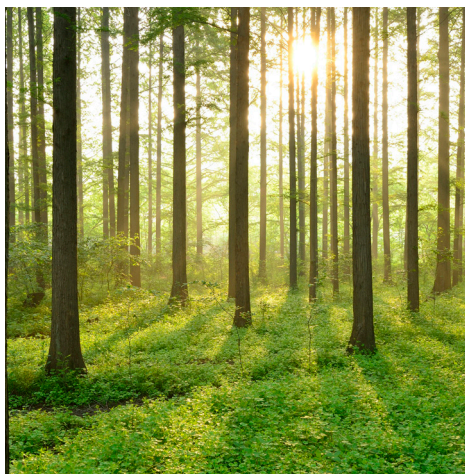


KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS INVERKAN PÅ ENERGISYSTEMET

RAPPORT 2021:738



KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS
KONSEKVENSER



Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet

Sammanfattande slutrapport

JENNY GODE, PROFU

EBBA LÖFBLAD, PROFU

THOMAS UNGER, PROFU

PETER BLOMQVIST, PROFU

JOHAN HOLM, PROFU

EMIL NYHOLM, PROFU

MARTIN HAGBERG, PROFU

JULIA HANSSON, IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET

ANNAMARIA SANDGREN, IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET

SOFIE HELLSTEN, IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET

NATHALIE FRANSSON, IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET

ERIK KJELLSTRÖM, SMHI

GUSTAV STRANDBERG, SMHI

LISA GÖRANSSON, CHALMERS

Förord

År 2020 var det varmaste året i Europa och jordens medeltemperatur låg på samma höga rekordnivå som 2016. De globala utsläppen av växthusgaser fortsätter att öka och vi rör oss mot en global temperaturhöjning på över tre grader mot slutet av seklet. Effekterna blir oåterkalleliga om vi inte lyckas bryta utvecklingen.

I den arktiska regionen, som norra Sverige tillhör, går uppvärmningen betydligt snabbare och vi ser redan effekter av detta. Den ökade temperaturen påverkar både naturmiljön och samhället och därigenom det svenska energisystemet med allt större inslag av förnyelsebar energi. Det leder bland annat till förändrade produktionsförutsättningarna för olika energislag och att energisystemet blir mer sårbart.

I projektet *Klimatförändringars inverkan på energisystemet* har Energiforsk samlat ett 15-tal forskare och analytiker från Chalmers Tekniska Högskola, IVL Svenska Miljöinstitutet, Profu och SMHI för att fördjupa kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på det svenska energisystemet och vilka åtgärder som krävs för att minska de negativa effekterna. Projektet har genomförts i nära samverkan med representanter från berörda delar av energisektorn, forskningsorganisationer, myndigheter, försäkringsbolag med flera.

Energiforsk vill rikta ett stort tack dels till medverkande forskare, dels till alla medverkande i projektets styrgrupp och i olika arbetsgrupper. Sammantaget har över hundra personer från ett 50-tal organisationer bidragit till projektets genomförande. Energiforsk vill också riktat ett särskilt tack till projektets finansiärer vilka är C4 Energi, Energimyndigheten, E.ON Sverige, Fortum Sverige, Göteborg Energi, If, Jämtkraft, Karlstads Energi, Skellefteå Kraft, Stiftelsen IVL, Svenska kraftnät, Söderenergi, Tekniska verken i Linköping, TVO, Uniper, Vattenfall, ÅForsk.

Det här är en sammanfattande slutrapport för projektet *Klimatförändringars inverkan på energisystemet*. På Energiforsks hemsida finns alla delrapporter kring klimatscenarier och påverkan på olika energislag.

Energiforsk

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sökord: klimatförändringar, energisystem, konsekvenser, risk, sårbarhet

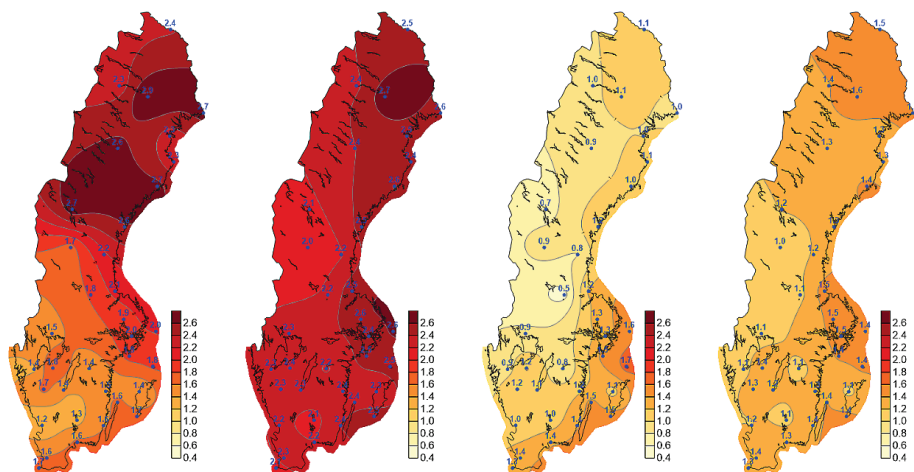
Klimatförändringen pågår och i Sverige har medeltemperaturen redan ökat med 1,7 grader sedan slutet av 1800-talet

Klimatförändringen kan redan observeras både globalt och regionalt. I Sverige är uppvärmningen ungefär dubbelt så stor som den globala temperaturökningen. I Sverige är temperaturökningen olika på olika årstider. På våren har den varit störst, på sommaren minst. Att uppvärmningen är stor i Sverige förklaras främst av att landytor värms snabbare än hav samt att området kring Nordpolen är den del av jorden som värms mest.

SMHI har beräknat att temperaturökningen i Sverige sedan slutet av 1800-talet är 1,7°C¹. Under samma tid har den globala årsmedeltemperaturen ökat med 0,8 °C, enligt beräkningar från Climatic Research Unit, University of East Anglia. Uppvärmningen i Sverige är alltså ungefär dubbelt så stor som den globala uppvärmningen. Dessa temperaturökningar avser förändringen från 1860–1900 till och med 1991–2019. Tittar vi på det enskilda året 2020 var den globala medeltemperaturökningen 1,2 °C jämfört med slutet av 1800-talet.

I Sverige har alla årstider blivit varmare (Figur 1). Temperaturökningen skiljer sig dock mellan årstider och inom landet. Våren, den årstid som har värmts mest, har blivit

2,4 °C varmare. Vintrarna har i genomsnitt blivit nästan 2 °C varmare. Sommaren är den årstid med minst uppvärmning (drygt +1 °C) sedan slutet på 1800-talet. Uppvärmningen vintertid uppvisar stora geografiska skillnader, från omkring +1,5 °C i södra Sverige till drygt +2,5 °C i norr.



Figur 1. Förändring av årstidsmedeltemperaturen mellan perioderna 1860–1900 och 1991–2019 baserat på 35 stationer, från vänster: vinter, vår, sommar och höst.²

¹ Sverigemedeltemperaturens förändring från 1860–1900 till 1991–2019

² SMHI: <https://www.smhi.se/nyhetsarkiv/starkast-uppvarmning-i-norra-och-ostra-sverige-1.15934>

Den kraftiga uppvärmningen i Sverige förklaras främst av två saker. Dels värms landytor snabbare än haven. Uppvärmningen går snabbare på alla landområden jämfört med haven. Dels är Arktis den del av jorden som värms snabbast³. Det påverkar även Sverige som ligger förhållandevis nära Nordpolen och delvis är en del av Arktis.

Minskad utbredning av snö och is gör att betydligt mer solinstrålning kan absorberas i mark och hav, vilket gör att luften värms underifrån från allt varmare mark och hav. Den kortare säsongen med snö och is bidrar till de stora temperaturökningarna i början och slutet av vintersäsongen.

³ När isen och snön i Arktis minskar i utbredning kan mer av solstrålningen absorberas av marken och havet. Mer av värmen i havet kan också nå atmosfären som annars isoleras av havsisen. Därför kan en ursprunglig global uppvärmning förstärkas lokalt.

Även om de globala utsläppen begränsas kraftigt kommer klimatförändringen att fortsätta

År 2020 var den globala medeltemperaturen ca 1,2 °C högre än under förindustriell tid. Med dagens uppvärmningstakt nås +1,5 °C om ca 20 år och +2 °C ytterligare ca 30 år senare. Uppvärmningen kommer att fortsätta då koncentrationen av växthusgaser i atmosfären ökar. För att uppvärmningen ska stanna av krävs nettonollutsläpp av växthusgaser. För att den globala temperaturen ska sjunka krävs aktivt borttagande av växthusgaser från atmosfären.

Enligt observationer av den globala medeltemperaturen ligger vi idag ca 1,2 grader över medelvärde för förindustriell tid⁴. Med nuvarande uppvärmningstakt om ca 0,2 grader per decennium når vi således +1,5 °C om ca 20 år (omkring år 2040). Det är mer osäkert när (och om) vi når +2 °C uppvärmning, men med den nuvarande uppvärmningstakten inträffar det någon gång mellan 2050–2080. Den globala uppvärmningen drivs framför allt av utsläpp av växthusgaser och förändringar i markanvändning. Koldioxid försvinner långsamt från atmosfären, vilket innebär att i princip alla utsläpp av koldioxid till atmosfären bidrar till en nettoökning av koldioxidkoncentrationen. Det betyder att så länge det finns nettoutsläpp av växthusgaser så kommer klimatet att fortsätta förändras.

Även kraftigt reducerade utsläpp innebär en fortsatt temperaturhöjning. Inte förrän vi globalt uppnår nettonollutsläpp kan koncentrationen av växthusgaser i atmosfären stabiliseras och inte förrän koncentrationen av växthusgaser i atmosfären har stabiliserats kan temperaturen stabiliseras. Eftersom det finns en tröghet i klimatet kommer temperaturen att fortsätta att öka något även efter en stabilisering av växthusgaskoncentrationen i atmosfären. Denna ökning är högst 0,5 °C. Även om vi når nettonollutsläpp inom en snar framtid är det därför troligt att uppvärmningen överskrider +1,5 °C jämfört med förindustriella nivåer. Sedan 1950-talet har utsläppen med några undantag ökat från år till år. Det är rimligt att anta att vi kommer att ha utsläpp av växthusgaser, och därför också en fortsatt uppvärmning, i åtminstone några årtionden till. Hur stor den förändringen blir och om, eller när, vi når +2 °C beror på hur stora de framtida utsläppen av växthusgaser blir. För att temperaturen ska sjunka inom en snar framtid krävs ett aktivt borttagande av växthusgaser ur atmosfären.

⁴ Perioden 1861–1890.

Påverkan från klimatet beror på vilken betydelse olika energislag har i framtidens energisystem

En bedömning av den samlade effekten av klimatförändringar på energisystemet kräver kännedom om både framtidens energisystem och det framtida klimatet. Energisystemets utveckling styrs både av faktorer som vi har relativt god kännedom om och faktorer som är förknippade med mycket stora osäkerheter. Högst troligt är dock att det framtida elsystemet i Sverige och Norden kommer att utmärkas av en väsentligt större andel variabel förnybar elproduktion, framförallt vindkraft, än idag. Kunskap om klimatförändringens påverkan på dessa energislag är därmed extra betydelsefull i ett systemperspektiv.

