



Klimatförändringarnas konsekvenser för energisystemet

År 2018 är ett av de varmaste åren som uppmätts globalt sedan mätningarna inleddes i mitten på 1800-talet. Jordens medeltemperatur har stigit med ca 1 grad jämfört med förindustriell tid och på de nordligare breddgraderna går klimatförändringarna snabbare än vad många forskare tidigare förväntat sig. Vädret i framtiden kommer sannolikt att bli mer turbulent.

Klimatförändringarna kommer att påverka energisektorn på olika sätt. Energisystemets sårbarhet ökar samtidigt som produktionsförutsättningarna för olika energislag förändras. Även energianvändningen påverkas.

År 2007 publicerade dåvarande Elforsk en rapport om klimatförändringarnas konsekvenser för energisektorn (Elforsk rapport 2007:39). Mycket har hänt sedan dess. Vi har väsentligt högre globala utsläpp av växthusgaser och halterna i atmosfären ökar snabbt. Jordens medeltemperatur har höjts och vi har sett både fler och allvarigare konsekvenser av de klimatförändringar som redan skett. Samtidigt har vi bättre kunskap om framtida klimatförändringar, regional påverkan och konsekvenser för energiresursernas och energisystemens utveckling.

Vi har också en större insikt om de osäkerheter som klimatscenarierna är behäftade med och kan bättre förstå och analysera osäkerheterna i energisystemens framtida utveckling. Idag kan vi därför göra ett mer detaljerat och preciserat arbete om klimatförändringarnas påverkan på energisektorn samt analyser av de allt viktigare aspekterna kring sårbarhet, resiliens^{0F} och klimatanpassning.

Mot den bakgrunden samlar Energiforsk nu på nytt aktörerna inom energisektorn kring ett projekt med uppgift att fördjupa kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på svenska (och i viss mån även det nordiska) energisystemets olika delar. Målet är att öka kunskapen om energisystemets tillförlitlighet, sårbarhet och resiliens samt behovet av klimatanpassning av energisystemet.

Inledning

Regionerna på de nordliga breddgraderna förefaller att kunna drabbas hårdare av klimatförändringarna än vad man tidigare trott. Tidigare har scenarierna förutsett mer extremväder i

den tropiska regionen, men nu börjar stora förändringar märkas även här. En varmare planet innebär mer frekventa och intensiva värmeböljor. Samtidigt minskar frekvensen och intensiteten hos köldperioderna. Klimatscenarierna pekar också på såväl större risk för torka som för stora nederbördsmängder.

Förändringarna av klimatet påverkar energiförsörjningen i Sverige på olika sätt. Snabbare avsmältning av snömassor, ändrad nederbörd och högre temperaturer påverkar vattenkraften. Vi kommer vissa år att få ökad tillrinning. Men också år med vattenbrist. En erfarenhet från 2018 var att den låga tillrinningen till vattenmagasinen i kombination med svaga vindar, gjorde att kärnkraften stod för en ovanligt stor del av elproduktionen. Samtidigt reducerades effekten tidvis i flera nordiska kärnkraftverk och under en begränsad period stängdes Ringhals 2 när havsvattnet, som används som kylvatten, blev för varmt. Under sommaren 2018 ökade också kylbehovet i bostäder och lokaler vilket bidrog till att efterfrågan på fjärrkyla ökade. Det ledde i några fall till att kunder fick avstå kyla när det var som varmast, för att klara kylbehovet till samhällsservice, som sjukhus. Elanvändningen för luftkonditionering ökade samtidigt.

Det stora antalet skogsbränder under sommaren 2018 medförde att stamnätsledningar fick kopplas ur. Som mest var tre ledningar samtidigt urkopplade. En del planerade arbeten på stamnätet fick dessutom ställas in på grund av brandrisken, men också för att utrustning, som helikoptrar, behövdes i brandbekämpningen. Vattenkraftverk och dammar var hotade i brandområdena.

