bör de inkluderas?
- Hur kan aktörer med nyckelroller optimalt samverka i omställningen?

## 5. Öka aktörers incitament till att medverka i omställningen genom förutsägbarhet och investeringstrygghet

I en omställning till ett förnybart energisystem har Sverige möjlighet att attrahera både industri och talang till Sverige. För att skapa ett hållbart investeringsklimat är det viktigt att skapa ett näringsliv som är långsiktigt med stabila förutsättningar och öppenhet för internationella investerare. Inves-

terare med längre investeringshorisonter behöver kunna göra bedömningar av investeringens avkastning.

Ett sätt att skapa ett hållbart investeringsklimat är att skapa möjligheter för ekosystem bestående av aktörer inom energibranschen, relaterade branscher, akademier samt offentlig sektor. Vidare kan internationella aktörer involveras för att skapa samarbeten som genererar utbyte av erfarenheter.

Sverige bör även stimulera entreprenörskap på en nationell nivå och på så sätt attrahera riskkapital. Det kan även vara värdefullt att förenkla för internationell talang och kompetens att arbeta i Sverige.

Sammanfattningsvis behöver tydlighet finnas kring:

- Vilka förutsättningar för investeringar ska råda på energi-marknaden?
- Hur kan det bli enklare och mer intressant för utländska företag att investera i Sverige



## 8 Referenslista

Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), *Styrmedel vid elproduktion*, 2015

Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), *Framtidens elmarknad*, 2016

Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), *Sveriges framtida elproduktion*, 2016

International Energy Agency, *Nordic Energy Technology Perspectives 2016*, 2016

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, *Analys av samhällskonsekvenser efter radioaktiva utsläpp i Japan 2011, Risker och förmågor 2013, 2012-2013*

Nuclear Energy Agency och International Energy Agency, *Projected Costs of Generating Electricity*, 2015

Sweco, *100% förnybart*, 2017

Trafikverket, *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0*, 2016

Vindstat, *Driftuppföljning av vindkraftverk*, 2016

## 9 Appendix

Vid beräkningar av intäkter och kostnadsbesparingar har utöver de direkta intäkterna även indirekta och inducerade intäkter beräknats på vissa områden (Figur 24). Beräkningen av de direkta intäkterna varierar per område. De indirekta och inducerade intäkterna estimeras baserat på industri, men den genomsnittliga multiplern för den indirekta multiplern är 0,55 och för den inducerade multiplern 0,45.

### 9.1 Direkta effekter

Med direkta effekter menas de utgifter som spenderas på en viss bransch och följaktligen resulterar i intäkter för densamma. De områden vars värde för Sverige har kvantifierats i studien utgår från direkta effekter.

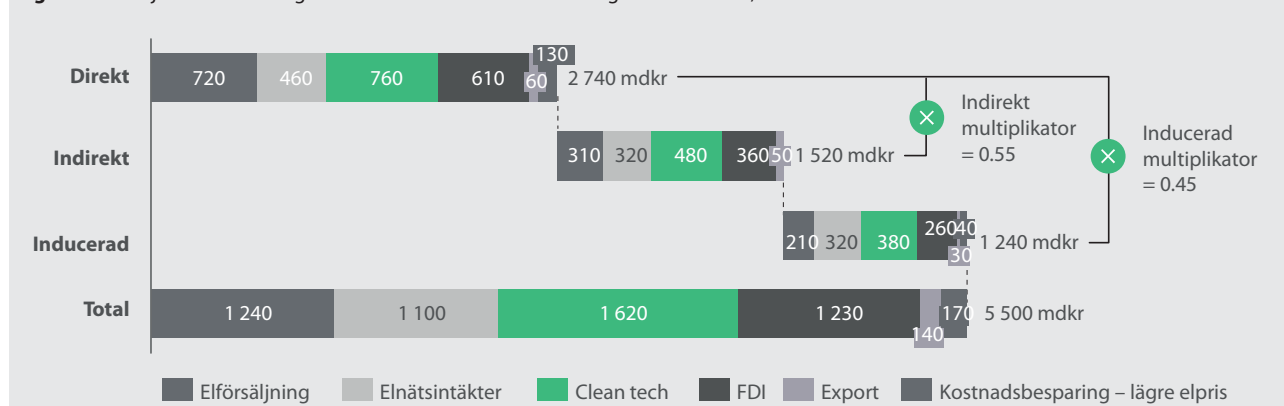
Hur de direkta effekterna är beräknade varierar mellan områden, enligt beskrivning i kapitel 4.