Två omvärldsscenarioer som underlag för projektet

För att belysa de stora osäkerheterna i den framtida utvecklingen för energisystemet, i synnerhet på längre sikt, har två omvärldsscenarioer använts – ett så kallat "Basscenario" och ett "Klimatscenario"⁵. En mer detaljerad beskrivning av respektive scenario och metod för framtagande återfinns i en delrapport⁶ till detta projekt.

"Basscenarioet" antar en omvärldsutveckling likt Energimyndighetens referensscenario från 2019. Scenariot ska ses som en konsekvensanalys av den förda politiken med de befintliga och planerade styrmedel. I "Basscenarioet" minskar växthusgasutsläppen, men inte tillräckligt för att nå EU:s mål om nettonollutsläpp till år 2050.

I "Klimatscenarioet" antas en stringent klimatpolitik. Scenariot bygger dels på en kraftig elbehovsutveckling som i huvudsak följer elbranschens färdplan från 2019, dels på att målen i Parisavtalet från 2015 uppnås. Det antas leda till mycket höga priser på koldioxid (över 100 EUR/t) efter 2035, vilket inte minst påverkar elprisutvecklingen.

Den svenska elproduktionens utveckling

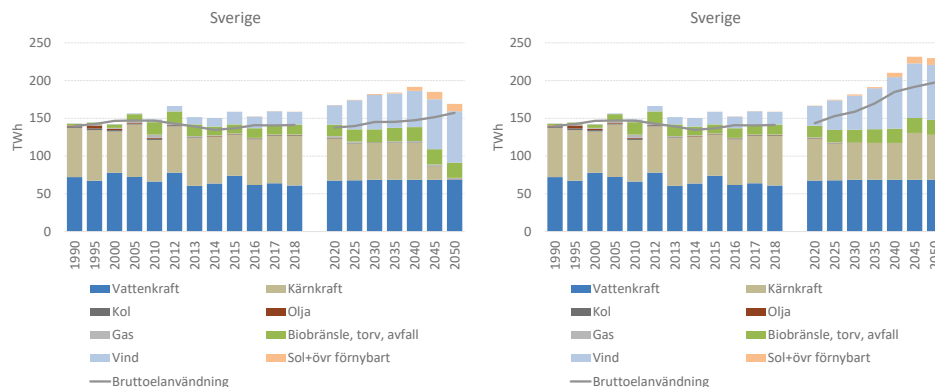
Figur 2 visar den svenska elproduktionen för de två scenarierna. I bägge scenarierna är det framför allt vindkraft som byggs ut. Detta i kombination med en långsamt ökande elförbrukning i "Basscenarioet" leder till ett elöverskott på årsbasis om ca 30–40 TWh fram till 2040 innan den befintliga kärnkraften i detta scenario avvecklas av åldersskäl⁷. I "Klimatscenarioet" blir det årliga överskottet lägre till följd av högre elförbrukning. Den totala elproduktionen i "Klimatscenarioet" är klart högre än i "Basscenarioet", på grund av högre vindkraftsproduktion men också då högt elpris och högt koldioxidpris i detta scenario gör nyinvesteringar (och livstidsförlängningar) i kärnkraft lönsamma efter 2040. Även om båda scenarierna generellt karaktäriseras av ett årligt elöverskott i Sverige så kan nettoimporten under vissa perioder inom ett år vara betydande.

⁵ "Klimatscenarioet" ska inte förväxlas med de klimatscenarioer som SMHI analyserat i detta projekt, utan är ett scenario som analyserar det framtida energisystemet.

⁶ Hagberg M och Unger T. Energiforskrapport kommande.

⁷ Vi har antagit 60 års livslängd och att livstidsförlängningar bortom 60 års drifttid inte genomförs.

De två scenarierna utgör exempel på möjliga utvecklingar för det svenska elsystemet baserat på ett antal antaganden. Känsligheten i beräkningsutfallet kan vara stor. Produktionsutfallet för vindkraft hamnar exempelvis i spannet 50–90 TWh år 2040 beroende på antaganden om teknisk utveckling och framtida efterfrågan på el. När det gäller kärnkraft på lång sikt så är kostnadsantaganden för nyinvesteringar en viktig parameter som idag är behäftad med stora osäkerheter. Den politiska osäkerheten för kärnkraft är också avgörande. För kraftvärme är utvecklingen på elmarknaden av särskild betydelse – om inte elprisbildningen är tillräckligt gynnsam så väljer man bort kraftvärme till förmån för annan fjärrvärmeproduktion. När det gäller utvecklingen av solceller är stödsystemen betydelsefulla. För vattenkraften antas små förändringar i årsproduktionen (normalår). Här behöver de pågående miljötillståndprocesserna men även klimatförändringar beaktas. Förändringen i elsystemet medför sannolikt att vattenkraftens produktionsmönster förändras, vilket alltså inte framgår av Figur 2. Förutsättningarna för ett energislag påverkas även av antaganden för andra energislag.



Figur 2: Elproduktionen i Sverige i Basscenariot (till vänster) och i Klimatscenariot (till höger).

Den framtida elproduktionsmixens relevans för klimatförändringar

Det är först när man har en bild av det framtida energisystemet *och* det framtida klimatet som man kan bedöma den samlade effekten av klimatförändringar på energisystemet. Osäkerheterna för såväl klimatförändringarna som för det framtida energisystemets sammansättning är bitvis mycket stora, vilket måste beaktas. Om klimatförändringen väntas få stor betydelse för ett visst energislag men energislagets framtida roll tros vara begränsad så får just denna klimatsignal en relativt liten betydelse för systemet som helhet. Om å andra sidan ett energislag väntas få stor betydelse i den framtida energimixen samtidigt som klimatförändringar kan komma att få stor påverkan för just detta energislag då är sannolikt systemet som helhet relativt utsatt för just den klimatsignalen.

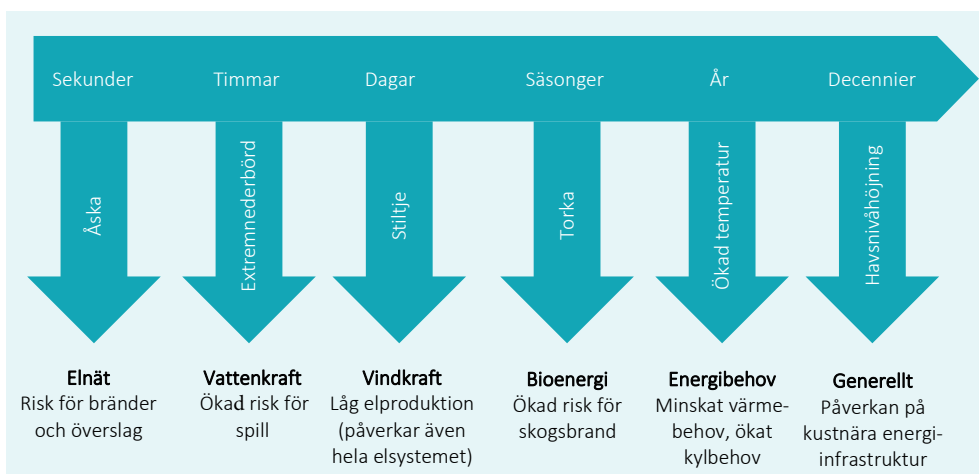
Baserat på våra modellberäkningar kan vi konstatera att variabel förnybar elproduktion kommer att få en betydligt större roll i den svenska och nordiska elproduktionen än idag. Detta är ett robust beräkningsresultat där osäkerheterna snarare handlar om hur snabbt utvecklingen går och hur omfattande utbyggnaden blir. Därför är kunskapen om klimatförändringens konsekvenser för framförallt vindkraft av stor systemrelevans. När det gäller vattenkraft så är det sannolikt att

dess relativa betydelse som *energi*resurs lär minska då utbyggnaden är mycket begränsad samtidigt som efterfrågan på el spås öka. Vattenkraftens betydelse som *effekt*- och *regler*resurs lär emellertid öka och det är mot den bakgrunden som klimateffekternas påverkan på vattenkraften måste ses. I analysen av vattenkraften har det också visat sig att klimateffektens inverkan på vattenkraften beror på hur vattenkraftverken kommer att köras i framtiden. För kärnkraftens del så har våra analyser visat att kraftslaget står väl rustat för att hantera ett föränderligt klimat. Ur ett strikt klimatförändringsperspektiv skulle man därför kunna argumentera för att kärnkraft är värdefullt i ett framtida elförsörjningsperspektiv. Kärnkraftens långsiktiga roll i det svenska och nordiska elsystemet kommer dock sannolikt att avgöras av andra faktorer.

Klimatförändringen påverkar energisystemet både genom plötsliga händelser och successiva förändringar

Klimatförändringen påverkar energisystemet på olika sätt beroende på om den innebär plötsliga händelser eller successiva förändringar. Här spelar alltså tidsaspekten stor roll, men också den geografiska dimensionen.

Klimat- och väderrelaterade händelser och förändringar har olika utbredning i såväl tid som rum. Figur 3 sammanfattar olika tidsskalor från sekunder (till exempel ett åskoväder) till decennier (till exempel förändrad havsnivå). Den geografiska aspekten, det vill säga hur klimatet förändras på olika platser, är också högst väsentlig för hur konsekvenserna av klimatförändringen.



Figur 3. Exempel på olika tidsskalor och olika väder- och klimatrelaterade effekter på energisystemet

Plötsliga klimatrelaterade händelser inträffar vid enstaka tillfällen och påverkar de anläggningar eller installationer som befinner sig i just det aktuella geografiska område där händelsen sker men kan också överföras till andra (närliggande) områden genom att infrastrukturen, exempelvis elnätet, påverkas. Detta kan exempelvis vara stormar, extremnederbörd, extrem värme eller kyla samt åskoväder. Påverkan på energisystemet av plötsliga händelser är i princip uteslutande av negativ karaktär och kan orsaka exempelvis störningar i elnätet, översvämmande anläggningar och infrastruktur samt extremt låga eller höga energibehov.

Höga temperaturer och samtidig torka kan leda till skogsbränder som lokalt kan påverka till exempel delar av elnätet, bioenergitillgången och tillgänglighet till energianläggningar. Plötsliga händelser kan orsaka stor påverkan i ett begränsat geografiskt område, medan intilliggande områden är i stort sett opåverkade. Plötsliga klimatrelaterade händelser, som extrema skyfall och stormar som på kort

⁸ Inspirerad av EEA report 01/2019 (Adaptation challenges and opportunities for the European energy system)

tid kan orsaka tillfälliga men betydande havsnivåhöjningar, inträffar till viss del redan i dagens klimat och exempelvis inom kärnkrafts- och vattenkraftbranschen finns högt ställda säkerhetskrav för att klara extremhändelser med mycket lång återkomsttid. Så länge vi noggrant försöker förstå hur denna typ av händelser kan ändras i ett framtida klimat och hur de kan påverka olika delar av energisystemet, bedöms de möjliga att hantera och åtgärda.

