



## Promemoria om kostnaderna för nya elproduktionsanläggningar i Sverige

### Innehåll

Sammanfattning.....	2
Syfte och avgränsningar .....	5
Kondenskraft .....	6
Kärnkraft .....	6
Gasturbin.....	10
Gaskombikondens .....	12
Biokondens.....	14
Vatten, vind och sol.....	16
Vattenkraft .....	16
Vindkraft .....	18
Solkraft .....	20
Kraftvärme .....	22
Kraftvärme bio .....	23
Kraftvärme avfall.....	25
Kraftvärme gaskombi.....	27
Utvecklingstrender.....	29
Referenser .....	32
Bilaga: Kostnad för pågående kärnkraftsprojekt i EU .....	33

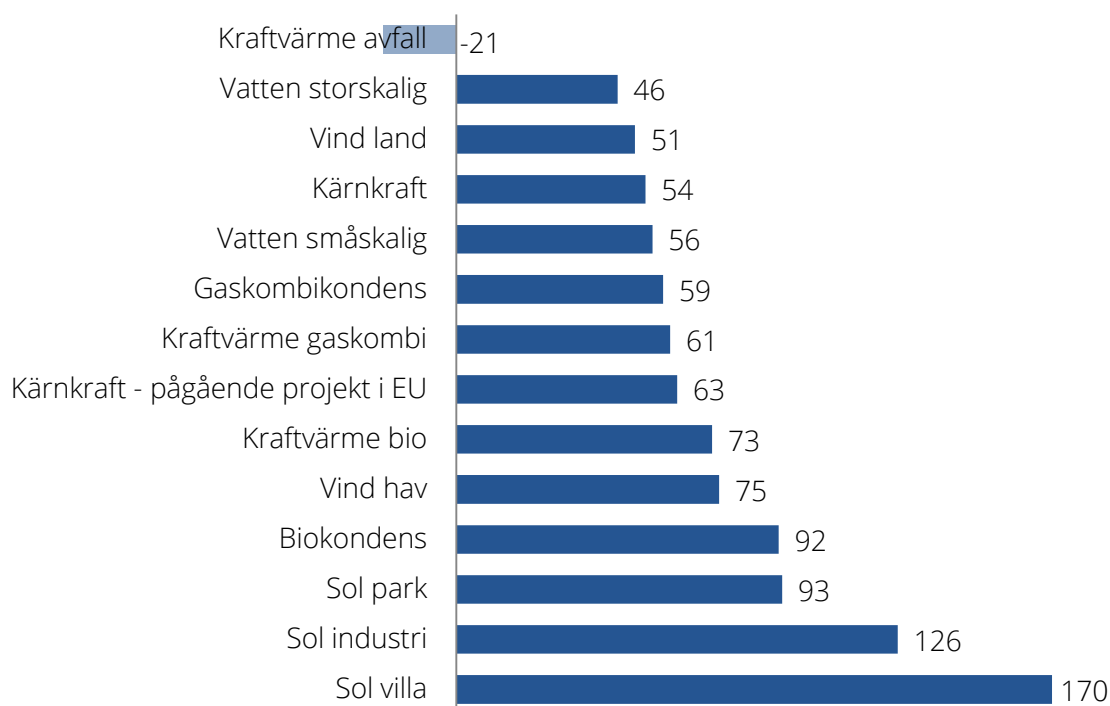
## Sammanfattning

Syftet med denna promemoria är att ge en överblick av kostnaderna för nya elproduktionsanläggningar i Sverige. Innehållet i promemorian är till stor del hämtad från Elforsks rapport ”*El från nya och framtida anläggningar 2014*” [1]. Kompletteringar har gjorts gällande kärnkraft och biokondens.

## Resultat

Resultatet visar på ett stort spann i uppskattade kostnader mellan olika teknologier, se Figur 1. Billigast är avfallseldad kraftvärme på minus 21 öre per kWh<sup>1</sup> och dyrast är solkraft för villatak på 170 öre per kWh. För de tre största kraftslagen i Sverige i dag (vattenkraft, kärnkraft och vindkraft) är nyproduktionskostnaderna förhållandevis likartade (mellan 46 och 54 öre per kWh), se Figur 1. För kraftvärme är produktionskostnaden kraftigt beroende av insatsbränslet.

Figur 1: Kostnad för ny elproduktion i öre per kWh exklusive skatter, avgifter<sup>2</sup> och investeringsstöd vid 6 procents ränta sorterad efter kostnad. Källa: Elforsk [1], Energikommissionen



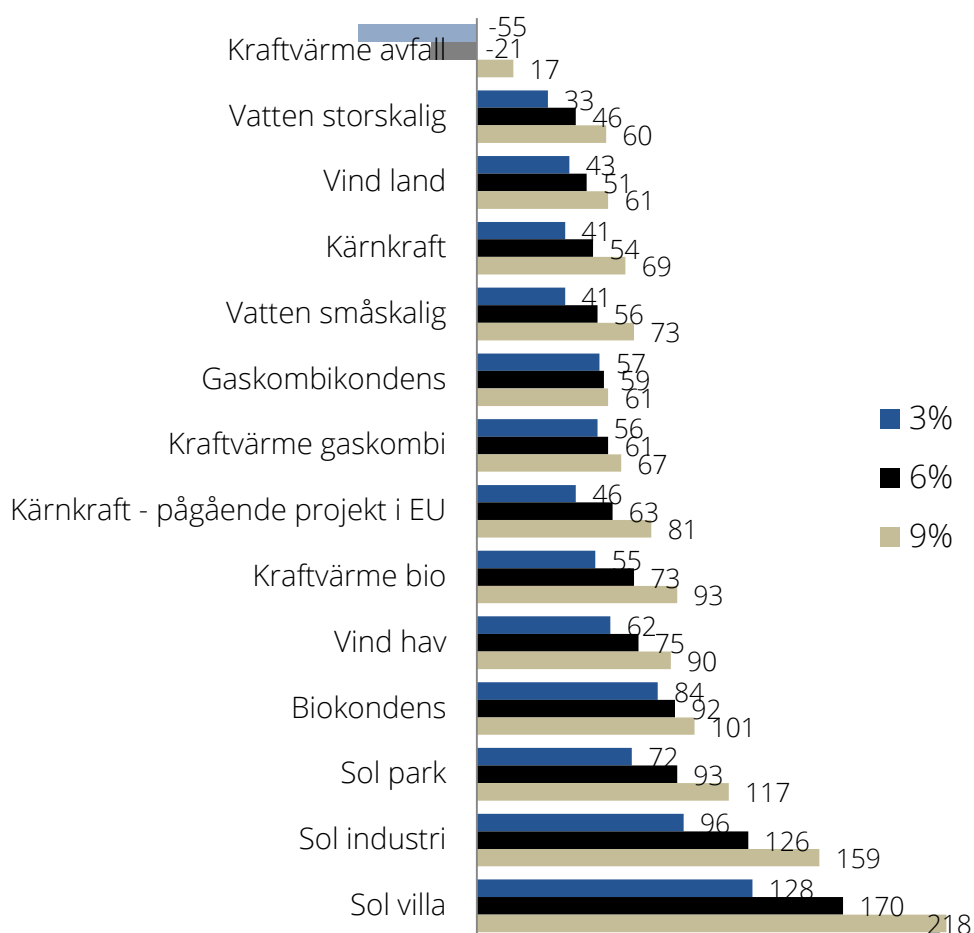
Resultatet är känsligt för antaganden om den viktade kapitalkostnaden (WACC), alltså kostnaden för lånat kapital och avkastningskrav på eget kapital. 6 procents kalkylränta (WACC) har använts som standard för samtliga kraftslag. För mindre privatinvesteringar, såsom villabaserad solkraft, är 6

<sup>1</sup> Elproduktion från kraftvärme är beroende av ett fjärrvärmeunderlag vilken kan begränsa den totala potentialen. Kostnaden för kraftvärme är också generellt känslig för metodval varför resultaten ska tolkas med försiktighet.