Bränderna kan även komma att påverka tillgången och priset på biobränslen framöver. Bränder förstörde 2018 cirka 25 000 hektar skog. En del av den brandskadade skogen kan användas som biobränsle, men på sikt kan högre frekvens av torra brandrika somrar medföra brist på skogsråvaror och biobränslen. Till detta kommer att blöta höstar och snörika vintrar kan försvåra uttaget av biobränslen från skogen.

Växlingen mellan extrem torka och kraftig nederbörd med översvämningar riskerar även att påverka ledningsnät som fjärrvärme, gasledningar, vatten och avlopp.

Projektet har flera mål

Syftet med projekt är att förbereda energisektorn på hur klimatförändringar kan komma att påverka energisystemet i Sverige och att utreda hur oönskade konsekvenser kan förutses samt vilka anpassningsåtgärder som behöver vidtas för att minska negativa effekter och tillvarata ökade produktionsmöjligheter.

Projektet tar sin utgångspunkt i Elforsks rapport från 2007 och fördjupar innehållet med ny kunskap bl.a. grundad i vår allt större insikt om osäkerheterna i klimatscenarierna samt uppdaterade scenarier för framtidens energisystem, dels kunskap om sårbarhet, resiliens och klimatanpassning.

Projektets mål är att öka kunskapen om:

- **Påverkan** på det svenska (och nordiska energisystemet) av klimatförändringar i vår region
- De svenska energisystemens **tillförlitlighet och sårbarhet** till följd av klimatförändringar
- De svenska energisystemens **resiliens**, dvs. dess förmåga att motstå och hantera effekterna av klimatförändringarna
- Behovet av **klimatanpassning**, dvs. en anpassning och skydd av det svenska energisystemet till ett föränderligt klimat i vår region, så att energisystemets robusthet och förmåga att hantera de faktiska klimatförändringarna ökar.

- **Den sammantagna påverkan på energisystemet** genom en samlad bedömning av hur klimatförändringarna i vår region påverkar den framtida energiförsörjningen i Sverige (Norden) och vad som krävs för att bibehålla en säker energiförsörjning

Projektet kommer att engagera ett stort antal aktörer/finansiärer och löper under 18 månader. Projektet samordnas genom Energiforsk och genomförs av seniorforskare inom såväl klimat- som energisystem (SMHI, IVL, CTH, Profu med flera). Projektet knyts till andra pågående projekt inom klimatområdet (t.ex. IPPC-nära projekt) och energiområdet (t.ex. NEPP).

Energisystemets sårbarhet ökar

Elforsks projekt från 2007 syftade till att utifrån ett antal klimatscenarier utreda hur klimatförändringar kan påverka drift av anläggningar, produktionsförutsättningar och energianvändningsmönster, hur oönskade konsekvenser kan förutses och vilka åtgärder som kan bli nödvändiga att vidta på sikt. Projektet studerade tänkbara konsekvenser för vattenkraften, vindkraften, biobränsleförsörjningen, naturgasförsörjningen, elnätet samt energianvändningen.

I rapporten konstaterades bl.a. att vissa av de klimatrelaterade problemen som förekommit hittills kan komma att minska i omfattning, andra kan komma att öka och nya problem kan komma att uppstå i ett framtida klimat. Det var dock inte möjligt att dra mer än övergripande slutsatser kring hur nedisning, åska, avdunstning, torka och översvämningar kan påverka energisektorn. Det var även svårt att bedöma påverkan på vindkraften eftersom olika klimatmodeller gav väldigt olika resultat kring framtida vindsituation. Även framtida efterfrågan på värme och kyla analyserades enbart övergripande, liksom sårbarhet, resiliens och klimatanpassning. Vidare ingick inte att utreda klimatförändringarnas påverkan på solenergi.