Många andra klimataktorer förändras successivt och har en mer utbredd spridning i tid och rum. Det gäller exempelvis förändringen av medeltemperatur, medelnederbörd, vegetationsperiodens längd och medelvind. Dessa successiva förändringar sker långsamt och påverkar i mångt och mycket resursbasen (biomassa, vattenkraft, vindkraft) och energibehovet (minskat värmebehov, ökat kylbehov). Konsekvenserna kan vara både positiva och negativa och kan också påverka konkurrensen mellan olika energislag.

Bland positiva konsekvenser av de mer långsamma klimataktörerna ses en potentiellt ökad tillgång till biobränslen genom ökad skogstillväxt och minskade snöskador. Ökad temperatur som minskar värmebehovet men ökar kylbehovet innebär både positiva och negativa konsekvenser. Minskat värmebehov innebär minskat behov av el- och värmeproduktion från primära råvaror, men samtidigt minskar fjärrvärmeunderlaget för kraftvärme vilket kan påverka den lokala elbalansen negativt. Dessutom visar analyserna i projektet att fjärrvärmeeffekten minskar mindre än fjärrvärmebehovet. Detta innebär att den installerade effekt som behövs kommer att nyttjas under färre timmar.

Slutligen är det viktigt att betona att den naturliga variationen i många fall är så pass stor att den kan övertrumfa klimatsignalen under år eller decennier. Det gör att förändringarna kan döljas, men också att förändringen kan bli större än förväntat. Detta behöver beaktas i riskarbetet.

Klimatrelaterade konsekvenser, risker och möjligheter varierar mellan olika energislag

Väder- och klimatrelaterade faktorer påverkar redan idag energisystemet i olika omfattning. Exempelvis är flera av de vanligaste orsakerna till korta elavbrott direkt eller indirekt väderrelaterade, den årliga vattenkraftsproduktionen varierar mellan torr- och våtår och energibehovet påverkas av temperatur, solinstrålning med mera. Klimatförändringarna för med sig olika konsekvenser för energisystemet – ökade risker, förändrade förutsättningar och nya möjligheter.

I Tabell 1 sammanfattas i stora drag tänkbara konsekvenser för de studerade energislagen av pågående och framtida klimatförändring. I bedömningen av storleken på risker och möjligheter behöver hänsyn tas såväl till hur troligt det är att en viss klimatförändring inträffar och hur omfattande konsekvensen kan förväntas bli. Sådana bedömningar har gjorts för de enskilda energislagen och redovisas i olika delrapporter som alla kan laddas ned från Energiforsks hemsida⁹.

Tabell 1. Övergripande sammanfattning av klimatförändringens konsekvenser för olika energislag och olika delar av systemet. Grå ruta innebär att denna del av respektive system inte ingått i analysen alternativt hanteras i annan del av projektet (t.ex. elnät). För fullständiga analyser, se respektive delrapport.

	Relevanta klimatfaktorer (urval)	Energikälla	Energianläggning	Distribution	Energianvändning
Vattenkraft	Nederbörd, temperatur	Förändrad nederbörd & temperatur → förändrade tillrinningsmönster	Förändrad potential för elproduktion Påverkan på lagringskapacitet		
Vindkraft	Vind, temperatur, nederbörd, brandrisk	Oförändrad medelvind Ökad brandrisk södra Sverige	Minskad isbildning södra SE, ökad isbildning norra SE, brandrisk södra SE, minskad is till havs	Ev. risk för översvämning av interna elnät (IKN)	
Kärnkraft	Åska, havsvatten-temperatur		Minskad elverkningsgrad. Igensättning av kylvattenintag av marina organismer	Överslag av interna eller externa elnät pga åska	
Bioenergi	Temperatur, vegetationsperiodens längd, nederbörd, vind	Längre växtperiod, ökad tillväxt, förändrad fuktighet, mindre tjäle, brandrisk, skadedjur	Förändrad uttagsmöjlighet, lagringsbehov, ökat utbud, ojämn tillgång		
FV/FK ¹⁰	Temperatur, nederbörd, fukt	Ev. ökad brandrisk i biobränslelager	Minskad fjärrvärme- och elproduktion, ökad fjärrkylproduktion	Ev. påverkan på ledningsnät	Minskat värmebehov, ökat kylbehov

⁹ www.energiforsk.se

¹⁰ FV = fjärrvärme, FK = fjärrkyla

Elnät	Is- och snö-förhållanden, temperatur, åska, kraftiga vindar			Minskad isbildning södra SE, ökad isbildning norra SE, åsköverslag, risk för brand södra SE	
-------	---	--	--	---	--

Klimatförändringen kommer alltså att innebära olika konsekvenser för energisystemet och dess ingående delar. Många av dessa konsekvenser kräver förberedelser och anpassningsåtgärder. Om målen i Parisavtalet nås om att begränsa uppvärmningen till en bit under 2 grader är bedömningen i projektet att dessa konsekvenser ändå är hanterbara. Omställningen till ett klimatneutralt samhälle med alla de förändringar som den för med sig bedöms medföra betydligt större utmaningar för energisystemet.

För vissa energislag är påverkan från klimatförändringen signifikant, för andra är övriga omvärldsfaktorer mer avgörande

För att få en känsla för hur stora konsekvenserna av klimatförändringen kan bli behöver den sättas i ett sammanhang där andra omvärldsfaktorer och den förväntade utvecklingen av energisystemet också beaktas. För fjärrvärmen bedöms konsekvenserna av klimatförändringen kunna bli betydande. Även vattenkraften kan påverkas, men andra faktorer är troligen än mer avgörande. För kärnkraften bedöms andra omvärldsfaktorer påverka betydligt mer.

Det är tydligt att klimatförändringen kommer att påverka energisystemet. Så länge den globala temperaturökningen begränsas till väl under 2 grader är dock andra omvärldsfaktorer ofta minst lika avgörande för förutsättningarna och utvecklingen av enskilda energislag och energisystemet. Även om detta projekt har fokuserat på inverkan av klimatförändringen, gör vi här ett försök att sätta dessa konsekvenser i relation till andra omvärldsfaktorer. I Tabell 2 sammanfattas påverkan på olika energislag av klimatförändringen och andra omvärldsfaktorer.

Tabell 2. Övergripande sammanfattning av påverkan på olika energislag av klimatförändringen och andra (omvärlds)faktorer i tidsperspektivet 20 år från nu. Bedömningen är kvalitativ och kan inte jämföras mellan de olika energislagen.

	Sammanvägd påverkan från klimatförändringar	Andra relevanta (omvärlds)faktorer
Vattenkraft	Medel → stor	Mer variabel kraft och ökad elektrifiering → förändrad roll för vattenkraften Ökade miljökrav
Vindkraft	Liten (men stor osäkerhet kring framtida vindklimat) ¹¹	Förväntad kraftig utbyggnad och större roll i framtida elsystem Acceptans och tillståndsprocesser
Kärnkraft	Liten	Politik, teknikutveckling och den framtida elmarknadens värdering av elenergi, planerbar effekt och stödtjänster
Bioenergi	Medel	Konkurrens om bioråvara från andra sektorer Synen på biomassans hållbarhet
Fjärrvärme/ fjärrkyla	Stor	Befolkningsutveckling Energieffektivisering Val av uppvärmningslösningar
Elnät	Medel → stor	Utveckling av elsystemet (ökat elbehov och förändrad elproduktion) avgör behov av nyinvesteringar i elnätet Implementering av åtgärder vid reinvesteringar

¹¹ I ett nytt just påbörjat forskningsprojekt kommer SMHI, Chalmers, KTH, Profu och Energiforsk fördjupa kunskapen kring framtida vindklimat och påverkan på vindkraften.

Vattenkraften påverkas redan av klimatförändringen, men andra omvärldsfaktorer bedöms vara helt avgörande för den framtida omfattningen av denna påverkan. I ett framtida elsystem med kraftigt ökad efterfrågan på el och en hög andel variabel kraft (främst vindkraft) kommer vattenkraftens reglerförmåga behövas i större utsträckning. Dessutom kommer elpriserna sannolikt att variera mer i ett sådant elsystem. Även om tillrinningen ökar till de flesta magasinerna är det inte säkert att det leder till ökad elproduktion. Vattnet kanske istället behöver sparas till situationer då reglerkapacitet behövs. Låga elpriser i kombination med höga flöden kan också innebära att vatten spills istället för att användas för elproduktion. Påverkan av klimatförändringen beror således på vattenkraftens roll och värde i framtida elsystem.

Vindkraften bedöms inte påverkas av klimatförändringen i någon nämnvärd utsträckning, men då det råder stora osäkerheter i hur vindklimatet kommer att utvecklas behövs mer forskning. Eftersom utbyggnaden förväntas öka kraftigt bör det finnas möjlighet att anpassa utbyggnaden efter eventuellt förändrade vindklimat. Ett område där det idag saknas kunskap handlar om huruvida det blir vanligare eller inte med långvariga perioder med antingen stiltje eller mycket kraftig vind över stora geografiska områden samtidigt. Detta påverkar vindkraftsproduktionen och hela elsystemet i mycket stor utsträckning. Två ytterligare omvärldsfaktorer som har och fortsatt kommer att spela en stor roll för vindkraftsutbyggnaden är acceptans och tillståndprocesser.

Kärnkraften bedöms mycket robust och väl rustad för klimatförändringen. Detta är resultat av ett gediget säkerhetsarbete inom branschen som ytterligare stärkts efter olyckan i Fukushima 2011. Säkerheten bedöms alltså inte påverkas av klimatförändringen. Driften kan i mindre utsträckning påverkas genom exempelvis åsköverslag och högre havsvattentemperatur, som i sin tur kan innebära lägre elverkningsgrad och störningar från marina organismer. Politik, teknikutveckling och den framtida elmarknadens värdering av elenergi, planerbar effekt och stödtjänster bedöms ha betydligt större påverkan på kärnkraftens utveckling än klimatförändringen.

Bioenergi från skogen kan komma att påverkas i både positiv och negativ bemärkelse av klimatförändringen. Storleken är svår att kvantifiera eftersom påverkan på bioenergisektorn främst är indirekt (klimatförändringarna har en direkt påverkan på skogen, därefter skogsindustrin och sedan bioenergisektorn). Mycket tyder på att klimatförändringen leder till ett ökat utbud av biobränslen, men en mer ojämn tillförsel. Även om klimatförändringen påverkar bioenergisektorn är den förväntat kraftigt ökade efterfrågan på biomassa för olika ändamål sannolikt av än större betydelse. Förändrad syn på biomassans hållbarhet och roll i klimatarbetet är en annan mycket viktig faktor som kan komma att få betydelse för bioenergisektorn.

Fjärrvärmesektorn bedöms påverkas signifikant av klimatförändringen genom det tydligt minskade värmebehovet då vintrarna blir mildare och säsongen kortare. Det innebär också minskad potential för kraftvärmeproduktion. Samtidigt kan efterfrågan på fjärrkyla öka. Andra omvärldsfaktorer som också har stor betydelse för fjärrvärme- och fjärrkylasektorn är befolkningsutveckling,

energieffektivisering, val av uppvärmningsalternativ samt tillgång till och val av kylningsalternativ till byggnader.