<sup>2</sup> Kärnavfallsavgiften är inkluderad

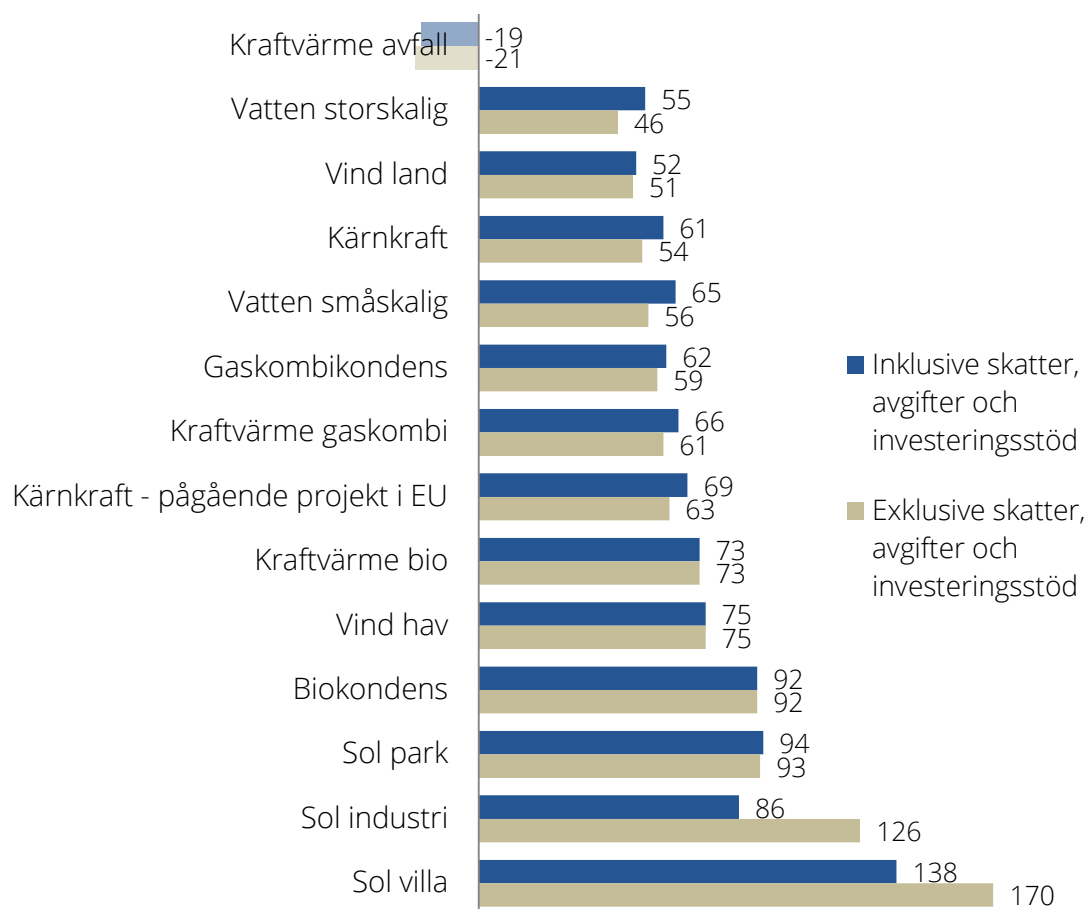
procent sannolikt ett högt antagande [9]. För stora riskfyllda investeringar, såsom ny kärnkraft, är 6 procent sannolikt ett lågt antagande [2]. Nedan presenteras resultatet med olika ränteantaganden, se Figur 2. Förändrade ränteantaganden slår tydligast mot solkraften vars kostnader nästan uteslutande består av kapitalkostnader. Kostnaden för att producera el från en gasturbin för regler- och topplast hamnar på omkring 5 kronor per kWh och är av grafiska skäl borttaget ur figurerna.

Figur 2: Kostnad för ny elproduktion i öre per kWh vid 3, 6 och 9 procents ränta sorterad efter kostnad vid 6 procents ränta. Källa: Elforsk [1], Energikommisionen



Resultatet påverkas också av skatter, avgifter och investeringsstöd. Nedan presenteras resultatet inklusive och exklusive skatter, avgifter och investeringsstöd enligt gällande regelverk, se Figur 3.

Figur 3: Kostnad för ny elproduktion i öre per kWh inklusive och exklusive skatter, avgifter och investeringsstöd<sup>3</sup> vid 6 procents ränta. Källa: Elforsk [1]



<sup>3</sup> Elcertifikat är inte inkluderat eftersom det räknas som en intäkt. Investeringsstöd är räknat som en minskad kostnad och är därför inkluderat i figuren. Kärnavfallsavgiften är inkluderad i båda posterna. För "sol industri" och "sol villa" är investeringsstöd på 30 respektive 20 procent inkluderat i posten "inklusive skatter, avgifter och investeringsstöd".

## Syfte och avgränsningar

Syftet med denna promemoria är att ge en överblick av kostnaden för elproduktion från nya anläggningar i Sverige. Innehållet i promemorian är, både gällande siffror och text, till stor del hämtad från Elforsks rapport ”*El från nya och framtida anläggningar 2014*” [1]. I de fall där skatter och avgifter har förändrats sedan år 2014, till exempel effektskatten på kärnkraft, är dessa uppdaterade. Samtliga tekniska och ekonomiska beräkningsförutsättningar har lämnats oförändrade jämfört med Elforsks rapport<sup>4</sup>. Elforsks rapport har använts som huvudsaklig källa eftersom den av många anses vara den mest omfattande och objektiva kartläggningen av produktionskostnader för nya anläggningar för svenska förhållanden. Det ska dock påtalas att Elforsk rapport inte är en empirisk studie utan bygger på antaganden för en representativ typanläggning för respektive kraftslag.

Kostnaderna omfattar kompletta anläggningar med allt från bränslehanteringssystem till avgasreningssystem och inkluderar intern infrastruktur, interna el- och värmesystem samt anslutning till el- och fjärrvärmenät vid anläggningens ”grind”. Investeringar utanför anläggningen i exempelvis infrastruktur, el- och fjärrvärmenät inkluderas i regel inte, förutom till viss del för vindkraft där hela kostnaden för anslutning till externt elnät är inkluderad<sup>5</sup>. Generellt ingår alla projektspecifika kostnader i den beräknade elproduktionskostnaden.

Vidare syftar promemorian till att beskriva produktionskostnader i termer av levererad energi, kWh, från enskilda anläggningar. Promemorian berör inte kostnader eller intäkter för så kallade systemtjänster, alltså ett kraftslags bidrag till stamnätets förmåga att överföra el och hålla systemet i balans. Olika kraftslag kan leverera systemtjänster i olika grad vilket innebär att kostnader för systemet i sin helhet både kan öka eller minska beroende på vilket kraftslag som avses.

Elproduktionen har delats in i tre huvudgrupper.

1. Kondenskraft
  - Kärnkraft
  - Gaskombikondens
  - Gasturbin
  - Biokondens
2. Vatten, vind och sol
  - Storskalig vattenkraft

---

<sup>4</sup> Med undantag för en kompletterande beräkning för nya kärnkraftsprojekt i EU och en ny beräkning för en biokondensanläggning.

<sup>5</sup> Anledningen till att denna kostnad är inkluderad för just vindkraft är att avståndet till lämpligt lokal- eller regionnät i vissa fall kan vara betydande och det är därför relevant att inkludera även nätanslutningskostnaden för att få en samlad kostnadsbild.

- Småskalig vattenkraft
- Landbaserad vindkraft
- Havsbaserad vindkraft
- Villabaserad solkraft
- Industribaserad solkraft
- Solkraftspark

### 3. Kraftvärme

- Biokraftvärme
- Avfallskraftvärme
- Gaskombikraftvärme

Flera av elproduktionsteknikerna som berörs i promemorian är känsliga för antaganden om kapitalkostnad. 6 procents kalkylränta har använts som standard för samtliga kraftslag. Räntan motsvarar den viktade kapitalkostnaden vilken avspeglar en kombination av reala avkastningskrav på anläggningsägarens egna kapital och räntor på lån. För mindre privatinvesteringar, såsom villabaserad solkraft, är 6 procent sannolikt ett högt antagande [9]. För stora riskfyllda investeringar, såsom ny kärnkraft, är 6 procent sannolikt ett lågt antagande [2]. Samtliga kostnader presenteras i nominella termer om inget annat anges.

## Kondenskraft

### Kärnkraft

#### Teknikbeskrivning

Kärnkraft bygger på att vatten förångas med hjälp av värmeavgivande kärnreaktioner i en kärnreaktor och leds genom en ångturbin som via en generator alstrar elektricitet.

Det finns flera olika reaktortyper och teknologier som utvecklats under lång tid och som brukar delas in i olika generationer. Majoriteten av dagens kommersiella reaktorer är av generation II. Den teknik som byggs i dag och kommer byggas den närmaste framtiden i västvärlden är främst reaktorer som kallas generation III och III+. Tekniken har utvecklats utifrån erfarenheterna från föregående generationer och karaktäriseras främst genom avancerade säkerhetssystem. Vissa kärnreaktorer av generation III+ har exempelvis passiva säkerhetssystem för kylning, som aktiveras genom naturlagar, i stället för eller som komplement till elektriska och mekaniska system. Dessa passiva säkerhetssystem är följaktligen också mycket enklare än aktiva system eftersom de passiva säkerhetssystemen inte kräver samma omfattning av hjälpsystem som finns i dagens kraftverk. Ett annat kännetecken för generation III är att driftsäkerheten förbättrats med tåligare material och robustare konstruktioner.

Förutsättningar för en bättre ekonomi finns också då mindre mängd byggnadsmaterial och färre komponenter per installerad effekt används i förhållande till äldre generationer.

### *Generation IV*

I framtiden kan så kallade generation IV-reaktorer bli kommersiellt gångbara. Flertalet experter bedömer dock att kommersiell introduktion av dessa reaktorer sannolikt ligger ett par decennier framåt i tiden även om de rent tekniskt har demonstrerats sedan 50-talet [6]. En anledning till att introduktionen av gen-IV dröjer bedöms vara att uran fortfarande är så pass billigt att det inte finns tillräckliga ekonomiska incitament att gå över till gen-IV.

Generation IV innebär en reaktordesign som:

1. Utesluter större olyckor genom passiva säkerhetssystem.
2. Använder kärnavfall som bränsle och därmed minskar problemet med tillgången på uran.
3. Minskar förvaringstiden för kärnavfall från 100 000-tals år till mindre än 500 år.
4. Minskar spridningen av radioaktivt material för vapen-ändamål.

För att möjliggöra en introduktion av gen-IV krävs enligt experter mer än en enskild reaktor. Det behövs ett helt nytt kärnenergiprogram med infrastruktur för bränsle, avfall och övervakande myndigheter [6].