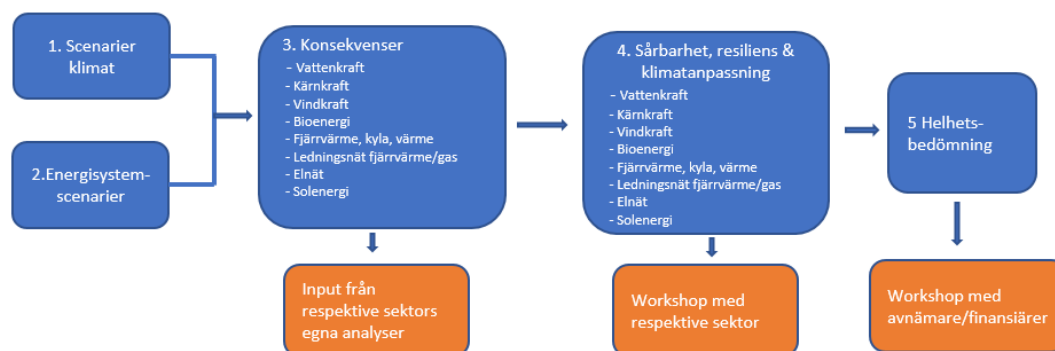
Idag har vi betydligt bättre klimatmodeller och därmed fler klimatsimuleringar vilket gör att vi bättre kan analysera och beskriva vad som är robusta klimatförändringssignaler och vad som är mer osäkert. Vi kan således göra mer precisa analyser av konsekvenser för energisystemet. Exempelvis har vi ett mycket bättre underlag om dagens och framtidens vindsituation regionalt och kan därför göra en bättre bedömning av påverkan på vindkraften. Det är därför angeläget att ta till sig all denna nya kunskap och uppdatera resultaten från 2007.

Genomförande i fem steg

Framtagande av klimatscenarier och energisystemscenarier sker parallellt i projektets inledande fas. Efter detta studeras konsekvenser för respektive sektor/teknik med input från analyser som energibranschen själva har gjort. Med grund i konsekvensstudierna genomförs workshops med fokus på sårbarhet, resiliens och klimatanpassning för respektive sektor. Avslutningsvis genomförs en helhetsanalys. I bilaga 1 finns en mer utförlig beskrivning av aktiviteterna.

Fem steg		Ansvarig	Medverkande
1.Klimatscenarioer	Analysen baserade på globala och regionala klimatscenarioer för klimatet vid 1.5°C, 2°C, 2.5°C, ... 4°C över förindustriell tid.	SMHI	
2.Energisystem-scenarioer	Analys av energisystemscenarierna (globalt, regionalt och lokalt). Koppling av dessa till klimatmodellerna	Profu	SMHI, Energiforsk
3.Konsekvenser (och osäkerheter)	Analysera konsekvenser för:		
	Vattenkraft	SMHI	IVL, Energiforsk
	Kärnkraft	Profu	Energiforsk
	Fjärrvärme & uppvärmning och kyla	Profu	Energiforsk
	Vindkraft	Profu	SMHI, Energiforsk
	Bioenergi	IVL	SMHI, Energiforsk
	Solenergi	Profu	SMHI, Energiforsk
	Elnätet	Profu	Energiforsk
	Naturgasförsörjningen	Profu	Energiforsk
4.Sårbarhet, resiliens och klimatanpassning	Risker och möjligheter analyseras i dialog mellan klimatforskare och företrädare för respektive energislag.	IVL	SMHI, Energiforsk
5.Helhetsbedömning	Syntessammanställning och workshop med projektgrupp och avnämare/finansiärer	IVL	Profu, SMHI, Energiforsk
Kommunikation		Energiforsk	IVL
Projektledning		IVL	Energiforsk, Profu

Aktiviteter:



Kommunikation och resultatspridning

Kommunikation kommer att ske både skriftligt och muntligt. Muntlig kommunikation omfattar workshops, halvtidsseminarium, slutkonferens samt referensgruppsmöten. Skriftlig kommunikation sker genom delrapporter, slutrapport, resultatblad samt rapportering på Energiforsks och övriga deltagares hemsidor och informationskanaler.