Elnätet påverkas redan idag av väder- och klimatrelaterade faktorer, såsom åska och stormar. Den fortsatta klimatförändringen förväntas främst innebära negativa konsekvenser för elnätet, möjligen med undantag för minskad isbildning i södra Sverige. Många åtgärder har redan vidtagits för att vädersäkra elnätet, men det finns fortfarande en hel del äldre installationer främst i lokal- och regionnät. Åska blir sannolikt med frekvent förekommande i ett varmare klimat. Stamnätet bedöms vara robust för åska, men konsekvenserna vid åsknedslag i stamnätet kan bli stora. Det beror på komplexiteten i elnätet där olika spänningsnivåer är sammankopplade med varandra. Ett åsknedslag i stamnätet kan fortplantas ned i region- och lokalnät så att ett fel slutligen kan uppstå där istället. Därmed kan exempelvis ett avbrott eller en brand uppstå på en annan plats relativt långt ifrån den plats där åsknedslaget inträffade.

Utformning vid nyinvesteringar i elnät samt implementeringen av åtgärder vid reinvesteringar i befintliga installationer kommer att avgöra hur känsligt elnätet blir för klimatförändringar. I projektet har klimatförändringens konsekvenser bedömts för de olika energislagen. Elnätet binder samman alla övriga kraftslag. I projektet har det flertalet gånger konstaterats att så länge elnätet är tillgängligt och är tillräckligt utbyggt så är de flesta väder- och klimatrelaterade händelserna hanterbara för energislagen i övrigt. Det har också framkommit att de konsekvenser som bedöms ha störst påverkan på elnätet är plötsliga. Det betyder att övriga energislag riskerar att påverkas indirekt av dessa plötsliga händelser vilket bör uppmärksammas i riskarbetet. En annan faktor är att viss förändring i klimatet kan döljas av naturliga variationer. Till exempel är det troligt att nederbörden ökar. Dock är den naturliga variationen så pass stor att den kan övertrumfa klimatsignalen under flera år. Även detta behöver beaktas i riskarbetet.

Klimatförändringen påverkar produktionspotentialen för både el och fjärrvärme

Klimatförändringen kommer att påverka förutsättningarna för både el- och fjärrvärmeproduktion. Hur stora förändringarna till slut blir beror även på en mängd andra faktorer, som till exempel konkurrensen om energiresurser med andra tillämpningar och hur behovet av el och fjärrvärme utvecklas. De energislag där produktionspotentialen bedöms kunna påverkas mest av klimatförändringen är vattenkraften, fjärrvärmen, inklusive kraftvärme, och bioenergin.

Tabell 3 sammanfattar kvalitativt möjliga förändringar i produktionspotential för olika energislag som följd av enbart klimatförändringen.

Tabell 3. Tänkbara förändringar i produktionspotential till följd av klimatförändringen (↑ = potentiellt ökad produktionspotential, ↓ = potentiellt minskad produktionspotential, likhetstecken = oförändrat). Produktionspotentialen kan förstas även påverkas av plötsliga väder- och klimatrelaterade störningar i driften och leveranskedjor. Detta är inte beaktat i tabellen nedan.

Vattenkraft ↑/↓	Ökad tillrinning i norra Sverige → möjlig produktionsökning Minskad tillrinning i delar av södra Sverige → minskad produktionspotential	Osäkert om ökad tillrinning kan användas för elproduktion. Skärpta krav på miljöanpassningsåtgärder, ökat behov av reglerkapacitet m.m. kan motverka.
Vindkraft =	Obetydliga förändringar i vindklimat → liten påverkan på vindkraften	Förväntad kraftig utbyggnad innebär att små förändringar i vindklimat kan ge stor påverkan på total elproduktion. Utbyggnaden kan anpassas vid nya insikter om vindklimatet.
Kärnkraft = / ↓	Ökad havsvattentemperatur → minskad elverkningsgrad	Om tillgängliga åtgärder vidtas blir inte påverkan nämnvärd.
Bioenergi ↑/↓	Ökad skogstillväxt → troligen ökad bioenergipotential Torrare marker, försvårade uttag → minskar ökningen Skadedjur, bränder → kan bidra både till ökad och minskad bioenergipotential	Bioenergipotentialen är indirekt beroende av klimatförändringen (först påverkas skogen). Andra omvärldsfaktorer, t.ex. ökad konkurrens om biomassa, sannolikt mer avgörande.
Fjärrvärme, kraftvärme ↓	Ökad temperatur → minskad efterfrågan på fjärrvärme → minskad elproduktion i kraftvärme	Effektbehovet minskar i mindre grad än värmebehovet → minskad utnyttjningstid för spetskapacitet. Andra faktorer spelar in för fjärr-/kraftvärmens utveckling (lokalt eleffektbehov, utbyggnad m.m.).
Fjärrkyla ↑	Ökad temperatur → potentiellt ökad efterfrågan på fjärrkyla	Andra kylåtgärder och investeringar i fjärrkyla avgörande för den praktiska potentialen.
Solel = / ↓	Viss ökning i molnighet och mindre mängd infallande kortvågsstrålning → påverkar solelproduktionen negativt. Ökad temperatur kan också påverka negativt.	Elproduktionen är främst beroende av utbyggnaden av solel och mindre av klimatförändringen.

Produktionspotentialen för vissa energislag är redan idag tydligt beroende av väder- och klimatrelaterade faktorer. Detta gäller främst förnybara energislag som till exempel vattenkraft, vindkraft och solceller. Även små förändringar i klimatet kan påverka produktionspotentialen från dessa, allt annat lika. Elproduktion från kärnkraft kan minska vid ökad havsvattentemperatur, allt annat lika. Det finns dock åtgärder som kan vidtas och därmed bedöms inte elproduktionen från kärnkraft påverkas nämnvärt av klimatförändringar. Slutligen, ett varmare klimat gynnar inte investeringar i kraftvärme eftersom värmeunderlaget minskar. Samtidigt behövs kraftvärme och annan lokalt styrbar effekt alltmer eftersom elnätutbyggnaden har svårt att hålla samma takt som tillväxten i våra städer.

Åtgärder för klimatanpassning bör beaktas vid ny- och reinvesteringar

En stor del av energisystemet står inför behov av reinvesteringar och nyinvesteringar. Detta möjliggör att samtidigt ta höjd för konsekvenser av klimatförändringen genom att vidta olika åtgärder. För anläggningar där klimatförändringen kommer att minska utnyttningstiden försvagas dock incitamenten för investeringar.

I projektet har en mängd olika åtgärder identifierats för att minska energisystemets sårbarhet för klimatförändringen samt tillvarata eventuella möjligheter. Tabell 4 nedan sammanfattar några av dessa åtgärder inklusive en bedömning av vilka aktörer som i första hand bedöms beröras av föreslagna åtgärder. Listan ska ses som exempel på åtgärder och aktörer – ingen djupare analys har varit möjlig inom ramen för projektet.

Tabell 4. Exempel på åtgärder för att minska sårbarhet för klimatförändringen samt tillvarata eventuella möjligheter. För detaljer hänvisas till respektive delrapport. F&U = forskning och utveckling.

Åtgärd	Typ av åtgärd	Del av energisystem	Berörda aktörer (exempel)
Förbättrade prognoser för tillrinning och elpriser	Prognoser m.m.	Vattenkraft	F&U, energibransch
Utvecklad produktions- och vattenplanering	Prognoser m.m.	Vattenkraft	Energibransch
Effekthöjning i vissa kraftverk	Fysisk	Vattenkraft	Energibransch
Lokala hybridsystem för snabb reglering (t.ex. batterier)	Fysisk	Vattenkraft	Energibransch
Mer flexibla miljötillstånd	Lagstiftning m.m.	Vattenkraft	Övriga
Ökad kunskap om framtida vindklimat – både medelvind och extremer	Ökad kunskap	Vindkraft	F&U
Förbättrad iskartering, samt ökad kunskap om när och var isbildning sker	Ökad kunskap, prognoser m.m.	Vindkraft, elnät	F&U, energibransch
System för detektering av påbörjad isbildning	Fysisk	Vindkraft	Energibransch
System för avisning och prevention	Fysisk	Vindkraft	Energibransch
Ökad kunskap om framtida åskklimat (frekvens och amplitud)	Ökad kunskap	Vindkraft, elnät, kärnkraft	F&U
Förbättrade prognoser för åska	Prognoser m.m.	Vindkraft, elnät, kärnkraft	F&U, energibransch
Ökat djup för kylvattenintag	Fysisk	Kärnkraft	Energibransch
Utvecklad och anpassad skogsskötsel	Fysisk	Bioenergi	Övriga
Anpassning av trädslagsval	Fysisk	Bioenergi	Övriga
Nyttja möjlig ökning i bioenergipotential	Fysisk	Bioenergi	Energibransch
Ökad kunskap om framtida risk för utbredd torka	Ökad kunskap	Bioenergi	F&U
Utvecklad och förbättrad hantering av skogsbränder	Fysisk	Bioenergi, elnät	Övriga
Förbättrade brandgator och skogsbilvägar för släckningsverksamhet	Fysisk	Bioenergi, elnät	Övriga
Ökad kunskap om framtida risk kring stormar, inkl. stormar i kombination med t.ex. minskad tjäle	Ökad kunskap	Bioenergi, elnät	F&U
Förbättrade prognosverktyg för värmebehov och värmeeffekt	Prognoser m.m.	Fjärrvärme/fjärrkyla	F&U, energibransch
Säsongslager för fjärrvärme	Fysisk	Fjärrvärme/fjärrkyla	Energibransch
Absorptionskyla	Fysisk	Fjärrvärme/fjärrkyla	Energibransch
Utvecklade prismodeller	Prognoser m.m.	Fjärrvärme/fjärrkyla	Energibransch
Effektstyrning och flexibilitetslösningar	Fysisk	Fjärrvärme/fjärrkyla	Energibransch
Beakta klimatförändringar i dimensionering av nya elledningar	Prognoser m.m.	Elnät	Energibransch
Fortsatt nedgrävning av luftledningar	Fysisk	Elnät	Energibransch

Stora behov av ny- och reinvesteringar ger möjligheter att samtidigt ta höjd för klimatförändringen, men incitamenten för investeringar i anläggningar med låg utnyttjningstid försvagas

Den pågående och förväntat ökande elektrifieringen av samhället innebär att energisystemet (framförallt elsystemet) står inför stora förändringar. För att möta framtida elbehov förväntas en kraftig expansion av framförallt vindkraften, vilket i sin tur innebär en nödvändig och kraftfull utbyggnad av elnätinfrastrukturen. Nya miljövillkor och ökat behov av effekttreglering förändrar även vattenkraftens förutsättningar. Till detta kommer att kraftvärmepotentialen kommer att minska i ett varmare klimat. Underlaget till elbranschens färdplan för fossilfri elproduktion har visat på ett mycket stort investeringsbehov i såväl elproduktion som elöverföring.¹² Investeringarna i elproduktion domineras av vattenkraft och vindkraft. Reinvesteringar (t.ex. effekthöjning i vattenkraften) bedöms utgöra knappt hälften av kostnaderna och resterande del är nyinvesteringar (t.ex. nybyggnation av vindkraft). För elöverföring bedöms majoriteten av investeringarna utgöras av reinvesteringar i befintliga nät.