### Beräkningsförutsättningar

Att uppskatta sannolika investeringskostnader för nya kärnkraftverk i Sverige är svårt. Även om flera reaktorer håller på att uppföras i Europa så har dessa ännu inte färdigställts och därmed saknas referenser för totala investeringskostnader som är aktuella. Det är dessutom svårt att generalisera då investeringen kommer att variera från fall till fall och från land till land. Faktorer som påverkar kostnaden är den aktuella konkurrenssituationen och kostnaden för arbetskraft i det specifika landet. Ytterligare faktorer som spelar in är reaktortyp, vilka krav ägaren har på konstruktionen och projektets genomförandemetod, exempelvis hur ansvaret och risken fördelas mellan leverantör och ägare. En ytterligare försvårande omständighet är att uppgifter från leverantörerna är av kommersiell natur och därmed ofta hålls konfidentiella.

Jämfört med kostnaderna i Elforsks rapport visar kostnadsutvecklingen för ett par av de pågående projekten i EU på högre kostnader. Huruvida dessa högre kostnader är representativa för framtida reaktorer är dock oklart. Till exempel anges kostnaden för den pågående byggnationen av reaktorn Hanhikivi 1 i Finland till ”*max 50 Euro per MWb*” [5].

Genomsnittskostnaden för de fyra pågående projekten i EU, Olkiluoto 3 och Hanhikivi 1 i Finland, Flamanville i Frankrike och Hinkley Point C som just ska byggstartas, ligger enligt medieuppgifter i dagsläget på 55 310 SEK/kW

inklusive byggränta (se detaljerad beräkning i bilaga) vilket ger en elproduktionskostnad på omkring 63 öre per kWh vid 6 procents ränta, vilket är 9 öre per kWh högre än i Elforsks rapport. Samtidigt är kostnaden för Hanhikivi 1 kommunicerad till 46 400 SEK/kWh, vilket ger samma nivå som Elforsks rapport, 54 öre per kWh vid 6 procents ränta. Osäkerheterna kring både Hanhikivi 1 och Hinkley Point C får dock anses vara stora eftersom projekten fortfarande befinner sig i ett tidigt skede.

För att illustrera de högre kostnaderna för de pågående projekten i EU har en särskild kostnadsberäkning genomförts för dessa projekt.

Tabell 1: Tekniskspecifika beräkningsförutsättningar för kärnkraft

Parametrar	Värde	Enhet
Generation	III+	
Bränsletyp	Kärnbränsle	-
Förväntade fullasttimmar	8300	h/år
Tillgänglighet	95	%
Resultterande fullasttimmar	7885	h/år
Eleffekt brutto	1720	MW
Eleffekt netto	1600	MW
Elverkningsgrad	36	%

Tabell 2: Ekonomiska beräkningsförutsättningar kärnkraft

Parametrar	Värde	Enhet
Specifik investering	37 200	kr/kW <sub>el</sub> , brutto
Specifik investering (exkl. byggränta)	40 000	kr/kW <sub>el</sub> , netto
Byggtid	6	år
Avskrivningstid	40	år
DoU	110	kr/MWh <sub>el</sub>
Bränslepris	43	kr/MWh <sub>el</sub>
Reinvestering	5 000	Mkr
Tid mellan grund och reinvestering	25	år
Effektskatt	6,21	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,3	öre/kWh <sub>el</sub>



Tabell 3: Ekonomiska beräkningsförutsättningar kärnkraft - pågående projekt i EU

Parametrar	Värde	Enhet
Specifik investering (exkl. byggränta)	51 400	kr/kW <sub>el</sub> , netto
Byggtid	6 <sup>6</sup>	år
Avskrivningstid	40	år
DoU	110	kr/MWh <sub>el</sub>
Bränslepris	43	kr/MWh <sub>el</sub>
Reinvestering	5 000	Mkr
Tid mellan grund och reinvestering	25	år
Effektskatt	6,21	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,3	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Kostnaden för ny kärnkraft är mycket svårbedömd eftersom det finns så få nybyggnationer med för Sverige jämförbara förhållanden. Rapporter om nyproduktionskostnader från olika delar av världen sträcker sig över ett mycket stort spann och det är svårt att avgöra vilka kostnader och eventuella subventioner som ingår i de rapporterade kostnaderna.

Med ovanstående antaganden uppgår kostnaden till 54 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 4 (avgiften till Kärnavfallsfonden är dock inkluderad). Inklusiv effektskatten beräknas kostnaden till 60 öre per kWh.

Tabell 4: Resultat kärnkraft

Parametrar	Värde	Enhet
Elproduktion	12616	GWh/år
Kapitalkostnad	38,2	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	11	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	4,3	öre/kWh <sub>el</sub>
Reinvestering	0,6	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	6,21	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>54</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>60</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>

<sup>6</sup> Byggtiden för Olkiluoto i Finland och Flamanville i Frankrike kommer att bli betydligt längre än 6 år. I stället för att öka byggtiden är den ökade kostanden för förseningar i stället inräknad i den uppräknade investeringskostnaden.

Om man i stället justerar investeringskostnaden för kärnkraft till den för pågående och byggklara projekten i EU ökar kostnaden från 54 öre per kWh till 63 öre per kWh.

Det är värt att notera att det har rapporterats om kostnader på uppemot en krona per kWh för flera av de pågående eller byggklara projekten i EU. Skillnaden kan antas bero på högre avkastningskrav för dessa projekt jämfört med Elforsks rapport. För Hinkley Point C har det rapporterats om tvåsiffriga avkastningskrav [2].

Tabell 5: Resultat kärnkraft - pågående projekt i EU

Parametrar	Värde	Enhet
Elproduktion	12616	GWh/år
Kapitalkostnad	49,1	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	11	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	4,3	öre/kWh <sub>el</sub>
Reinvestering	0,6	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	6,21	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	65	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	72	öre/kWh <sub>el</sub>

## Gasturbin

En gasturbin kan reglera sin produktionskapacitet mycket snabbt och är i detta exempel tänkt som regler- och topplastproduktion under endast 100 timmar per år. Kostnaden per kWh blir därför mycket hög. Exemplet är med i syfte att visa på vilka nivåer elpriset behöver nå under begränsade perioder för att elproduktion från en gasturbin ska bli lönsamt. Gasturbinen är intressant ur ett regler- och topplastperspektiv eftersom den har låga investeringskostnader och i stället har höga bränslekostnader, det vill säga att kostnaden för att inte producera är jämförelsevis låg.

Om antagandet ändras till att motsvara 8000 timmar per år blir produktionskostnaden i stället 75 öre per kWh vid 6 procents ränta.

## Teknikbeskrivning

En gasturbin är en effekttät maskin som kan drivas med till exempel natur- eller biogas som bränsle. Vid elproduktion driver turbinen en generator för att generera elektricitet. Gasturbiner används också som motorer för drift av exempelvis flygplan, fartyg, helikoptrar och andra fordon. En gasturbin har en så kallad enkel cykel (Single Cycle - SC), till skillnad från en kombicykel (Combined Cycle - CC) där avgaserna från gasturbinen används för att driva en

ångcykel. En enkel cykel är en enklare och snabbare process och lämpar sig därför bättre för snabb effektreglering jämfört med en kombicykel.

## Beräkningsförutsättningar

Tabell 6: Tekniskspecifika beräkningsförutsättningar för gasturbin

Parametrar	Värde	Enhet
Bränsletyp	Naturgas	-
Värmevärde	38,9	MJ/Nm <sup>3</sup>
Förväntade fullasttimmar	100	h/år
Tillgänglighet	98	%
Resulterande fullasttimmar	98	h/år
Eleffekt brutto	151	MW
Eleffekt netto	150	MW
Elverkningsgrad	40	%
NO <sub>x</sub> -utsläpp	20	mg NO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>
Svavelutsläpp	0	mg S/MJ <sub>bränsle</sub>
CO <sub>2</sub> -utsläpp	56,8	g CO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>

Tabell 7: Ekonomiska beräkningsförutsättningar gasturbin

Parametrar	Värde	Enhet
Specifik investering	4 570	kr/kW <sub>el</sub> , brutto
Specifik investering	4 600	kr/kW <sub>el</sub> , netto
Byggtid	2	år
Avskrivningstid	25	år
DoU	50	kr/kW <sub>el</sub> , netto
Bränslepris	280	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	0	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>
NO <sub>x</sub> -avgift	0	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>
Svavelskatt	0	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>
Utsläppsrätter	2,6	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>
Energiskatt	0,1	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>
CO <sub>2</sub> -skatt	0,2	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>
Fastighetsskatt	0,5	öre/kW <sub>h<sub>el</sub></sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden för en gasturbin antas med ovanstående förutsättningar bli 503 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 8.

Observera att gasturbinen i detta exempel endast körs 100 timmar per år och har inkluderats i promemorian för att visa på vilka nivåer som elpriset behöver nå under begränsade perioder för att elproduktion från en gasturbin ska bli lönsamt. Om antagandet ändras till att motsvara 8000 timmar per år blir produktionskostnaden i stället 75 öre per kWh vid 6 procents ränta.

Tabell 8: Resultat gasturbin

Parametrar	Värde	Enhet
Elproduktion	14,7	GWh/år
Kapitalkostnad	382	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	51	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	70	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	0	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	3,4	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>503</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>506</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>

## Gaskombikondens

### Teknikbeskrivning

Ett gaskombikraftverk består av en kombination av en gasturbin och en ångturbin, en så kallad kombicykel. Gasturbinens varma avgaser (~500 °C) används för att i en avgaspanna hetta upp ånga som sedan expanderas i en ångturbin. El genereras via en generator både från gasturbinen och från ångturbinen.