### 9.2 Indirekta och inducerade effekter

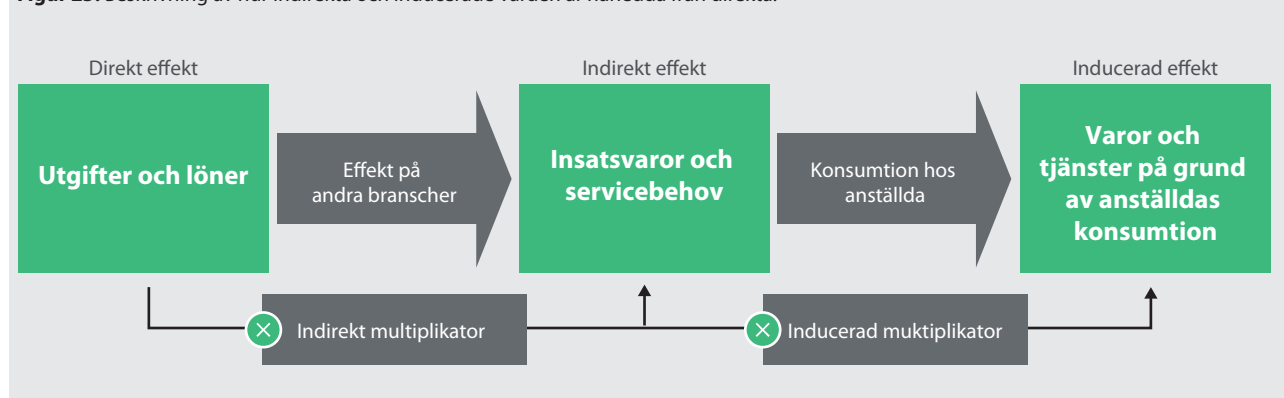
För att fånga det fullständiga samhällsvärdet av de direkta effekterna inkluderade i studien har en nationalekonomisk input-output-analys använts. En input-output-analys utgår från direkta utgifter för att uppskatta vilken ytterligare effekt olika branschers konsumtion ger upphov till på andra branscher. Direkta utgifter ger upphov till dels indirekta och dels inducerade effekter (Figur 25).

- **Indirekta effekter.** Indirekta effekter är också kända som effekter på värdekedjan och inkluderar de varor och tjänster som är insatsvaror till en viss bransch. De indirekta effekterna är erhållna genom att beräkna multiplar på vilken effekt olika branscher har på varandra. Dessa multiplar är härledda från input-output-tabeller från SCB. Exempelvis leder utgifter för installationstjänster till indirekta effekter för företag som tillverkar verktyg.
- **Inducerade effekter.** Inducerade effekter är de ekonomiska effekter som uppstår till följd av löneutbetalningar i de olika branscherna. Dessa ger i sin tur upphov till konsumtion i branscher som dagligvaruhandel, livsmedel och boende.

Figur 24. Detaljerad beskrivning av olika värdeområdens fördelning mellan direkta, indirekta och inducerade värden.



Figur 25. Beskrivning av hur indirekta och inducerade värden är härledda från direkta.





# Värden av ett förnybart energisystem i Sverige

Denna studie analyserar Sveriges framtida omställning till ett helt förnybart energisystem i enlighet med Energiöverenskommelsen 2016 som har som mål att Sverige ska övergå till en helt förnybar elproduktion till år 2040. Detta innebär ett energisystem som främst består av vatten, sol och vind som produktionskällor.

Syftet med studien är att beskriva de kvantitativa och kvalitativa värden för Sverige som energisektorn och andra relaterade industrier har möjlighet att skapa till följd av denna omställning. Genom att estimerar det totala värdet och belysa den breda omfattningen av de kvalitativa värdena kan dessa ställas i relation till investeringsbehovet. I rapporten estimeras även alternativkostnaden att investera i ett energisystem med dagens produktionsmix.

För att Sverige ska kunna övergå till ett förnybart energisystem har vissa tekniska, strategiska och regulatoriska utmaningar diskuterats av olika aktörer över tiden. I denna studie belyses olika områden som identifierats som potentiella hinder. För att överkomma dessa hinder och skapa en framgångsrik omställning presenteras fem områden för vidare diskussion. Dessa ämnar att skapa diskussion kring vad som behöver ändras, samt hur Sverige ska genomföra en omställning.