De kraftfulla investeringar som kommer att behövas i elsystemet ger nu möjlighet att samtidigt ta höjd för förväntade konsekvenser av klimatförändringen och vidta exempelvis de åtgärder som beskrivits ovan.

Det minskade värmeunderlaget för fjärr- och kraftvärme som följd av varmare klimat, kan göra investeringar i lösningar som möjliggör största möjliga utnyttjande av befintliga anläggningar olönsamma. Detta kan exempelvis avse investeringar i säsongslager och absorptionskyla. Projektets resultat indikerar att värmebehovet minskar mer än värmeeffektbehovet. Därmed försvagar klimatförändringen incitamenten för investeringar i anläggningar med låg utnyttjningstid såsom spetslast. I ett klimatneutralt samhälle kan fossilfri kraftvärme komma ha en viktig roll, speciellt i tillväxtregioner där behovet av lokalt styrbar eleffekt är stort. Men för att säkerställa styrbar eleffekt lär det krävas nya typer av styrmedel och incitament.

¹² Bruce J, Krönert F, Obel F, Yuen K, Wiesner E, Dyab L, Greger K, Lidström E, Sköldberg H, Rydén B, Unger T, Gode J, Nilsson J. "Färdplan fossilfri el analysunderlag – En analys av scenarier med en kraftigt ökad elanvändning". NEPP rapport. Augusti 2019

Bättre kunskapsunderlag behövs för att kunna kvantifiera effekter och bidra till klimatanpassningsåtgärder

Projektet har pekat på att klimatförändringen är tydlig och att fortsatta förändringar kommer få vidare konsekvenser för energisektorn i Sverige. Det behövs dock bättre och uppdaterade kunskapsunderlag för att säkrare kunna kvantifiera effekterna av klimatförändringen på energisystemets olika delar. På så sätt förbättras också underlaget för klimatanpassningsåtgärder.

Klimatet har förändrats och kommer att fortsätta att förändras. Detta kommer på olika sätt påverka alla delar av samhället. Även om det är tydligt att det svenska energisystemet kommer att påverkas av klimatförändringen, finns fortfarande kunskapsluckor. Ett resultat från detta projekt är de uppenbara kunskapsluckorna i underlag vad gäller att kunna kvantifiera effekterna på produktionspotentialerna av fortsatt klimatförändring.

Projektet har förlitat sig på redan befintligt material. För att kvantifiera effekterna av klimatförändringen på vissa energislag kan det behövas data som inte finns att tillgå från standardsimuleringar med klimatmodeller. Exempel på det är vindhastighet och -riktning på navhöjd för vindkraften. Detta går att beräkna i en klimatmodell, men sparas vanligtvis inte och finns då inte tillgängligt för konsekvensanalyser. Ett annat exempel är modellering av tillrinning för vattenkraften. För det krävs ytterligare modellering med hydrologiska modeller. Ett tredje exempel kan vara att identifiera och leta efter specifika väderhändelser, det vill säga att gå ett steg längre än de standardiserade index som använts i detta projekt. Det behövs även mer kunskap om framtida risk för stormar och särskilt i kombination med andra faktorer såsom tjäle.

Vidare finns det osäkerheter förknippade med vår allmänna förståelse av klimatsystemet. Till exempel hur förändringar i atmosfärens cirkulation (högtrycksblockeringar och lågtrycksbanor) påverkar vindklimatet i Europa; eller hur snöklimatet förändras när den kalla säsongen blir kortare, men nederbörden ökar. Det komplicerade samspelet mellan temperatur, nederbörd, markfukt och väderläge som utgör brandrisk behöver också studeras mer. För att svara på det krävs specifika studier av just det, delvis med globala klimatmodeller.

Till sist kan bättre klimatmodeller ge mer detaljerad och tillförlitlig information. Modeller med högre upplösning ger mer detaljer och beskriver klimatologiska processer bättre. Modellering av extrem nederbörd förbättras tydligt av högre upplösning. Upplösningen i dagens regionala klimatmodeller är fortfarande inte tillräcklig för att på ett bra sätt representera de kraftigaste skyfallen och åskväden. Biasjustering (justering av modelldata med hjälp av observationer) reducerar systematiska fel, vilket ger beräkningar av över- och underskridandet av tröskelvärden mer tillförlitliga. Större ensembler möjliggör bättre beräkningar av signifikans och extremer.

Klimatförändringen är bara en av alla de omvärldsfaktorer som förändrar förutsättningarna för vattenkraften

Klimatförändringens direkta påverkan på vattenkraften handlar främst om hur förändringar i nederbörd och temperatur leder till en ändrad tillrinning och därmed nya förutsättningar för elproduktion och reglerförmåga på olika tidsskalor. I jämförelse med andra energislag är det för vattenkraften svårare att dra generella slutsatser om klimatförändringens konsekvenser. Detta beror dels på de enskilda kraftverkens och dammarnas mycket platsspecifika förutsättningar, dels på att vattenkraften är starkt beroende av och påverkat av resten av elsystemet.

Nederbörd och temperatur de viktigaste klimatfaktorerna för vattenkraften

Nederbörd och temperatur är de två viktigaste väder- och klimatrelaterade faktorerna ur ett vattenkraftsperspektiv. Dessa hänger delvis ihop vad gäller påverkan på vattenkraften eftersom temperaturen avgör om nederbörden faller som regn eller snö, men också om det uppstår isbildning. Temperaturen har också stor inverkan på avdunstningen. Projektets analyser har omfattat de potentiella konsekvenserna av en ökad årsnederbörd, en förändrad årsdynamik, extrem nederbörd och skyfall, konsekvenser av torrperioder, ökade vattentemperaturer och isbildning. Mycket översiktligt har också möjliga effekter av skogsbränder, stormar och åska diskuterats. En viktig avgränsning är att detta projekt har fått förlita sig på data från redan befintliga atmosfäriska klimatmodeller, varför arbetsgruppen för vattenkraft har utgått från nederbörd som ett mått för att indikera förändrad tillrinning i ett framtida klimat. Denna begränsning betyder att inga kvantifieringar av produktionspotential i ett framtida klimat har kunnat göras samt att mer säkra slutsatser om konsekvenser kopplat till framtida tillrinning har varit svårare att dra.

Klimatförändringens påverkan beror i stor utsträckning på vattenkraftens framtida värde och roll i energisystemet

Vattenkraftens roll i det svenska energisystemet har under lång tid varit relativt oförändrad. Detta är på väg att ändras. En kombination av flera omvärldsfaktorer bedöms få stor påverkan på vattenkraftens förutsättningar och funktion i det framtida elsystemet. Det handlar bland annat om omställningen av energisystemet med en allt större andel vindkraft och solel, samtidigt som behov av el förväntas öka kraftigt inom transport- och industrisektorn, påskyndat av de svenska klimatmålen. Vilka konsekvenser klimatförändringarna får för vattenkraftens produktionsförutsättningar beror därför till stor del på vilken roll och vilket värde vattenkraften kommer att spela i det framtida energisystemet.

Utöver svårigheterna att bedöma klimatförändringens påverkan på vattenkraften frikopplat från utvecklingen av el- och energisystemet, liksom de många omvärldsfaktorer som spelar in i den utvecklingen, är det också viktigt att lyfta det faktum att konsekvenserna av ett förändrat klimat för vattenkraften i hög grad är plats- och anläggningsspecifika. Detta gör att konsekvenserna av en förändring beror på

faktorer som till exempel typ av kraftverk, dammanläggningens utformning och dimensionering, magasinets egenskaper och älvsystemets struktur samt var i landet man befinner sig. En ytterligare viktig aspekt med stor påverkan på vattenkraftens framtida förutsättningar är den förestående omprövningen av Sveriges alla vattenkraftverk i syfte att uppnå moderna miljövillkor. Prövningsprocessen beräknas pågå under de kommande två decennierna och kommer att innebära krav på nya miljöanpassningsåtgärder för vattenkraftsproducenter och dammägare. Hur detta sammantaget påverkar vattenkraftens framtida roll är i dagsläget svårbedömt och kräver fördjupade analyser både av klimatförändringarnas konsekvenser för vattenkraften och hur energisystemets utveckling i stort påverkar det framtida värdet av vattenkraften. De nya miljökraven sätter därvid ramarna.

Förändrade säsongsmönster för nederbörd och tillrinning innebär förändringar för vattenkraften

Vattenkraften som kraftslag är i sig anpassningsbar och mycket van att hantera variationer och förändringar. Mot bakgrund av nämnda förändringar på systemnivå, finns på produktionssidan en viss osäkerhet om vad vattenkraften kommer behöva kunna hantera och vilka anpassningar som krävs. Redan idag ser man en förändring i säsongsmönstret i nederbörd och tillrinning, och vattenkraften kommer att behöva anpassa sig till en fortsatt förändring av årsdynamiken mot ökade höstflöden och en något mindre men utdragen vårflod. En mer utjämnad variation under året och en ökad nederbörd totalt sett över hela året, skulle teoretiskt kunna innebära möjligheter till ökad elproduktion. De verkliga konsekvenserna beror dock både på de platsspecifika förutsättningarna samt värdet för vattenkraften i energisystemet vid den tidpunkt som tillrinningen sker. Flera tidigare studier har dragit slutsatsen att klimatförändringar bör innebära ökad produktionspotential för vattenkraften i Sverige och Norden¹³. I detta projekt har vi inte kunnat styrka att denna slutsats är robust eftersom omvärldsförutsättningarna för vattenkraften ser helt annorlunda ut idag och framöver.

Fallstudie av förändrad tillrinning i Ljungan

Inom ramen för projektet genomfördes en mindre fallstudie av förändrad tillrinning av Ljungan med hjälp av Vattenfall R&D och hydrologer från SMHI. Syftet var att analysera påverkan på vattenkraftsproduktionen i Ljungans älvsystem av en förändrad tillrinning i olika klimatscenarier med hjälp av en modell för produktionsoptimering. Fallstudien omfattade tre hydrologiska typår (1 okt-30 sept.) – torrår, medelvått år samt våttår, i tre klimatscenarier (+1,5, +2 samt +3 graders global uppvärmning).

Modellanalysen visade på allmänt ökande tillrinningsenergi vid ökad global medeltemperatur. Studien indikerade vidare en spetsigare och



¹³ Exempelvis Elforsk rapport 07:39 och det nordiska projektet Climate and Energy Systems från 2012.

tidigarelagd vårflod i fjällnära stationer i de högre temperaturscenarierna. I de mer nedströms liggande stationerna såg dock årscykeln ut att bli plattare. Vanligtvis antas ett varmare klimat föra med sig en mer utjämnad årscykel, så resultaten för de fjällnära stationerna var möjligen lite oväntade.