Till skillnad från en enkel cykel optimeras gasturbinen och dess avgastemperatur för att driva en ångcykel med så bra totalprestanda för hela anläggningen som möjligt. Elverkningsgraden är lägre för själva gasturbinen vid kombicykel i och med kravet på hög avgastemperatur, men den totala elverkningsgraden för hela gaskombianläggningen når nivåer på omkring 60 procent.

Gaskombikraftverk är komplexa anläggningar med ibland flera gasturbiner anslutna till en ångturbin och flera mellanöverhettare i ångcykeln. Snabbheten och flexibiliteten är lägre i en gaskombi jämfört med en enkel cykel-gasturbin till följd av den förhöjda komplexiteten.

## Beräkningsförutsättningar

Tabell 9: Tekniskspecifika beräkningsförutsättningar för gaskombikondens

Parametrar	Värde	Enhet
Bränsletyp	Naturgas	-
Värmevärde	38,9	MJ/Nm <sup>3</sup>
Förväntade fullasttimmar	8 300	h/år
Tillgänglighet	98	%
Resulterande fullasttimmar	8 134	h/år
Eleffekt brutto	431	MW
Eleffekt netto	420	MW
Elverkningsgrad*	58	%
NO <sub>x</sub> -utsläpp	10	mg NO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>
Svavelutsläpp	0	mg S/MJ <sub>bränsle</sub>
CO <sub>2</sub> -utsläpp	56,8	g CO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>

Tabell 10: Ekonomiska beräkningsförutsättningar gaskombikraftverk

Parametrar	Värde	Enhet
Specifik investering	6 820	kr/kW <sub>el, brutto</sub>
Specifik investering	7 000	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Byggtid	3	år
Avskrivningstid	25	år
Fast DoU	80	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Rörlig DoU	25	kr/MWh <sub>el</sub>
Bränslepris	280	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-0,9	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -avgift	0,3	öre/kWh <sub>el</sub>
Svavelskatt	0	öre/kWh <sub>el</sub>
Utsläppsrätter	1,8	öre/kWh <sub>el</sub>
Energiskatt	0,4	öre/kWh <sub>el</sub>
CO <sub>2</sub> -skatt	0,9	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,5	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden från ett gaskombikraftverk antas med ovanstående förutsättningar bli 59 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 11. Med skatter och avgifter ökar kostnaden till 62 öre per kWh.

Tabell 11: Resultat gaskombikraftverk

Parametrar	Värde	Enhet
Elproduktion	3 416	GWh/år
Kapitalkostnad	7,1	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	3,5	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	48,3	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-0,9	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	3,9	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	59	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	62	öre/kWh <sub>el</sub>

## Biokondens

Biokondensanläggningar finns inte med i Elforsks rapport. Det finns dock anledning att titta närmare på sådana anläggningar av flera skäl. IVA vägval el anger i sin rapport *Sveriges framtida elproduktion – en delrapport* [7] att det produktionsscenario som bygger på ökad biokraftproduktion kräver biokraft som är oberoende av fjärrvärmeunderlag – alltså biokondens. Även projektet Biokraftplattformen har visat på behovet av biokondens i ett framtida system med 100 procent förnybar energi [8].

I denna promemoria har en renodlad biokondensanläggning använts som exempel. Både IVA och flera experter inom området menar dock att den mest sannolika metoden för att öka biokondensproduktionen är att utrusta befintliga kraftvärmeanläggningar med extra kylmöjligheter och/eller ersätta mellanlast i fjärrvärmenäten (som ofta utgörs av värmepumpar och hetvattenpannor) samt att sommartid använda delar av överskottsvärmen till produktion av kyla med absorptionsvärmepumpar. Kostnaden skulle då sannolikt komma ner något jämfört med en renodlad biokondensanläggning och ligga någonstans i intervallet mellan 73 öre per kWh för biokraftvärme och 92 öre per kWh för biokondens.

## Teknikbeskrivning

Ett biokondensankraftverk bygger i likhet med ett kolkondenskraftverk på en process där biobränsle förbränns och värmen från förbränningen används för att producera ånga. Ångan expanderar i en turbin som via en generator alstrar elektricitet. Ångan kondenseras i en kondensator och pumpas tillbaka till pannan där den kondenserade ångan på nytt värms och förångas.

## Beräkningsförutsättningar

Den optimala storleken för en renodlad biokondensanläggning har bedömts till 150 MW. Elverkningsgraden bedöms vara 38 procent. Det är inte otänkbart med en verkningsgrad på över 40 procent. Drifttiden har satts till 8 000 timmar för att vara jämförbar med kärnkraften. Man kan också tänka sig regler- och topplastanläggningar med betydligt färre drifttimmar. Ju färre drifttimmar desto viktigare blir den specifika investeringskostnaden för den totala produktionskostnaden. Med färre drifttimmar skulle en biogasturbin eller en HVO eller etanoldriven motor vara aktuellt.

Tabell 12: Tekniska beräkningsförutsättningar biokondens

Parametrar	Värde	Enhet
Bränsletyp	Biobränsle	-
Värmevärde	2,6	MWh/ton
Intern elförbrukning	8,1	%
Förväntade fullasttimmar	8000	h/år
Tillgänglighet	96	%
Resulterande fullasttimmar	7680	h/år
Eleffekt brutto	162,2	MW
Eleffekt netto	150	MW
Elverkningsgrad	38	%

Tabell 13: Ekonomiska beräkningsförutsättningar biokondens

Parametrar	Värde	Enhet
Specifik investering	29 000	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Byggtid	2	år
Avskrivningstid	25	år
Fast DoU	500	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Rörligt DoU	21	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
Bränslepris	200	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-0,91	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -avgift	2,37	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,7	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden från en biokondensanläggning blir med ovanstående förutsättningar 92 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 14.

Observera att det i verkligheten inte är sannolikt att det byggs rena biokondensanläggningar. Det mest sannolika enligt flera experter är i stället att

utrusta befintliga kraftvärmeanläggningar med alternativa kylmöjligheter som möjliggör kondensdrift. Detta skulle innebära lägre kostnader för biokondens än exemplet ovan.

Tabell 14: Resultat biokondens

Parametrar	Värde	Enhet
Elproduktion	1152	GWh/år
Kapitalkostnad	30,55	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	8,61	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	52,63	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-0,91	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter & avgifter	0,7	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	92	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	92	öre/kWh <sub>el</sub>

## Vatten, vind och sol

### Vattenkraft

#### Teknikbeskrivning

Ett vattenkraftverk omvandlar energin i ett vattendrag till elektrisk kraft via en turbin och en generator. Ofta finns någon form av magasin eller damm där tillrinnande vatten samlas. Genom en damm kan stora mängder vatten lagras; samtidigt kan fallhöjd från en längre del av vattendraget samlas och utnyttjas i vattenkraftverket. Från magasinet leds vattnet via en tillloppsledning till turbinen där vattnets lägesenergi omvandlas till tryck- och rörelseenergi.

Det flödande vattnet får turbinen att rotera och i sin tur driva en generator för att alstra elektricitet. Vilken turbintyp som används beror på platsspecifika förutsättningar, främst fallhöjd och flöde. Efter turbinen leds vattnet vidare genom en avloppsledning tillbaka till vattendraget. Ovanstående kompletteras med ställverk och transformatorer för anslutning till elnätet. Dessutom finns kontrollutrustning som i regel är kopplad till ett datoriserat drift- och övervakningssystem.

Varje vattenkraftverk utformas unikt utifrån de lokala förutsättningar som råder med avseende på dels fallhöjd och vattenflöde men också utifrån samspelet med övriga anläggningar i samma vattendrag. Vissa anläggningar, i regel högre upp i vattendraget, används som reglerkraft och körs en bråkdel av årets timmar medan andra anläggningar körs så mycket som är möjligt under året. Anläggningarna kan därför variera beroende på deras ingående delar och de



lokala förutsättningarna, om de exempelvis är strömkraftverk utan långa kanaler eller tuber, eller om de är kraftverk med hög fallhöjd med långa vattenvägar.

## Beräkningsförutsättningar

Tabell 15: Tekniska beräkningsförutsättningar vattenkraft

Parametrar	5 MW	90 MW	Enhet
Resulterande fullasttimmar	4 000	4 000	h/år
Eleffekt brutto	5	90	MW
Eleffekt netto	-	-	MW

Tabell 16: Ekonomiska beräkningsförutsättningar vattenkraft

Parametrar	5 MW	90 MW	Enhet
Specifik investering	25 000	20 000	kr/kW <sub>el, brutto</sub>
Byggtid	2	4	år
Avskrivningstid	40	40	år
DoU	125	100	kr/MWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	8,9	8,9	Öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden från ett storskaligt vattenkraftverk blir enligt förutsättningarna ovan 46 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 17. För småskalig vattenkraft är kostnaden 56 öre per kWh. Fastighetsskatten på vattenkraft är på omkring 9 öre per kWh vilket innebär att kostnaden inklusive skatter och avgifter ökar till 55 respektive 65 öre per kWh.