I projektet eftersträvas nära samarbete och informationsutbyte med andra relaterade verksamheter för att på bästa sätt dra nytta av redan utförda och pågående analyser. Som exempel kan nämnas analyser som olika delar av energisektorn själva gör samt forskningsprogram kring produktionstekniker, klimatscenarioer och energisystem (såsom NEPP – North European Energy Perspectives Project).

Samverkan mellan flera parter

Projektet genomförs av Energiforsk (projektvärd), IVL Svenska Miljöinstitutet (projektledare), SMHI och Profu i nära samarbete med projektets finansiärer och andra pågående projekt (t.ex. IPPC-nära projekt och NEPP). Projektet genomförs av seniorforskare inom såväl klimat- som energisystem (SMHI, IVL, Profu och Energiforsk).

Förutom energiföretagen kommer en nära samverkan att sökas med Energimyndigheten, MSB, EI, Svk, Naturvårdsverket, kommuner och landsting, skogsindustrin, mfl.

Tidplan

Projektet är planerat som en satsning under 18 månader med projektstart i början av 2019.

Kostnad och finansiering

Projektets resursåtgång beräknas till cirka 5,6 MSEK. Projektet samfinansieras mellan Energimyndigheten, Svenska kraftnät och ett 15-tal enertiföretag.

Detaljerad projektbeskrivning

Aktivitet 1. Klimatscenarier

Utvecklingen inom klimatforskningen sedan 2007 har lett till att vi idag har bättre förståelse för hur klimatsystemet fungerar och att de numeriska klimatmodellerna bättre beskriver dess variabilitet och förändringar. Dessutom har modellerna använts i väsentligt större omfattning vilket gör att vi idag har ett bättre underlag för att bedöma vad som är robust och vad som är osäkert när det gäller framtida klimat.

I rapporten från 2007 låg fokus på klimatet för perioden 2011 - 2040 där man använde 1961 - 1990 som referensperiod. I det här projektet föreslår vi att utgå från olika temperaturmål som referens istället för att titta på fasta tidsperioder. T ex. kan vi undersöka klimatet vid 1.5°C, 2°C, 2.5°C, ... 4°C över förindustriell tid, vilket då skulle spegla utvecklingen under de närmaste decennierna till slutet av seklet beroende på vad som händer med framtida klimatpåverkan. I arbetet kommer vi att göra nya analyser baserade på globala och regionala klimatscenarier beskrivna här nedan. Vi kommer också att dra nytta av resultat från en del internationella forskningsprojekt där olika temperaturmål stått i fokus (exv. EU-projekten IMPACT2C som undersöker 2°C-målet och HELIX som tittar på högre nivåer av klimatpåverkan).

Arbetsmoment:

I projektet kommer vi att extrahera klimatvariabler ur ett stort antal befintliga klimatscenarier. Som beskrivs ovan är tanken att vi i projektet ska arbeta med temperaturmål istället för att titta på fasta tidsperioder. Vi kommer således extrahera information för perioder för vilka den globala medeltemperaturen överskrider förindustriella förhållanden med t ex. 1.5°C, 2°C, 2.5°C, 3°C.

Data kommer huvudsakligen att tas från högupplösta (horisontell beräkningsgrid om 12,5x12,5 km upplösning för Europa) regionala klimatmodeller¹. Variabler som vi kommer att titta på är direkt modellutdata såsom temperatur, nederbörd, vind, moln- och strålningsförhållanden. Vi kommer också att jobba med beräkningar av t ex. avrinning eller olika klimatindex såsom vegetationsperiodens längd eller antalet graddagar för uppvärmningsbehov. I mån av behov kan det också bli frågan om att biasjustera data från klimatmodellerna, men för detta krävs att tillräckligt bra klimatobservationer finns att tillgå (möjligt för temperatur och nederbörd men betydligt svårare för molnförhållanden och/eller vind).