En spetsigare vårflod i de fjällnära stationerna kan potentiellt innebära problem för systemet vad gäller flexibilitetsförmåga och vattendomar. Det nya forskningsprojektet som nämnts ovan kan förhoppningsvis ge fler svar kring detta.

Kunskapen behöver fördjupas om vattenkraftens förändrade förutsättningar och framtida roll

Mer kunskap behövs om vattenkraftens förutsättningar i ett framtida elsystem och förändrat klimat. Det handlar exempelvis om att öka kunskapen om hur klimatiförändringar och andra omvärldsfaktorer påverkar de hydrologiska förutsättningarna för vattenkraften, produktionspotentialen på stationsnivå och körmönstren för vattenkraften. Dessa forskningsbehov identifierades redan under projektets genomförande och har resulterat i ett nytt forskningsprojekt¹⁴ och ytterligare en ansökan som inväntar besked om finansiering.

¹⁴ Projektet heter "Klimatiförändringarnas inverkan på vattenkraften" och genomförs av forskare från Chalmers, KTH, SMHI, Profu och Energiforsk. Mer information finns på Energiforsks hemsida.

Förändrade tillrinningsmönster för vattenkraften i kombination med nya mönster i efterfrågan på el kan innebära ett ökat värde på solel

Klimatförändringen kan komma att öka värdet för solel. Det beror främst på två troliga konsekvenser av klimatförändringen. Det första är en tänkbar förskjutning av tillrinningsmönster och därmed vattenkraftproduktion mot vintertid. Det andra är ett troligt minskat elbehov för uppvärmning vintertid tillsammans med ökat elbehov för kylning sommartid.

I Sverige är vi vana vid högre elpriser vintertid än sommartid. Ett varmare klimat kan förväntas innebära att värdet på el på sommaren ökar jämfört med värdet av el på vintern. Det finns flera skäl till detta. För det första så innebär ett varmare klimat en lägre efterfrågan på el för uppvärmningsändamål under vintern, samtidigt som efterfrågan på el för kyla sommartid ökar. Men det är inte bara efterfrågesidan som påverkas av ett varmare klimat. Även tillrinningen till vattenkraftmagasinen förväntas påverkas. Utöver en ökad nederbörd generellt på årsbasis bedöms även årsskillnaderna i nederbörden, och tillrinningen, förändras i ett varmare klimat jämfört idag. Ökad nederbörd under hösten ger ökade höstflöden samtidigt som mer nederbörd faller i form av regn än snö under vintern. Varmare vintrar och mindre snölager ger dessutom en mindre och tidigare lagrad vårflood.

Sammantaget kan detta innebära att en större del av vattenkraftresursen finns tillgänglig för elsystemet vintertid. Klimatförändringens påverkan på efterfrågan på el och på tillgången på vattenkraft minskar skillnaden i värde av el på sommaren och vintern, vilket innebär att värdet av solel i förhållande till andra kraftslag kan komma att öka. Detta framgår av ett examensarbete som genomförts inom ramen för projektet¹⁵.

¹⁵ Stjärnberg F. The impact of climate change on the cost-optimal electricity system composition in Sweden. Examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola, 2020.

Sannolikt små förändringar i vindklimat, men en kraftig vindkraftsutbyggnad gör att små förändringar kan ge stor påverkan

För vindkraften förväntas klimatiförändringen få relativt små konsekvenser eftersom den viktigaste parametern, vindhastighet, bedöms påverkas obetydligt. Resultaten av simuleringarna är dock osäkra och bör studeras vidare.¹⁶ Då vindkraftsutbyggnaden är under kraftig expansion kommer den sannolikt utgöra en stor andel av den totala elproduktionen framgent. Alltså kan relativt små förändringar i vindklimatet ändå få stor betydelse för elsystemet.

Förändrad isbildning ger både utmaningar och möjligheter för vindkraften

Förutsättningarna för isbildning kommer att förändras vid ett varmare klimat. Detta är den tydligaste klimatsignal (som påverkar vindkraften) som identifierats i projektet. Problematiken med isbildning under vintersäsongen kommer att öka i norra och delar av mellersta Sverige medan risken för isbildning minskar i södra Sverige. Ökad isbildning i norra och delar av mellersta Sverige bedöms få en stor negativ påverkan på vindkraften, vilket behöver beaktas av vindkraftsbranschen.

Flera potentiella konsekvenser av klimatiförändringen bör man förbereda sig för även om det är mindre troligt att dessa inträffar

Exempel på konsekvenser som vindkraftsbranschen behöver förbereda sig för är förändrad turbulens, vindriktning och förekomst av perioder med utbredd stiltje. Även om SMHI:s analyser av stiltje visar på obetydliga förändringar, finns stora osäkerheter och perioder med stiltje ökar risk för effektbrist i systemet, vilket kan påverka vindkraftens lönsamhet. Ur ett systemperspektiv är därför ökad kunskap om förekomst av stiltjeperioder i ett framtida klimat viktigt, särskilt om dessa sammanfaller med perioder med stort elbehov.

Det finns en ganska stor grad av sammanlagring av elproduktionen om man sprider vindkraften geografiskt

Projektet har visat att det finns en hög sammanlagringseffekt redan på ganska korta avstånd. Med detta menas att det inte blåser på samma sätt på olika platser samtidigt.¹⁷

Detta är positivt gällande utnyttjandet av vindkraft, till exempel gör det att risken med stiltje minskar om man sprider vindkraften geografiskt, men då krävs det också att det finns tillräckligt med elöverföringskapacitet i stamnätet. Trots god sammanlagring inträffar dock perioder med väldigt lite vind över hela norra Europa samtidigt. Även om detta inträffar sällan kan det påverka energisystemet i stor utsträckning.

¹⁶ En studie som omfattar klimatsimuleringar med hög geografisk upplösning speciellt fokuserad på vindkraft startar under våren 2021 vilken förhoppningsvis kan ge säkrare och mer detaljerade resultat.

¹⁷ Enligt fördjupningsstudie genomförd i projektet (kommande publicering).

Minskad förekomst av havsis kan gynna utvecklingen av havsbaserad vindkraft i Östersjön

Ett normalt år idag är den maximala utbredningen av is i Östersjön ned mot Norrtälje. En mild vinter täcker havsisen endast ned till Örnsköldsvik och en svår isvinter täcks i princip hela Östersjön.¹⁸ Isutbredning i Bottniska viken försvårar idag utbyggnaden av vindkraft och en minskad isutbredning här skulle öka möjligheterna för havsbaserad vindkraft. Mindre havsis kan dessutom leda till gynnsammare vindförhållanden.

Vindkraften bedöms ha en teknikutveckling som kommer att adressera flera av de potentiella konsekvenserna av klimatförändringen

Den pågående expansionen av vindkraften i Sverige och många andra länder driver också en teknikutveckling. Utvecklingsarbete pågår bland annat kring förbättrade styrsystem, till exempel optimerad parkstyrning för att öka elproduktion och minska laster. Förbättrad kraftelektronik som förbättrar fuktskyddet gör att vindkraftverk kan tåla ett tuffare klimat. Den teknikutveckling som sker är främst till för att förbättra lönsamheten utifrån befintliga förhållanden och för att kunna bygga ny vindkraft på platser med tuffa förhållanden. Denna teknikutveckling bedöms även vara positiv för att minska negativa konsekvenser av klimatförändringen.

¹⁸ www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/is-till-havs

Kärnkraften är robust mot klimatförändringar och klimatsignalen har försumbar betydelse jämfört med andra omvärldsfaktorer

I allt väsentligt bedöms den nordiska kärnkraften vara väl rustad mot konsekvenser av den pågående klimatförändringen, åtminstone under vad som kan betecknas som en mycket lång och överblickbar tid. Väderrelaterade händelser som påverkar driften har dock förekommit och väntas inträffa även i framtiden. Klimatförändringen kan komma att bidra till ett ökat antal sådana händelser. Detta bedöms inte äventyra säkerheten över lag utan är väsentligen en fråga för driftsekonomi och leveranssäkerhet för elförsörjningen. De långsiktiga förutsättningarna för kärnkraften i Norden avgörs alltså inte av direkta konsekvenser av klimatförändringen utan bestäms av helt andra omvärldsfaktorer.

Ett klimatrobest kraftslag

Vår studie visar att den svenska och finska kärnkraften är väl rustade mot ett föränderligt klimat till följd av global uppvärmning. Det gäller i ett tidsperspektiv som spänner över de kommande decennierna och en bra bit bortom 2050-talet och det gäller givet de olika klimatscenarierna som vi analyserat här. Denna robusthet är en följd av den höga säkerhetsnivån som råder rent inom kärnkraftsverksamheten och som också är anpassad för att möta extrema väderhändelser. Dessa säkerhetsmarginaler bedöms i allt väsentligt vara tillräckliga för att hantera även ett klimat i förändring. De nyligen genomförda investeringarna för oberoende hårdkylning har ytterligare stärkt robustheten mot framtida extremväder. Klimateffekternas inverkan på extrema väderhändelser på mycket lång sikt är dock till stor del osäkra.

Tillståndshavarna, det vill säga de företag som har tillstånd att driva reaktorerna, är ålagda att ta hänsyn till ny kunskap inom bland annat klimatiforskningen i de återkommande helhetsbedömningarna ("Periodic Safety Reviews"; PSR) som görs i enlighet med kärntekniklagen och Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter. I det arbetet ska kärnkraftverken värdera hur säkerheten på anläggningen kan upprätthållas under en kommande 10-årsperiod.

Påverkan på driften

Även om kärnkraften är genomgående robust mot konsekvenser av klimatförändringen så är detta inte detsamma som att den är helt opåverkad. Väderhändelser har tidigare påverkat driften och tillgängligheten negativt även om det historiskt har varit i en mycket liten omfattning. Det finns dock indikationer på att klimatförändringen leder till att antalet väderrelaterade driftstörningar kan komma att öka i framtiden. Det gäller bland annat blixtnedslag som kan störa både det externa och det interna nätet, och ett varmare hav som dels i extrema fall kan leda till effektreducering (eller till och med tillfällig nedstängning), dels kan ge upphov till fler incidenter med marina organismer som i viss utsträckning kan sätta igen kylvattenintagen. När det gäller blixtnedslag så är

det framför allt kraften (energin) i nedslagen som är relevant för driften i ett kärnkraftverk, och inte antalet nedslag. Ett varmare hav inverkar också menligt på den termiska verkningsgraden och därmed på produktionen av el även om detta sett under ett helt år torde vara av relativt liten betydelse. Med tanke på att samtliga nordiska kärnkraftverk ligger vid kusterna så är även havsnivåökningen en faktor att beakta. Baserat på de studier vi har haft tillgång till här så ser detta inte ut fordra några extra förebyggande åtgärder fram till slutet av detta århundrade. Först då, och med utgångspunkt från ett klimatscenario med omfattande temperaturökning, kan det möjligen bli en fråga för de sydligare belägna reaktorerna om man vill ta höjd för extremväder med återkomsttider på i storleksordningen 10 000 år. Det blir då också en fråga om vilka säkerhetsmarginaler som är rimliga att utgå från. För de nordligare belägna kärnkraftverken (Forsmark och de finska verken) medför landhöjningen inte bara en motriktad utan även en starkare effekt än havsnivåökningen under lång tid. Den resulterande effekten på dessa breddgrader blir därmed en landhöjning under de närmaste decennierna.