Tabell 17: Resultat vattenkraft

Parametrar	5 MW	90 MW	Enhet
Elproduktion	20	360	GWh/år
Kapitalkostnad	43,2	35,7	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	12,5	10,0	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter & avgifter	8,9	8,3	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>56</i>	<i>46</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>65</i>	<i>55</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>

## Vindkraft

### Teknikbeskrivning

Ett vindkraftverk använder vindens rörelseenergi för att producera elektisk energi. Vindkraftverkets rotor fångar upp en del av vindens energiinnehåll och omvandlar den till el i en generator. Elen överförs till elnätet via en transformator som är placerad antingen inne i eller utanför vindkraftverket.

Ett vindkraftverk börjar leverera effekt vid en vindhastighet på cirka 3 meter per sekund beroende på modell. Effekten ökar med vindhastigheten och maximal effekt uppnås i regel vid cirka 10-14 meter per sekund. Maximal effekt levereras fram till den vindhastighet då vindkraftverket automatiskt stängs av, vilket i regel är omkring 25 meter per sekund. Vindkraftverkens turbinblad är vridbara för att reglera effekten och maximera verkningsgraden. Ett modernt landbaserat vindkraftverk producerar el mellan 80-90 procent av årets timmar varav full effekt cirka 35-40 procent av tiden (3 000-3 500 fullasttimmar). För havsbaserad vindkraft är antalet fullasttimmar högre, omkring 4 000 timmar. Cirka 60-70 procent av årsproduktionen sker under de sex kallaste månaderna oktober-mars. Sett över hela året är det små variationer i vindstyrka mellan olika år. Normalt varierar vinden cirka  $\pm 10$  procent jämfört med ett medelår.

### Beräkningsförutsättningar

För både landbaserad och havsbaserad vindkraft har stora anläggningar med många kraftverk valts ut. Detta dels för att trenden går mot allt större anläggningar och dels för att kostnaden jämfört med mindre anläggningar inte skiljer sig nämnvärt per kWh.

Elforsk har antagit 2900 fullasttimmar för ett nytt landbaserat vindkraftverk. Detta kan anses vara något lågt räknat då många nya vindkraftsanläggningar med högre totalhöjd (>150 meter) har mellan 3000 och 3500 fullasttimmar [15]. Ett antagande på 3000 fullasttimmar skulle sänka kostnaden till 50 öre per kWh medan 3500 fullasttimmar skulle sänka den till 45 öre per kWh vid 6 procents ränta.

På samma sätt är antalet fullasttimmar för havsbaserad vindkraft något lågt räknat. Ett antagande på 4 000 fullasttimmar skulle sänka kostnaden från 75 till 71 öre per kWh. Kostnaderna för havsbaserad vindkraft måste dock anses vara mer osäkra jämfört med landbaserad vindkraft eftersom så få anläggningar har tagits i drift.

Tabell 18: Tekniska beräkningsförutsättningar landbaserad vindkraft

Parametrar	150 MW	600 MW	Enhet
Typ	Landbaserad	Havsbaserad	
Resulterade fullasttimmar	2900	3700	h/år
Antal verk	50	100	st
Effekt per verk	3	6	MW
Eleffekt brutto	150	600	MW
Eleffekt netto	-		-

Tabell 19: Ekonomiska beräkningsförutsättningar landbaserad vindkraft

Parametrar	Landbaserad	Havsbaserad	Enhet
Specifik investering	12000	23300	Kr/kW <sub>el, brutto</sub>
IP-tal	4,1	6,3	Kr/kWh <sub>år</sub>
Byggtid	2	2	år
Fördelning			
Vindkraftverk	60-65	30-40	%
Fundament	10-15	15-20	%
Elanslutning	5-10	20-30	%
Vägar	5-10	10-20	%
Övrigt	5-10	20	%
Avskrivningstid	20	20	år
DoU	140	180	kr/MWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,4	0,4	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden för landbaserad vindkraft blir enligt förutsättningarna ovan 51 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 20. För havsbaserad vindkraft blir kostnaden 75 öre per kWh. Kostnaden för havsbaserad vindkraft måste dock anses vara mer osäker jämfört med landbaserad vindkraft eftersom så få anläggningar har tagits i drift.

Tabell 20: Resultat landbaserad vindkraft

Parametrar	Landbaserad	Havsbaserad	Enhet
Elproduktion	435	2200	GWh/år
Kapitalkostnader	37,2	56,9	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	14,0	18,0	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	0,4	0,4	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>51</i>	<i>75</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>52</i>	<i>75</i>	<i>öre/kWh<sub>el</sub></i>

## Solkraft

### Teknikbeskrivning

En solcellsanläggning omvandlar energin från solen till elektrisk kraft och konverteras från likström till växelström via en växelriktare. Materialet i solceller är halvledare som fångar upp solstrålningens fotoner och omvandlar dem till elektricitet. När solljus av rätt våglängd belyser ett dopat halvledarmaterial exciteras elektroner från det yttre valensbandet upp till det ledningsbandet. Detta gör att en elektrisk spänning skapas och en likström erhålls.

Det vanligaste halvledarmaterialet som används i dag är kristallint kisel, och solceller baserade på detta ämne kallas för första generationens solceller. Andra generationens solceller är tunnfilmceller vilka består av flera tunna lager av halvledarmaterial såsom amorft kisel eller andra material såsom kadmiumtellurid. Tunnfilmceller kan vara flexibla och böjliga men har dock en lägre verkningsgrad.

En solcellsanläggning består av ett antal solcellsmoduler (en solmodul är en ram med ett antal seriekopplade solceller monterade), en växelriktare, monteringsystem och kringutrustning så som brytare, elmätare och kablage. I dagsläget ansluts majoriteten av alla solcellsanläggningar som installeras på befintliga fastigheters tak eller fasad till elnätet på fastighetens sida av elmätaren. Detta för att egenproducerad el då ersätter köpt el och på så sätt skapar större ekonomiskt värde för anläggningsägaren än om all el skulle säljas. Det eventuella överskott som uppstår matas in på nätägarens elnät.

## Beräkningsförutsättningar

Tabell 21: Tekniska beräkningsförutsättningar solkraft

Parametrar	5 kW	50 kW	1 MW	Enhet
Resulterande fullasttimmar	960	970	970	h/år
Eleffekt brutto	0,005	0,05	1	MW
Eleffekt netto	-	-	-	MW

Tabell 22: Ekonomiska beräkningsförutsättningar solkraft

Parametrar	5 kW	50 kW	1 MW	Enhet
Specifik investering	16 000	14 000	10 000	kr/kW <sub>el, brutto</sub>
Byggtid	<<1	<1	<1	år
Moms	25 %	0 %	0 %	%
Avskrivningstid	25	25	25	år
DoU	0	80	90	kr/kW <sub>el</sub>
Reinvestering	0,009	0,07	0,97	Mkr (exkl. moms)
Tid mellan grund- och reinvestering	15	15	15	år
Investeringsstöd	20	30	0	% av investering
Fastighetsskatt	0	0	0,5	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden för solkraft uppgår enligt förutsättningarna ovan till 170, 126 och 93 öre per kWh för en villabaserad-, industribaserad- och kommersiell anläggning, se Tabell 23. Med investeringsstöd sjunker kostnaden till 138, 92 och 94 öre per kWh för respektive anläggning. Värt att notera är att den antagna räntan på 6 procent kan anses vara hög för en villabaserad anläggning. Vid ett antagande på 3 procent sjunker kostnaden från 170 till 128 öre per kWh för en villabaserad anläggning.

Det har också framförts kritik om att Elforsk har räknat med en för kort livslängd för solkraft. Om den ekonomiska livslängden sätts till 30 år i stället för 25 år sjunker elproduktionskostnaden från 170 till 158 öre per kWh för en villaanläggning och från 126 till 117 öre per kWh för en industrianläggning.

Tabell 23: Resultat solkraft

Parametrar	5 kW	50 kW	1 MW	Enhet
Elproduktion	4,8	49	970	MWh/år
Kapitalkostnad	163,0	112,9	80,7	öre/kWhel
DoU-kostnad	0	8,3	9,3	öre/kWhel
Reinvestering	7,3	4,6	3,3	öre/kWhel
Investeringsstöd	-32,6	-33,9	0	öre/kWhel
Skatter & avgifter	0	0	0,5	öre/kWhel
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>170</i>	<i>126</i>	<i>93</i>	<i>öre/kWhel</i>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	<i>138</i>	<i>92</i>	<i>94</i>	<i>öre/kWhel</i>

## Kraftvärme

### Värmekreditering

I en kraftvärmeanläggning, där el och värme produceras samtidigt, måste vid beräkning av elproduktionskostnaden den samtidigt producerade och nyttiggjorda värmen ansättas ett värde, det vill säga alla kostnader för produktionen i kraftvärmeanläggningen kan inte tillskrivas elproduktionen. I denna rapport beräknas elproduktionskostnaden för kraftvärmeanläggningar genom att subtrahera kostnaden att producera fjärrvärme från den totala produktionskostnaden för att producera både el och värme. Denna typ av värmekreditering kallas fast kreditering, vilken kan tillämpas då det handlar om nyinvestering i ett fjärrvärmenät, det vill säga om inte ett kraftvärmeverk hade byggts så hade ett värmeverk behövt byggas.