Utöver den detaljerade högupplösta informationen från de regionala klimatmodellerna kommer vi också att ta fram information från den större mängden klimatscenarier från globala

¹ De här scenarierna är state-of-the-art inom det internationella samarbetet med att ta fram högupplöst regional klimatinformation för alla kontinenter på jorden (CORDEX, Coordinated Regional climate Downscaling EXperiment, se <http://www.cordex.org/>)

klimatmodeller som finns att tillgå från CMIP5². Syftet med detta är att kunna visa hur det begränsade urvalet av högupplösta scenarier från de regionala klimatmodellerna speglar de osäkerheter som finns när det gäller framtida klimat.

Ett viktigt arbetsmoment i den här delen av projektet handlar om att i dialog med företrädare för de olika energislagen komma fram till vilka klimatindex det är önskvärt att vi arbetar med och vilka av dessa vi kan arbeta med. Utöver att producera ett stort antal kartor och diagram med information som illustrerar de relevanta klimatförändringsaspekterna och dokumentera klimatscenariomaterialet i en rapport kommer vi också att finnas med för att stötta grupperna som arbetar med konsekvenser för de olika energislagen.

Aktivitet 2. Energisystemscenarier

Energisystemmodeller har utnyttjats för scenarioanalys sedan 1970-talet och metodiken och datakvalitén är sedan länge validerad och kvalitetssäkrad. Det borgar för att de energisystemscenarier som idag tas fram håller hög kvalitet metodmässigt sett. Däremot sker ständigt en utveckling och förändring av de omvärldsfaktorer som påverkar energisystemens utveckling, vilket ställer (ständiga) krav på att uppdatera energisystemscenarierna. Teknikutvecklingen medför exempelvis att en modellbeskrivning av olika tekniker med bland annat kostnader och prestanda löpande måste uppdateras för att spegla det aktuella kunskapsläget. IEA har tagit på sig uppgiften att uppdatera energisystemscenarierna på global nivå, medan EU och medlemsstaterna har det ansvaret i Europa.

Energisystemscenarier utgör en central input i klimatmodellerna, eftersom en betydande del av växthusgasutsläppen kommer från energisektorn. På samma sätt som för klimatscenarierna har energisystemscenarierna utvecklats och förändrats sedan 2007, och det är viktigt att försäkra sig om att dessa förändringar implementerats i klimatmodellerna. En analys av vilka energisystemscenarier som ingår i klimatmodellernas antaganden och en jämförelse med dagens aktuella energisystemscenarier skulle även bidra till ökad kunskap till SMHI:s modelleringsarbete kring vad energisystemets framtida utveckling innebär för utsläppsnivåerna av växthusgaser framöver. Energisystemscenarierna utgör även underlag till helhetsbedömningarna för respektive energislag och slutsatserna om hur klimatförändringarna påverkar olika delar av energisystemet.

Som en del i projektet kommer vi att inhämta och utnyttja de senaste energisystemscenarier som tillhandahålls av IEA och EU, samt de känslighetsanalyser som är kopplade till dessa. I detta arbete samarbetar projektet med NEPP-projektet, som löpande hanterar energisystemscenarier på såväl global som europeisk och nationell nivå.

Som nämnts tidigare, avser vi i detta uppdrag utnyttja beräkningsresultat från global energisystemmodellering (IEA i deras återkommande publikation World Energy Outlook), europeisk energisystemmodellering (EU-kommissionen) och regional nordisk energisystemmodellering via NEPP-projektet. Den sistnämnda modellen har vi själva rådighet över och kan därmed använda som analysverktyg i detta uppdrag exempelvis med avseende på vilka effekter klimatförändringarna kan komma att få på energisystemets utveckling.

IEAs globala modellering (modellverktyget benämns "World Energy Model") bygger på en detaljerad beskrivning av energisystemen, och deras utveckling mot 2040, i olika regioner

² Coupled Model Intercomparison Project phase 5, se <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>

runt om i världen.³ Politik, styrmedel, ekonomisk tillväxt, energibehov, teknikutveckling samt kostnader och utbud av fossila bränslen är viktiga parametrar som ingår i modellbeskrivningen. Modellverket utgör ett viktigt analysinstrument på vars resultat IEA baserar sin årliga publikation World Energy Outlook där den senaste är från 2017.