Framför allt en ekonomisk fråga

Att hantera eventuella följder av ett klimat i förändring är för kärnkraftsägarna i mångt och mycket en ekonomisk fråga och för det omgivande elsystemet en fråga om leveranssäkerheten för el. Det handlar om att väga de negativa konsekvenserna av vissa driftstörningar eller effektreduceringar och de uteblivna intäkterna från elförsäljningen mot investeringar i åtgärder för att minimera sådana effekter. Ett exempel är försämrad kylning till följd av varmare hav som kan åtgärdas med investeringar i ökad värmeväxlarkapacitet eller en omlokalisering av kylvattenintagen på djupare vatten. Detta är exempel på åtgärder förknippade med relativt höga kostnader. Ett annat exempel är blixtnedslag som kan sätta såväl det externa nätet som det interna nätet ur funktion. Här har en rad skyddsåtgärder genomförts under årens lopp och man bedömer att ytterligare åtgärder finns att tillgå om det skulle visa sig att klimatförändringar leder till exempelvis kraftfullare blixtnedslag. I detta fall bedöms paletten av tillgängliga åtgärder som relativt billiga. Åtgärder riktade mot det externa nätet ligger dock utanför reaktorägarrens kontroll.

Ytterligare ett sätt att hantera eventuella effekter av klimatförändringen på den framtida driften i kärnkraftverken är genom en översyn av drifttillstånden. Det gäller till exempel miljötillstånd som kan begränsa driften, av just miljöskäl, vid perioder då temperaturen vid kylvattenutsläppet överskrider en viss nivå under sommaren. Men det kan också gälla en anpassning och uppdatering av säkerhetsmarginalerna för driften.

Andra omvärldsfaktorer har mycket större betydelse

Klimatförändringens direkta inverkan på förutsättningarna för den framtida driften vid de nordiska kärnkraftverken är följaktligen inte av den omfattning att de i någon avgörande utsträckning påverkar vare sig driften i de befintliga anläggningarna eller investeringsincitamenten för livstidsförlängningar eller nyinvesteringar. Detta torde gälla under mycket lång tid, sannolikt bortom den befintliga kärnkraftens förväntade livslängd. Det är istället andra omvärldsfaktorer som kommer att avgöra de långsiktiga förutsättningarna för kärnkraft. De flesta

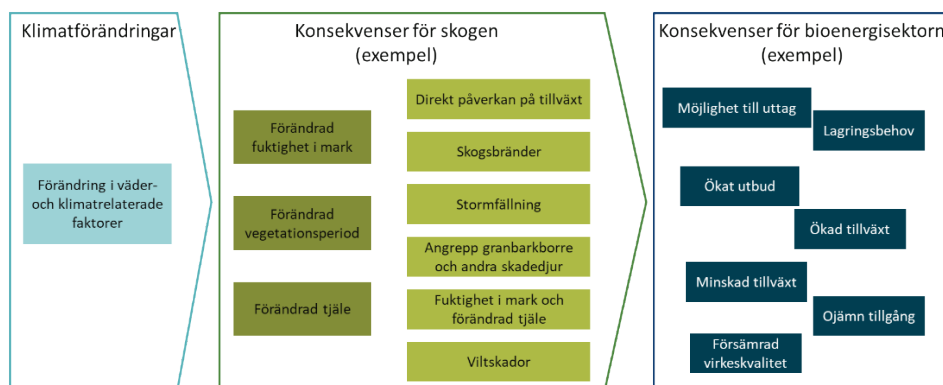
faktorererna är tämligen välkända och inkluderar såväl den politiska osäkerheten som det rådande kostnadsläget för nya anläggningar i västvärlden. Men även den tekniska utvecklingen för bland annat nya reaktorkoncept är en faktor som på sikt kan komma att få betydelse. Sist men inte minst så kan den framtida elmarknaden innebära utmaningar för en teknik som förknippas med höga kapitalkostnader och med höga fasta driftkostnader. En stadigt ökande andel variabel förnybar elproduktion följs av en allt högre grad av variabilitet i elprisbilden. För framtidens kärnkraft gäller det då att matcha denna utveckling med ökad driftflexibilitet men även med att kunna ta betalt för effekt med hög tillgänglighet och för olika stödtjänster på elmarknaden.

Ökad skogstillväxt kan gynna bioenergi- potentialen men klimatförändringen kan ge problem med skadedjur, skogsbränder och försämrade markförhållanden

Det är troligt att bioenergisektorn kommer att påverkas av klimatförändringen. Ökad skogstillväxt kan gynna bioenergi-potentialen medan torrare marker och försämrade markförhållanden verkar i motsatt riktning. Skadedjur och skogsbränder kan bidra både till ökad och minskad bioenergi-potential.

Indirekt påverkan på bioenergisektorn av klimatförändringar

Den totala biobränsleanvändningen i Sverige (inklusive i transportsektorn) är cirka 140 TWh, varav merparten kommer från skogen. De största användarna av skogsbränsle är massa- och pappersbruk, sågverk, fjärr- och kraftvärmeverk samt småhus. De biobränslen som används för el- och värmeproduktion är främst restprodukter från skogen eller skogsindustriella processer. Påverkan av klimatförändringen blir därmed i stor utsträckning indirekt där skogen påverkas först, sedan (skogs)industrin och därefter bioenergisektorn, vilket illustreras i Figur 4.



Figur 4. Förenklad illustration av hur klimatförändringar kan påverka bioenergisektorn.

Viktiga förändringar i klimatet är ökad temperatur, en längre vegetationsperiod och förändrad nederbörd i kombination med vindförhållanden

Det är troligt att bioenergisektorn kommer att påverkas av den fortsatta klimatförändringen. Detta eftersom det överlag är troligt eller mycket troligt att de förändringar i klimatet som har stor påverkan på bioenergisektorn kommer att ske. De viktigaste klimatförändringar som bedöms påverka bioenergi-potentialen är ökad temperatur, en förlängd växtsäsong och att nederbörden förändras i kombination med förändrade vindförhållanden.

Pågående klimatförändring innebär både möjligheter och utmaningar för bioenergisektorn

Konsekvenserna (som påverkan på tillväxt, virkeskvalitet, möjlighet till uttag, tillgång och lagringsbehov) kan innebära ett ökat utbud av biobränslen från skogen men även ökad risk för aspekter som kan begränsa potentialen. Den

globala uppvärmningen och dess konsekvenser förväntas leda till stor påverkan på den svenska skogen. För bioenergisektorn finns både hot och möjligheter.

Förlängd vegetationsperiod innebär potential för ökad skogstillväxt. Detta möjliggör ett ökat biomassaexport och indirekt därmed också ökad tillgång till biobränslen. Samtidigt finns flera faktorer som motverkar ökad tillväxt. Torka kan exempelvis minska tillväxten i skogen vissa år och även skogsbränder samt viltskador kan påverka tillväxten negativt. Även om skogsbränder påverkar skogstillväxten negativt kan de tillfälligt öka tillgången till biobränslen när skadat virke inte kan användas för andra ändamål i skogsindustrin.

Klimatförändringen innebär mer gynnsamma förhållanden för granbarkborrar och andra skadedjur. Angreppen från skadedjur försämrar virkeskvaliteten och biomassasortiment som annars skulle använts för timmer kan därmed istället gå till förbränning. På så sätt kan skadedjur öka utbudet av biobränslen tillfälligt och i varierande grad för olika år. Vid stora utbrott kan lagringsbehovet av skadat virke öka, vilket kan ha en viss betydelse för bioenergisektorn.

Ökad fuktighet i mark samt förändrad tjäle kan påverka möjlig avverkning men även specifikt det möjliga uttaget av restprodukter, till exempel grot, från skogen.

Konkurrensen om skogsbiomassan bedöms vara minst lika viktiga för bioenergisektorn som klimatförändringen

Det möjliga utbudet av skogsbaserade biobränslen beror inte bara på tillväxten i sig utan även på hur biomassaexporten till andra ändamål utvecklas. Här förväntas en kraftigt ökad konkurrens om skogsbiomassan när olika sektorer ska ställa om till fossilfri produktion.

Även jordbruksbaserade biobränslen (som energiskog, energigrödor, halm och andra restprodukter) förväntas dock spela en viktig roll i framtiden men klimatförändringens påverkan på dessa har inte analyserats i detta arbete.

Efterfrågan på fjärrvärme kommer att minska, vilket riskerar minska tillgången på lokalt styrbar eleffekt från kraftvärmen

Högre temperaturer och ökad nederbörd är de aspekter av klimatzförändringen som har störst betydelse för fjärrvärmen och fjärrkylan. Högre temperaturer innebär att värmebehovet minskar och kylbehovet ökar vilket leder till minskad efterfrågan på fjärrvärme och minskad kraftvärmepotential. Samtidigt behövs styrbar effekt alltmer i vårt framtida energisystem. Ökad nederbörd och fukt ökar risken för plötsliga händelser.

Högre temperaturer innebär att uppvärmningsbehovet minskar och kylbehovet ökar

Den klimatzförändring som påverkar fjärrvärmen och fjärrkylan mest är högre temperaturer. Sannolikheten för att detta kommer att ske är mycket hög och konsekvenserna är betydande. Energiföretagen har redan upplevt att vintrarna blir mildare och säsongen kortare och denna förändring förväntas fortsätta. Konsekvensen av ökade temperaturer är främst att uppvärmningsbehovet minskar och kylbehovet ökar.

1,5 graders global uppvärmning bedöms nås omkring 2040. Det är mer osäkert när (och om) 2 graders uppvärmning nås men med den nuvarande uppvärmningstakten på 0,2°C/årtionde inträffar det någon gång mellan 2050–2080.

I Tabell 5 framgår hur det totala uppvärmningsbehovet¹⁹ påverkas av energieffektivisering, nybyggnation på grund av befolkningsökningen samt klimatzförändringar.

Tabell 5. Förändringar i uppvärmningsbehov på grund av nybyggnation, energieffektivisering och högre temperaturer.

Påverkansfaktor	Förändrat uppvärmningsbehov		
	Nuläge till 2040	Nuläge till 2050	Nuläge till 2065
Tillkommande värmebehov p.g.a. nybyggnation enligt Energimyndigheten ²⁰	+6,3 TWh	+8 TWh	+10,3 TWh
Minskat värmebehov p.g.a. energieffektiviseringar enligt Energimyndigheten ²¹	-12 TWh	-12 TWh	-12 TWh
Minskat värmebehov p.g.a. klimatzförändringarna enligt beräkningar i projektet ²²	-3 TWh		-6,5 TWh

¹⁹ Oavsett om uppvärmningsformen är fjärrvärme, eldrivna värmelösningar eller annan individuell uppvärmning.