Kostnaden för att producera fjärrvärme beräknas utifrån en alternativ investering i en biobränsleeldad hetvattenanläggning med motsvarande värmeeffekt som kraftvärmeverket, tillsammans med bränsle-, drift- och underhållskostnader för hetvattenanläggningen. Kostnaden att producera värme varierar med storleken på hetvattenanläggningen vilket leder till olika värmekreditering för olika anläggningsstorlekar. Observera att värmekrediteringen enligt ovan är en generalisering av verkligheten. Den verkliga värmeproduktionskostnaden för det specifika fallet beror av de förutsättningar som råder i det aktuella fjärrvärmenätet. Värmekrediteringen har stor inverkan på elproduktionskostnaden och går i beräkningsapplikationen att ändra för egna analyser.

## Kraftvärme bio

### Teknikbeskrivning

Ett biobränsleeldat kraftvärmeverk genererar el genom att biobränsle (i huvudsak i form av träflis) tillförs och eldas i en eldstad. De varma rökgaser som bildas värmer i sin tur upp vatten som förångas. Ångan expanderar i en ångturbin med generator, vilken genererar elektrisk ström. Efter att ångan har expanderat i turbinen så kondenseras den, vilket ger varmvatten till fjärrvärme.

Anläggningar som är konstruerade för att producera både el och processånga kallas ofta för industriellt mottryck. Dessa konstrueras för att tappa av ånga vid olika steg i processen beroende på önskat processtryck. Mängden mekaniskt arbete i turbinen minskar vilket också reducerar elproduktion i motsvarande grad jämfört med kraftvärme- eller kondenskraftverk.

### Beräkningsförutsättningar

Tabell 24: Tekniska beräkningsförutsättningar biokraftvärme

Parametrar	Värde	Enhet
Bränsletyp	Skogsflis	
Värmevärde	2,6	MWh/ton <sub>bränsle</sub>
Förväntade fullasttimmar	5000	h/år
Tillgänglighet	96	%
Resultterande fullasttimmar	4800	h/år
Eleffekt brutto	33	MW
Eleffekt netto	30	MW
Elverkningsgrad*	28	%
Alfavärde netto	0,37	
Alfavärde brutto	0,53	
Kondensvärmeeffekt	62	MW
RGK-effekt	19	MW
Totalverkningsgrad	105	%
NO <sub>x</sub> -utsläpp	40	mg NO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>
Svavelutsläpp	0	mg S/MJ <sub>bränsle</sub>
CO <sub>2</sub> -utsläpp	0	g CO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>

Tabell 25: Ekonomiska beräkningsförutsättningar biokraftvärme

Parametrar	30 MW	Enhet
Specifik investering	36 900	kr/kW <sub>el, brutto</sub>
Specifik investering	40 400	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Byggtid	2	år
Avskrivningstid	25	år
Fast DoU	700	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Rörligt DoU	21	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
Bränslepris	200	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
Värmekreditering	-324	kr/MWh <sub>värme</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-3,4	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -avgift	2,5	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,7	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden från biokraftvärme blir med ovanstående förutsättningar 73 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 26.

Kostnaden är oförändrad med skatter och avgifter.

Det har också framförts kritik om att Elforsk har räknat med en för kort livslängd för biokraftvärmen. Om den ekonomiska livslängden sätts till 40 år, i likhet med kärnkraften, i stället för 25 år sjunker elproduktionskostnaden från 73 till 63 öre per kWh för en 30 MW-anläggning.

Tabell 26: Resultat biokraftvärme

Parametrar	30 MW	Enhet
Elproduktion	144	GWh/år
Värmeproduktion	391	GWh/år
Kapitalkostnad	68,1	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	22	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	70,7	öre/kWh <sub>el</sub>
Värmekreditering	-88	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-3,4	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter & avgifter	3,2	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	73	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	73	öre/kWh <sub>el</sub>



## Kraftvärme avfall

### Teknikbeskrivning

I Sverige finns drygt 30 anläggningar som eldar hushållsavfall och industriavfall. De allra flesta av anläggningarna producerar både värme och el och är därmed kraftvärmeanläggningar. Enligt Avfall Sverige så förbrändes under år 2012 drygt 5  $M_{\text{ton}}$  avfall varav en del importerat avfall. Totalt producerades under år 2012 13 TWh värme och 1,7 TWh el från avfallsförbränningsanläggningar.

I de flesta anläggningar eldas både hushållsavfall och industriavfall och bränslet är oftast inhomogent och kan ha varierande energihåll, normalt mellan 10-12 MJ/kg. Ett rimligt värde för generella beräkningar är 11 MJ/kg, alltså något högre än vanligt (fuktigt) biobränsle. Hushållsavfall består till cirka 85 viktprocent av organiskt förnybart material. Detta motsvarar cirka 65 energiprocent förnybart material. Övrigt material är fossilt, till exempel plaster. Sortering av avfallet kan ske i olika omfattning, till exempel utsortering av brännbart material vilket ger en fraktion kallad RDF (Refuse Derived Fuel).

I många kommuner har sortering av hushållsavfall införts, vilket innebär att glas, metaller, papper, plast och komposterbart material sorteras ut. Genom sortering erhålls en mer homogen bränslefraktion, vilket förbättrar driftförutsättningarna med avseende på till exempel tillgänglighet och reglerbarhet. I gengäld är det rimligt att anta att ju bättre sorterat avfallet är, desto mindre intäkt får anläggningsägaren för mottaget avfall. I detta kapitel förutsätts i huvudsak massförbränning av avfall, d.v.s. anläggningen är konstruerad för blandat (osorterat) hushållsavfall och industriavfall som eldas i rosterpannor.

### Beräkningsförutsättningar

Tabell 27: Tekniska beräkningsförutsättningar avfallskraftvärme

Parametrar	Värde	Enhet
Bränsletyp	Avfall	-
Värmevärde	3,1	MWh/ton <sub>bränsle</sub>
Förväntade fullasttimmar	7 500	h/år
Tillgänglighet	95	%
Resultterande fullasttimmar	7 125	h/år
Eleffekt brutto	23,2	MW
Eleffekt netto	20	MW
Elverkningsgrad	19	%
Alfavärde netto	0,22	
Alfavärde brutto	0,33	

Kondensvärmeeffekt	71	MW
RGK-effekt	19	MW
Totalverkningsgrad	105	%
NO <sub>x</sub> -utsläpp	40	mg NO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>
Svavelutsläpp	0	mg S/MJ <sub>bränsle</sub>
CO <sub>2</sub> -utsläpp	35	g CO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>

Tabell 28: Ekonomiska beräkningsförutsättningar avfallskraftvärme

Parametrar	Värde	Enhet
Specifik investering	93 300	kr/kW <sub>el, brutto</sub>
Specifik investering	108600	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Byggtid	3	år
Avskrivningstid	25	år
Fast DoU	3 140	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Rörligt DoU	40	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
Bränslepris	-130	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
Värmekreditering	-324	kr/MWh <sub>värme</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-5	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -avgift	3,8	öre/kWh <sub>el</sub>
Utsläppsrätter	3,3	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,5	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden från avfallskraftvärme blir enligt förutsättningarna ovan -21 öre per kWh, se Tabell 29. Avfallskraftvärmen är den mest lönsamma formen av kraftvärme och har därför ett högt antal fullasttimmar.

Tabell 29: Resultat avfallskraftvärme

Parametrar	Värde	Enhet
Elproduktion	143	GWh/år
Värmeproduktion	636	GWh/år
Kapitalkostnad	126	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	64,9	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	-67,7	öre/kWh <sub>el</sub>
Värmekreditering	-144,7	öre/kWh <sub>el</sub>

NO <sub>x</sub> -återbetalning	-5	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	7,5	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	-21	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	-19	öre/kWh <sub>el</sub>

## Kraftvärme gaskombi

### Teknikbeskrivning

Ett gaskombikraftvärmeverk är tekniskt sett mycket likt en gaskombikondensanläggning. Den enda tekniska skillnaden är att kylningen i ett gaskombikraftvärmeverk sker med hjälp av fjärrvärme. Det som också skiljer sig är driftstrategin och designfilosofin av anläggningen eftersom det finns ett värmeunderlag som innebär vissa tekniska krav.

Elverkningsgraden varierar beroende på aktuell anläggning – hur den är utlagd, för vilket alfavärde, samt hur anläggningen körs. Anläggningarnas alfavärde, det vill säga förhållandet mellan eleffekten och fjärrvärmeeffekten, beror på vilken driftstrategi som föranlett designen av anläggningen. Rya kraftvärmeverk i Göteborg har ett alfavärde på knappt 0,9 och producerar därför relativt sett mer värme och fokuserar således på en hög totalverkningsgrad. Öresundsverket i Malmö har däremot ett alfavärde på cirka 1,6 och fokuserar främst på elproduktion. Totalverkningsgraden kan för gaskombikraftvärme bli hög, Rya kraftvärmeverk i Göteborg når hela 92,5 %.