EU-kommissionen gör regelbundna modellanalyser av de europeiska energisystemens utveckling mot 2050. Modellstudierna omfattar både löpande bevakningar i syfte att följa upp de olika energi- och klimatpolitiska målen (den senaste från 2016, "EU Reference Scenario 2016, Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050") och mer specifika konsekvensanalyser ("impact assessments") av föreslagna förändringar i politiken. Den modell som man då använder heter PRIMES och påminner i struktur och funktion om såväl IEA:s globala energisystemmodell som vår egen nordeuropeiska energisystemmodell TIMES-NORDIC.⁴

Vår egen modell, TIMES-NORDIC, beskriver det svenska stationära energisystemet (el- och fjärrvärmeproduktion samt energianvändningen inom industri, bostäder och lokaler) och det nordeuropeiska el- och fjärrvärmesystemet. På så sätt fångas hela den integrerade nordeuropeiska elmarknaden. Givet en lång rad antaganden kring viktiga omvärldsfaktorer såsom tillgång och pris på olika bränslen, energi- och klimatpolitik, energibehov och teknisk utveckling beräknar modellen den mest kostnadseffektiva sammansättningen av det tekniska energisystemet, från idag fram till 2050. Energianvändning, insatta bränslen, produktionsmix för el och fjärrvärme, investeringar, systemkostnader, handel mellan regioner, CO₂-utsläpp och prisbild på olika energislag är exempel på viktiga resultat från en beräkning. Vi har tidigare använt TIMES-NORDIC i en lång rad olika projekt och uppdrag. Förutom NEPP kan vi även nämna återkommande analyser åt Energimyndigheten, Naturvårdsverket och olika branschorganisationer inom energiområdet.

Utöver detta förfogar vi över ett antal mer specialiserade modeller som är konstruerade för att mer i detalj analysera specifika frågeställningar inom vissa delar av energisystemet. Det gäller exempelvis EPOD-modellen som med mycket hög detaljnivå beskriver det (nord)europiska elsystemet vid ett visst givet år. EPOD-modellen lämpar sig bättre för analys av variabilitet på elmarknaden än TIMES-NORDIC där tidsupplösningen inom ett år är klart lägre. Martes är en simuleringsmodell för ett valfritt fjärrvärmesystem och kan användas för att mer i detalj analysera konsekvenserna för fjärrvärmesystemen av exempelvis klimatförändringar med ett förändrat värmebehov som följd. Hittills har såväl SMHI:s som andra klimatmodellörers analyser gjorts relativt fristående från de löpande arbeten med energisystemscenarier som genomförs av IEA, EU m.fl. Det innebär att synkroniseringen mellan klimat- och energisystemscenarier är bristfällig, inte minst vad gäller utvecklingen för användningen av de fossila bränslena (och utsläppen från dem). Det påverkar naturligtvis resultaten från klimatmodellerna och tolkningen av dem.

I projektet vill vi därför skaffa oss en fördjupad förståelse för kopplingen mellan energi- och klimatscenarierna. Det är inget omfattande modelleringsarbete, men det kräver ändå en relativt noggrann analys av de aktuella energisystemscenarier som finns globalt, regionalt och lokalt där vi kommer att jämföra dessa med de till klimatmodellerna underliggande

³ Mer om IEAs globala modell finns att läsa på

http://www.iea.org/media/weowebiste/2017/WEM_Documentation_WEO2017.pdf

⁴ En närmare beskrivning av PRIMES-modellen finns på

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/analysis/models_en.

energisystemscenarierna. Det är dock oklart huruvida det går att docka de eventuellt förändrade energisystemscenarierna till de aktuella klimatscenarierna (då det skulle kräva en stor arbetsinsats och kostnad som ej ryms inom projektets budget). Vi kommer därför i första hand att göra en kvalitativ jämförelse mellan de olika energisystemscenarierna och utifrån detta göra en bedömning om dess eventuella påverkan på klimatmodellernas scenarier. Energisystemscenarierna sträcker sig fram till 2050, och denna tidsperiod kommer att ställs mot de olika temperaturscenarierna, där åtminstone 4 graders scenariot utesluts som troligt inom detta tidsspann.