²⁰ För 2050 är värdet hämtat från Energimyndighetens långtidsscenarier (Energimyndigheten, 2019). För 2040 och 2065 är värdet uppskattat från underlag från Energimyndigheten.

²¹ Det mesta uppskattas ha realiserats till 2035. Källor: se fotnot 20.

²² Klimatsignalens påverkan på en oförändrad byggnadsstock antaget att 1,5 graders global uppvärmning nås år 2040 och 2 grader vid år 2065. Enligt beräkningar i projektet.

Efterfrågan på fjärrvärme minskar vilket riskerar leda till färre nyinvesteringar i kraftvärme, samtidigt behövs styrbar eleffekt alltmer

Minskad efterfrågan på fjärrvärme sätter ytterligare press på incitamenten för att investera i ny kraftvärme eller att reinvestera i befintlig kraftvärme. Dessutom indikerar resultaten att fjärrvärmeeffektbehovet minskar mindre än fjärrvärmebehovet, vilket innebär färre sålda kWh i relation till tillhandahållen effekt. Samtidigt behövs lokalt styrbar eleffekt alltmer eftersom takten i elnätsutbyggnaden har svårt att hålla samma nivå som tillväxten i våra städer vilket leder till lokal brist på eleffekt. Till detta kommer den förväntat kraftiga ökningen av elbehov för omställningen av transportsektorn och vissa industrisektorer.

Projektets energimodelleringar visar att vid 1,5 graders global uppvärmning minskar fjärrvärmeproduktionen med mellan 3 och 5 TWh jämfört med dagens ca 55 TWh. Detta minskar i sin tur underlaget för kraftvärme, vilket innebär att kraftvärmeproduktionen enligt projektets beräkningar minskar med ca 0,5 TWh jämfört med dagens ca 8 TWh.²³

Fjärrkyla kan bli ett viktigare komplement till fjärrvärmen

Kylbehovet kommer öka och detta riskerar att öka elanvändningen i samhället. Fjärrkyla kan vara ett mindre elintensivt alternativ än eldrivna kyllösningar och det kan även vara ett viktigt komplement till energiföretagens fjärrvärmeaffär då fler byggnader kommer behöva både värme och kyla.

Ökad nederbörd och fukt ökar risken för plötsliga händelser men förändringarna kan döljas av naturliga variationer

De klimatförändringar som, förutom ökad temperatur, bedöms påverka fjärrvärmen och fjärrkylan mest är ökad nederbörd och fukt. Sannolikheten för att dessa förändringar inträffar är relativt stor. Ökad nederbörd och fukt ökar risken för plötsliga händelser som översvämningar, markförskjutningar och brand i bränslelager (på grund av ökad mikrobiell aktivitet). Det är troligt att nederbörden ökar och att det blir fuktigare. Dock är den naturliga variationen för dessa parametrar så pass stor att även om förändringen är trolig så kan den naturliga variationen trumfa klimatsignalen under flera år. Översvämningar och skyfall är något som branschen upplevt och vidtagit viss beredskap för. Bränder i bränslelager förekommer också och man arbetar aktivt för att förebygga detta. Men nu när dessa risker förväntas öka kan ytterligare förberedelser, beredskap och förändrade arbetssätt behövas.

Den största klimatkonsekvensen för ledningsnäten bedöms vara förändrade markförhållanden till följd av ökad nederbörd och höjda grundvattennivåer, vilket kan öka risken markförskjutningar som medföra ledningsbrott.

²³ Både idag och i ett framtida klimat förekommer variationer beroende på väderår (kallt, normalt och varmt år). Projektet har gjort modelleringar för olika väderår, se delrapporten för fjärrvärme och fjärrkyla.

Elnätet är centralt för ett fungerande energisystem, särskilt lokalnäten är känsliga för väderrelaterade störningar redan idag

Flera potentiella konsekvenser av klimatförändringen utgör redan idag problem för elnätsbolag. Därför görs redan mycket arbete för att hantera dessa konsekvenser. Det finns en viss geografisk uppdelning i konsekvenserna, exempelvis förväntas snö- och isproblem öka i norra Sverige medan förekomsten av skogsbränder och värmeböljor bedöms öka i södra Sverige. Elnäten är viktiga och ska knyta ihop alla elanläggningar i en era av förändrade produktions- och konsumtionsmönster. Därmed är det också viktigt att ta höjd både för dessa förändrade mönster och för de konsekvenser som klimatförändringen kan ge upphov till vid investeringar i elnäten för framtiden.

De viktigaste väder- och klimatpåverkande faktorerna för elnätet i Sverige är is- och snöförhållanden, temperatur, åska och kraftiga vindar

De potentiella konsekvenser av klimatförändringen som bedöms vara viktigast att hantera beskrivs i Tabell 6 och är väderrelaterade problem som redan idag påverkar elnäten. Bedömningen är att konsekvenserna i de flesta fall är störst för lokalnätet. Vissa konsekvenser hänger också ihop som beskrivs i Tabell 6, till exempel ökad nedisning och ökad mängd blötsnö, samt ökad risk för skogsbränder och värmeböljor.

Tabell 6: Översikt över de potentiella konsekvenser som bedöms som störst vid fortsatt klimatförändring.

Potentiell konsekvens	Beskrivning konsekvens	Bedömd konsekvens blir betydande	Sammanvägt klimatindex
Ökad nedisning och snömängd	Nedhäng av ledningar, problem med isolatorer och träd som faller på ledningar	Troligt att, främst för lokalnät	Mycket trolig ökning i norr
Skogsbränder och värmeböljor	Långa avbrott, nedhäng av ledningar och sämre prestanda för elnäten	Mycket troligt, främst för lokal- och regionnät	Trolig ökning i söder
Åska	Överslag och bränder	Mycket troligt och nätnivåer hänger ihop	Troligt med längre säsong

Klimatförändringen innebär främst negativ påverkan på elnätet, men det finns också ganska stora geografiska skillnader mellan norr och söder

Problem med is och snö (blötsnö) bedöms öka i norra Sverige, medan de bedöms minska i södra Sverige. Samtidigt bedöms risken för bränder öka under torra år, där sannolikheten är högre i södra än i norra Sverige.

Elnätsbolagen har redan vidtagit åtgärder mot väderrelaterade problem

Elnätsbolagen har redan vidtagit stora åtgärder för att vädersäkra elnätet, inte minst genom den satsning som gjorts på att gräva ned och isolera en allt större andel av lokalnätens luftledning. Under perioden 2013–2019 ökade mängden markförlagd kabel med ca 51 000 km i lokalnäten, främst för att minska konsekvenserna av stormar.

Väder- och klimatrelaterade händelser kan infalla samtidigt

I projektet beskrivs klimatförändringsindex och konsekvenserna av dessa för elnätet separat. Vi kan dock konstatera att de i stor utsträckning hänger ihop. Konsekvenserna av is- och snöpåbyggnad på ledningar och träd kan exempelvis förvärras vid höga vindhastigheter. Likaså kan konsekvenserna av skogsbränder bli allvarigare om det samtidigt förekommer starka vindar. Samverkan av olika väderfenomen kan förvärra konsekvenserna för elnätet kraftigt. Bedömningar om sannolikheten för sammansatta händelser kommer att ändras kräver omfattande datamaterial. Även om det är troligt att fler sammansatta händelser inträffar när frekvensen av de enskilda händelserna ökar, är tillgången till klimatscenarier begränsat och detaljerade analyser saknas.

Vädermässigt är Sverige i flera fall förskonat i ett globalt perspektiv

En aspekt på konsekvenserna av klimatförändringen är att vissa väderfenomen är betydligt värre i andra delar av världen än vad Sverige har idag och troligen kommer att ha även i framtiden. Exempel på detta är åska och värmeböljor som orsakar betydligt större problem närmare ekvatorn. Med detta perspektiv kan vi konstatera att det går att hantera konsekvenserna av många klimatrelaterade händelser, men att det oavsett detta kan få stora konsekvenser och att många åtgärder kan behöva vidtas.

Isbildning och snö är väderfenomen där Sverige har svåra förhållande även globalt sett

Isbildning och snö är väderförhållanden där Sverige är ett av de länder i världen som har störst påverkan på elnätet, vilket naturligtvis är kopplat till att vi befinner oss i de kallare delarna av världen.

Även om stormar inte bedöms öka så kan mängden stormfällning öka på grund av ett varmare klimat

Projektet visar inte att risken för stormar kommer att öka, även om resultaten kopplat till vind är osäkra. Med en ökande temperatur förväntas dock markförhållandena försämrats, vilket ändå kan innebära en ökad risk för stormfällning.

Det finns ett antal åtgärder som är generiska för de flesta konsekvenserna som identifierats för elnäten

Nedan ges en beskrivning kopplat till de konsekvenser som bedömts viktigast.

För det första kan vi konstatera att det finns mycket att vinna på att lära från andra, vilket kan vara främst från andra länder där man kommit längre inom vissa områden, men det kan även vara från andra branscher som har liknande utmaningar.

För det andra bör man ytterligare höja kunskapen gällande flera aspekter av klimatförändringen som inte är väl kända eller där det råder stor osäkerhet. Många av dessa varierar stort i tid och rum. För att göra detta kan regional klimatmodellering med hög upplösning bidra med viktiga resultat.

För det tredje är det viktigt att kartlägga och förstå konsekvenserna för elnätet, prioritera dessa och initiera arbete med möjliga åtgärder, vilket påbörjats i denna studie.

För det fjärde bör man följa utvecklingen gällande klimatförändringen och dess konsekvenser för elnätet. Kopplat till ovanstående punkter är det viktigt att hantera kunskapsluckor som identifieras och bli medveten om vilket behov av forskning och utveckling som finns.

Slutligen är det viktigt att i hanteringen av klimatförändringens konsekvenser för elnätet identifiera ansvariga aktörer och försöka forma effektiva samarbeten mellan involverade aktörer.

KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS INVERKAN PÅ ENERGISYSTEMET

Parisavtalet slår fast att den globala temperaturökningen ska begränsas till under 2°C över förindustriell nivå, med strävan efter maximalt 1,5°C. Samtidigt har temperaturen redan stigit med över en grad. År 2020 ser ut att bli ett av de tre varmaste åren med en global medeltemperatur på 1,2°C över temperaturen under förindustriell tid. På våra nordliga breddgrader går klimatförändringarna snabbare och temperaturfökningen är kraftigare. Ökad temperatur driver även förändringar i nederbörd, vind och molnighet.

Klimatförändringarna kommer att påverka energisektorn på olika sätt, både genom plötsliga väderrelaterade händelser och genom långsamma successiva förändringar. Klimatförändringarna bedöms främst innebära negativa effekter även om det finns vissa positiva konsekvenser. Energisystemets sårbarhet ökar samtidigt som förutsättningarna för olika energislag förändras. Elnätet påverkas och användningen av el, värme och kyla förändras.

Vissa delar av energisystemet kommer att påverkas signifikant av klimatförändringar medan övriga omvärldsfaktorer har betydligt större inverkan på andra delar av systemet. De stora behoven av ny- och reinvesteringar i energisystemet som krävs framöver gör det möjligt att samtidigt genomföra åtgärder för klimatanpassning.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se