### Beräkningsförutsättningar

Tabell 30: Tekniskspecifika beräkningsförutsättningar för gaskombikraftvärme

Parametrar	Värde	Enhet
Bränsletyp	Naturgas	
Värmevärde	38,9	MJ/Nm <sup>3</sup>
Förväntade fullasttimmar	5000	h/år
Tillgänglighet	98	%
Resulterande fullasttimmar	4 900	h/år
Eleffekt brutto	41	MW
Eleffekt netto	40	MW
Elverkningsgrad*	49	%
Alfavärde netto	1,51	

Värmeeffekt	26,5	MW
Totalverkningsgrad	81	%
NO <sub>x</sub> -utsläpp	20	mg NO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>
Svavelutsläpp	0	mg S/MJ <sub>bränsle</sub>
CO <sub>2</sub> -utsläpp	56,8	g CO <sub>2</sub> /MJ <sub>bränsle</sub>

Tabell 31: Ekonomiska beräkningsförutsättningar gaskombikraftvärme

Parametrar	40 MW	Enhet
Specifik investering	10740	kr/kW <sub>el, brutto</sub>
Specifik investering	11000	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Byggtid	3	år
Avskrivningstid	25	år
Fast DoU	100	kr/kW <sub>el, netto</sub>
Rörligt Dou	25	kr/MWh <sub>el</sub>
Bränslepris	290	kr/MWh <sub>bränsle</sub>
Värmekreditering	324	kr/MWh <sub>värme</sub>
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-1,5	öre/kWh <sub>el</sub>
NO <sub>x</sub> -avgift	0,7	öre/kWh <sub>el</sub>
Svavelskatt	0	öre/kWh <sub>el</sub>
Utsläppsrätter	2,1	öre/kWh <sub>el</sub>
Energiskatt	2,3	öre/kWh <sub>el</sub>
CO <sub>2</sub> -skatt	0,7	öre/kWh <sub>el</sub>
Fastighetsskatt	0,5	öre/kWh <sub>el</sub>

## Resultat

Elproduktionskostnaden från avgallskraftvärme blir enligt förutsättningarna ovan 61 öre per kWh utan skatter och avgifter, se Tabell 32.

Tabell 32: Resultat gaskombikraftvärme

Parametrar	40 MW	Enhet
Elproduktion	196	GWh/år
Värmeproduktion	130	GWh/år
Kapitalkostnad	18,8	öre/kWh <sub>el</sub>
DoU-kostnad	4,5	öre/kWh <sub>el</sub>
Bränslekostnad	59,2	öre/kWh <sub>el</sub>
Värmekreditering	-21,5	öre/kWh <sub>el</sub>

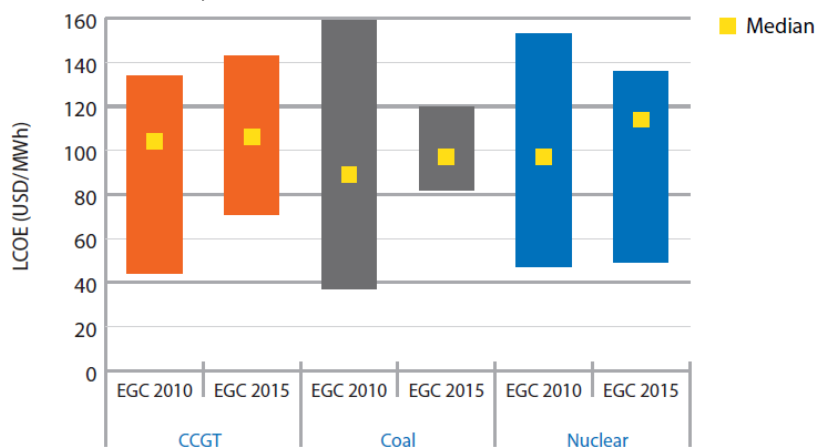
NO <sub>x</sub> -återbetalning	-1,5	öre/kWh <sub>el</sub>
Skatter och avgifter	6,3	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad utan skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	61	öre/kWh <sub>el</sub>
<i>Elproduktionskostnad med skatter, avgifter och investeringsstöd</i>	66	öre/kWh <sub>el</sub>

## Utvecklingstrender

Genom att titta på hur kostnaderna för olika kraftslag har utvecklats historiskt går det att få en uppfattning om utvecklingstrender. IEA (International Energy Agency) gör regelbundna kostnadsstudier för olika kraftslag. Den senaste rapporten av "Projected cost of generating electricity" [14] är från år 2015 och där görs en jämförelse med de uppskattade kostnaderna från år 2010.

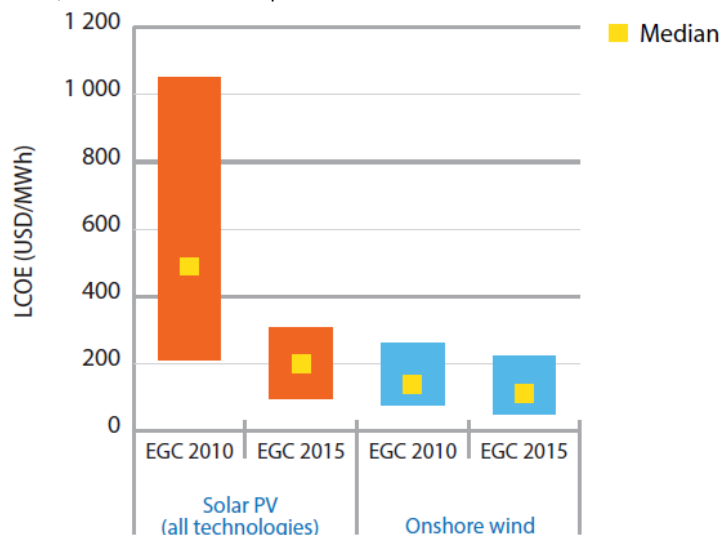
IEA har delat upp tekniker i "baskraft" (gas, kol och kärnkraft) och "sol och vind". Resultaten varierar stort mellan olika regioner och länder men givet det stora antalet anläggningar i studien (181 stycken) går det att få fram medianvärden för varje teknik. För baskraftsteknikerna visar resultatet en svag ökning av mediankostnaden för gas och kol, medan kärnkraften uppvisar en kraftigare ökning, se Figur 4.

Figur 4: Elproduktionskostnader år 2010 jämfört med år 2015, "baskraft", USD per MWh, 10 % ränta. Reala priser år 2013. Källa: IEA [14]



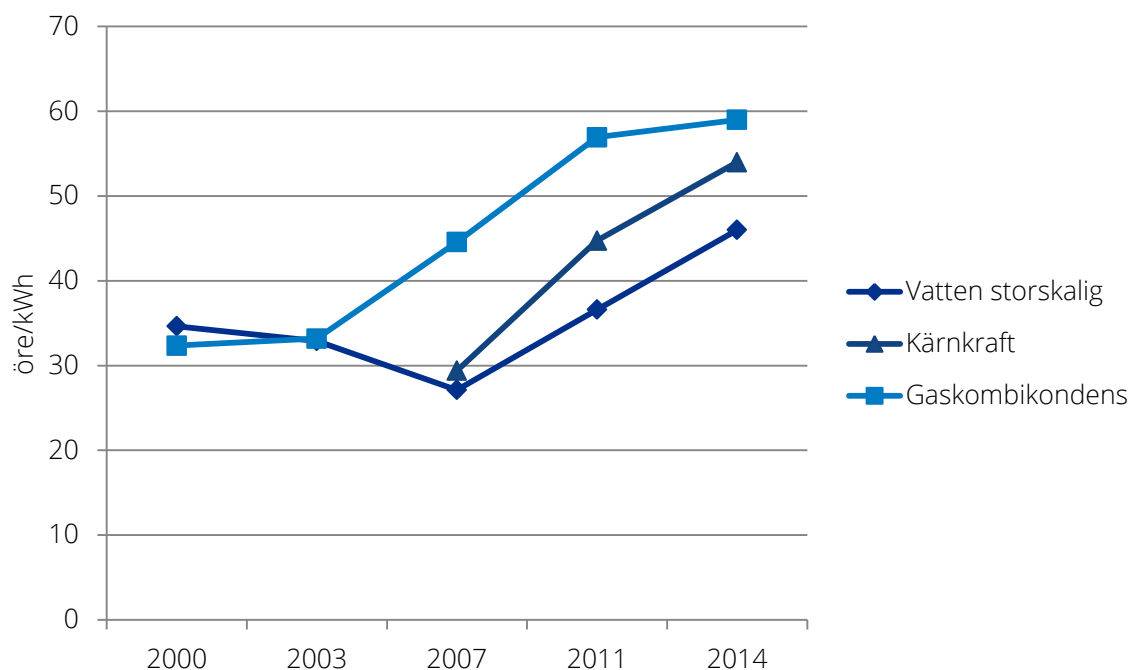
För sol och vind är kostnadsutvecklingen den omvända, kostnaderna sjunker, se Figur 5. Detta är särskilt tydligt för solkraften. Kostnaden för landbaserad vind har också sjunkit betydligt även om utvecklingen inte är lika snabb som för solkraften.

Figur 5: Elproduktionskostnader år 2010 jämfört med år 2015, "sol och vind", USD per MWh, 10 % ränta. Reala priser år 2013. Källa: IEA [14]



Även Elforsk släpper rapporten "El från nya anläggningar" med jämna intervall. Genom att gå tillbaka och dokumentera historiska kostnader går det att få en uppfattning om lutningen på kurvan för olika tekniker, se Figur 6. Elforsks resultat stämmer till stor del överens med resultaten från IEA. Planerbar kraft eller "baskraft" har en generellt uppåtgående trend. Kraftvärme är utelämnat ur den historiska jämförelsen på grund av förändringar i metodiken vilket gör det svårt att jämföra kostnader över tid.