Arbetsmoment:

Arbetet utförs i tre steg:

1. Kartläggning och insamling av aktuella energisystemscenarier
2. Utvärdering av dessa energiscenarier gentemot varandra, förståelse för skillnader och ett syntesarbete för att få en relativt homogen uppsättning (av 2 - 3) energiscenarier att hantera.
3. Korrelering till klimatscenarierna: En noggrann jämförelse mellan de antaganden om energisystemets utveckling som klimatscenarierna baseras på, och de 2 - 3 energiscenarierna ovan, med särskilt fokus på utvecklingen av fossila bränslen. Identifiering av avvikelser och – om de är stora – utvärdering av dess påverkan på klimatscenariernas resultat.

Aktivitet 3. Konsekvenser (och osäkerheter) av klimatförändringar för olika energislag

Klimatförändringar kan på många sätt påverka energisystemet. Produktionspotentialen kan förändras. Exempelvis innebär en ökad temperatur att uppvärmningsbehovet minskar, förändrad nederbörd påverkar vattenkraftspotentialen och förändrade vindförhållanden påverkar potentialen för vindkraft. Klimatförändringar påverkar även förutsättningarna för att driva olika energianläggningar. Som exempel kan mer extrem nederbörd påverka förutsättningarna för vattenkraften och ökad förekomst av extrema väder såsom stormar kan påverka elnätet, vindkraften och bioenergiförsörjningen.

Aktiviteten omfattar att ta arbetet från 2007 ett steg vidare och uppdatera och djupare analysera hur produktionspotentialen och förutsättningar för olika energislag kan påverkas av klimatförändringar. I aktiviteten ingår att analysera konsekvenser för:

- Vattenkraften
- Kärnkraft
- Vindkraft
- Bioenergi
- Solenergi
- Fjärrvärme & uppvärmning och kyla
- Naturgasförsörjningen
- Elnätet

Samtliga beskrivs mer detaljerat nedan. För varje energislag analyseras klimatvariabler och -index som är mest relevanta samt sårbarhet, resiliens och anpassning. Dessa analyser beskrivs

dock gemensamt under Aktivitet 1. Klimatscenarier respektive Aktivitet 4. Sårbarhet, resiliens och klimatanpassning.

3.1 Vattenkraften

De klimatfaktorer som främst bedöms ha betydelse för vattenkraften är avrinning/tillrinning, temperatur och nederbörd (mängd samt egenskap).

Resultaten i rapporten från 2007 underbyggdes av en serie arbeten, såväl från kraftbolagen (främst Vattenfall) som från klimatforskare (främst SMHI och Rossby Center). Resultaten syftade främst till att besvara hur förändringar i tillrinningen orsakade av förändringar i klimatet kunde komma att påverka produktionen av vattenkraft.

Sedan projektet 2007 har det genomförts en del nya såväl nationella som internationella studier, bland annat i Energiforsks regi. I detta projekt ska en uppdatering av resultaten ske utifrån ny kunskap och analysmetoder samt nyare studier genomförda av såväl vattenkraftsägare, klimatforskare som av andra instanser. I rapporten från 2007 identifierades också ett antal andra områden som skulle behöva fördjupas, t.ex. kring anpassningsbehov. Vissa av dessa analyser har redan genomförts/påbörjats och utnyttjas i detta nya projekt, men det kan också bli aktuellt att göra vissa fördjupade analyser. Ett förslag är att göra en fallstudie kring någon älv där mer djupgående analys görs utifrån ny kunskap och de nya klimatscenarier som tas fram i detta projekt. Möjligen kan resultaten användas för att uppskatta potentialen i ett större perspektiv.