Figur 6: Kostnadsutveckling för nya elproduktionsanläggningar – "planerbar kraft", öre per kWh, 6 procent ränta, reala priser år 2014. Källa: Elforsk [1, 10, 11, 12, 13]

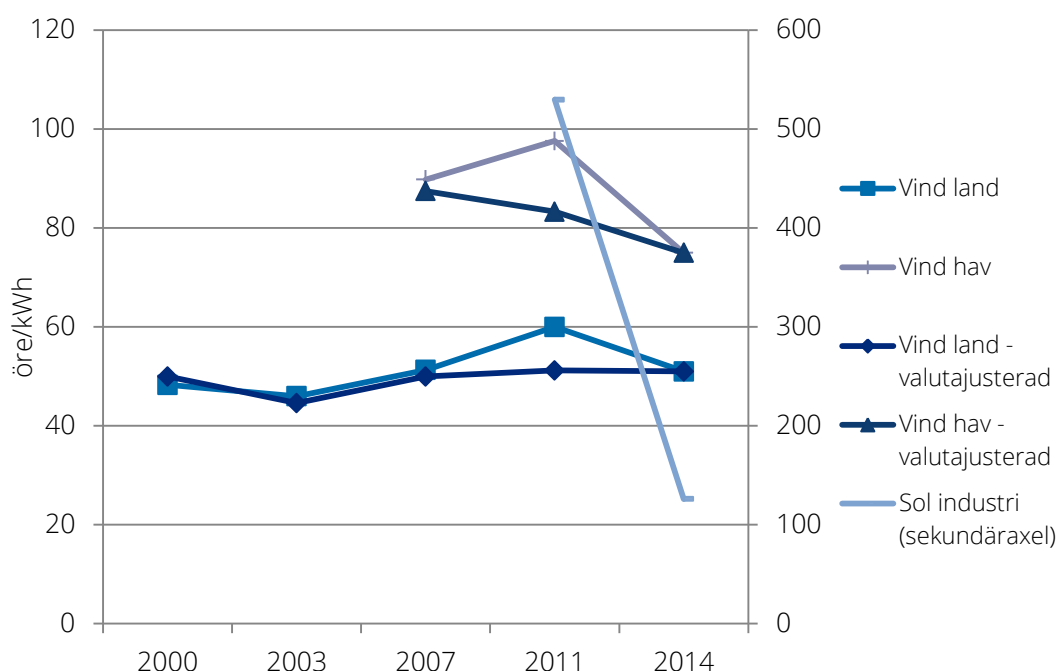


Kostnaden för vindkraft skiljer sig något från IEA. Landbaserad vindkraft har enligt Elforsk i stort sett legat still sedan år 2000, se Figur 7. Omkring år 2010-2011 ökade kostnaderna (även för havsbaserad vindkraft) vilket till stor del kan förklaras med dels en svagare krona och dels med höga råvarupriser. Om

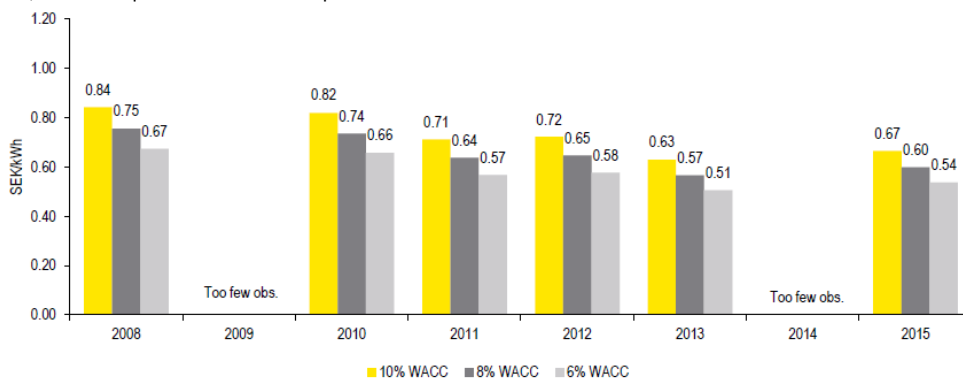
kostnaderna valutajusteras är kostnadsutvecklingen i stort sett platt för landbaserad vindkraft och kontinuerligt sjunkande för havsbaserad. Det finns dock uppgifter som tyder på att Elforsk har underskattat kostnaderna för landbaserad vindkraft i tidigare utgåvor av ”*El från nya anläggningar*”. Ernst & Young har till exempel i en empirisk studie visat att genomsnittskostnaden för den landbaserade vindkraften i Sverige som installerades mellan år 2008 och 2015 ligger på omkring 58 öre per kWh, vid 6 procent ränta [15]. Enligt Ernst & Young har kostnaden sjunkit från 67 öre per kWh år 2008 till 54 öre per kWh år 2015 vid 6 procent ränta, se Figur 8.

Kostnaden för solkraft sticker ut genom att den har sjunkit kraftigt från 2011, dock från en hög nivå på över 5 kr per kWh, se Figur 7.

Figur 7: Kostnadsutveckling för nya elproduktionsanläggningar – ”sol och vind”, öre per kWh, 6 procent ränta, reala 2014-priser. Källa: Elforsk [1, 10, 11, 12, 13]



Figur 8: Produktionskostnad för landbaserad vindkraft per installationsår i SEK per kWh vid 10, 8 och 6 procent viktad kapitalkostnad. Källa: E & Y [15]



## Referenser

- [1] Elforsk. *El från nya och framtida anläggningar*. Stockholm: Elforsk; 2014.
- [2] "Hinkley Point C: what you need to know about the nuclear power project" The Guardian. [Läst: 2016-03-29]. Tillgänglig: <http://www.theguardian.com/environment/2016/mar/07/hinkley-point-c-what-you-need-to-know-nuclear-power-station>
- [3] Koistinen, Olavi; "Suomenkin uusi ydinvoimala maksaa 8,5 miljardia euroa"; Helsingin Sanomat. [Läst: 2016-03-29]. Tillgänglig: <http://www.hs.fi/talous/a1305627982885#>
- [4] Landauro, Inti "EDF Postpones Flamanville Nuclear Reactor Startup to 2018" The Wall Street Journal. [Läst: 2016-03-29]. Tillgänglig: <http://www.wsj.com/articles/edf-postpones-flamanville-nuclear-reactor-startup-to-2018-1441293024>
- [5] Beckman, Karel; "Rosatom signs contract to build nuclear plant for Fennovoima in Finland"; Energy Post [Läst 2016-03-29]. Tillgänglig: <http://www.energypost.eu/rosatom-signs-contract-build-nuclear-plant-fennovoima-finland/>
- [6] Hellesen, Carl; "Var står forskningen om nästa generation kärnkraft. Kommer den hinna hjälpa oss?". Uppsala Universitet; 2015. Presentation 2015-10-14.
- [7] IVA Vägval el. "Sveriges framtida elproduktion. En delrapport" Stockholm; IVA; 2016.
- [8] Biokraftplattformen. "Biokraft år 2040 – 10 GW installerad effekt som ger 40 TWh elenergi per år!": Stockholm; Svebio; 2015
- [9] Bengts nya villablogg. Produktionskostnad för solel i Sverige. [Läst 2016-04-08] Tillgänglig: <http://bengtsvillablogg.info/produktionskostnad-for-solel-i-sverige/>
- [10] Elforsk. *El från nya och framtida anläggningar*. Stockholm: Elforsk; 2000.
- [11] Elforsk. *El från nya och framtida anläggningar*. Stockholm: Elforsk; 2003.
- [12] Elforsk. *El från nya och framtida anläggningar*. Stockholm: Elforsk; 2007.
- [13] Elforsk. *El från nya och framtida anläggningar*. Stockholm: Elforsk; 2011.
- [14] International Energy Agency, Nuclear Energy Agency. *Projected Costs of Generating Electricity. 2015 Edition*. Paris: IEA; 2015.
- [15] Ernst & Young. *Levelized Cost of Energy for Swedish wind farms – an empirical study*. Stockholm; 2015.



## **Bilaga: Kostnad för pågående kärnkraftsprojekt i EU**

Elforsk: 45 352 SEK/kW inklusive byggränta.

Medel för de fyra pågående projekten i EU: 55 310 SEK/kW. (48 783 SEK/kW exkl. byggränta, 4 procent 6 års byggtid)

Det finns fyra pågående projekt i EU:

### **Hinkley Point C – Storbritannien**

Valutakurs Pund: 11,82 SEK (2016-03-29). 18 miljarder pund = 212,76 miljarder SEK. [2]

Hinkley point C: 3200 MW. Kostnad per kW:  $212\,760\,000\,000 / 3\,200\,000 = 66\,488$  SEK/kW

### **Olkiluoto 3 - Finland**

Valutakurs Euro: 9,28 SEK (2016-03-29). 8,5 miljarder Euro = 78,88 miljarder SEK. [3]

Olkiluoto 3: 1600 MW. Kostnad per kW:  $78\,880\,000\,000 / 1\,600\,000 = 49\,300$  SEK/kW

### **Flamanville - Frankrike**

Valutakurs Euro: 9,28 SEK (2016-03-29). 10,5 miljarder Euro = 97,44 miljarder SEK. [4]

Flamanville: 1650 MW. Kostnad per kW:  $97\,440\,000\,000 / 1\,650\,000 = 59\,055$  SEK/kW

### **Hanhikivi 1 - Finland**

Valutakurs Euro: 9,28 SEK (2016-03-29). 6 miljarder Euro = 55,68 miljarder SEK. [5]

Hanhikivi 1: 1200 MW. Kostnad per kW:  $55\,680\,000\,000 / 1\,200\,000 = 46\,400$  SEK/kW