Ambitionen är också att göra en känslighetsanalys för vattenkraftens utveckling utifrån de *osäkerheter* som identifieras i de uppdaterade klimatscenarierna, samt redovisa en fördjupning för vattenkraften utifrån de analyser av sårbarhet och resiliens som beskrivits i avsnitt 3 ovan.

Arbetsmoment:

1. Analys av hur vattenkraften och produktionspotentialen från vattenkraft påverkas av klimatförändringar.
2. Analys av hur körmönstren för vattenkraften kan komma att förändras på grund av klimatförändringarna i kombination med omställningen av energisystemet
3. Analys av tänkbara effekter på samhälle och ekosystem av vattenkraften i ett förändrat klimat
4. Beskrivning av de sammanlagda konsekvenserna för vattenkraften i de olika klimatscenarierna.
5. Ev. fallstudie av en älv med avseende på djupare analys av potentialförändring, förändrade förutsättningar och effekter på samhälle och ekosystem vid klimatförändringar

3.2 Kärnkraft

Kärnkraften ingick inte i rapporten från 2007, men ska inkluderas i detta projekt.

Dagens klimatscenarier pekar på ett antal tänkbara konsekvenserna för kärnkraften. Dels kan efterfrågan på kärnkraft komma att öka under sommaren samt under perioder med betydande underskott i vattenkraftmagasinen. Dels kan höga vattentemperaturer reducera effekten och kanske också leda till att verk måste stoppas.

Arbetsmoment

Analyserna för kärnkraften omfattar:

1. Hur driftförutsättningar för kärnkraften påverkas av förändringar i vattentemperaturen vid kylvattenintagen

2. Hur en förändrad dimensionering och ombyggnad kan möjliggöra nya driftförutsättningar
3. Hur förändrade driftförutsättningar för övriga kraftslag (vattenkraft, kraftvärme, värmekraft, vind, sol) på grund av klimatförändringar påverkar efterfrågan på elproduktionen från kärnkraften. Detta i kombination med förändrad efterfrågan på el i framtiden bland annat till följd av klimatförändringar
4. Hur andra faktorer som bland annat bränder kan påverka ledningsnäten från verken och därmed produktionen samt också det motsatta hur strömförsörjningen till verken kan påverkas
5. En beskrivning av de sammanlagda konsekvenserna för kärnkraften i de olika klimatscenerierna, baserat på föregående arbetsmoment. Här omfattas även effektproblematiken för elsystemet genom konsekvenserna för kärnkraften i de olika scenarierna.

3.3 Vindkraften

Resultaten i rapporten från 2007 syftade huvudsakligen till att beskriva hur, och om, en klimatförändring på 20 – 30 års sikt påverkar vindarna över Sverige och därmed förutsättningarna för vindkraft. De faktorer som belystes var tänkbara förändringar dels för årsproduktionen, dels för riskerna för driftavbrott i form av hård vind samt nedisning. Man visade bl.a. på en möjlig utveckling där ”den producerade elenergin på årsbasis skulle kunna bli 5 - 20 % högre om 20 - 30 år än den som beräknats för åren 1992 - 2001”.

Resultaten för förändringarna i årsproduktion visade dock att förändringarna i vindhastigheterna inte är så entydiga som förändringarna i temperatur och därigenom svårare att fastlägga. Dessutom är vindobservationer i regel mindre tillförlitliga och sträcker sig inte heller lika långt tillbaka i tiden som temperaturobservationer.

I detta projekt ska en uppdatering av resultaten ske utifrån ny kunskap och analysmetoder samt nyare studier genomförda av såväl vindkraftsägare, klimatforskare som av andra instanser.

Vind är fortfarande en mycket stor källa till osäkerhet i klimatanalyserna, men idag vet vi mer och har dessutom ett mycket större underlag av observationer och analyser. Detta större underlag gör att klimatforskarna kan säga något mer om den framtida utvecklingen idag, även om man inte kommit till fullständig visshet om exakt hur vindarna kommer att förändras i takt med klimatförändringarna. En uppdatering av resultaten från 2007, utifrån detta kraftigt ökade underlag bedömer vi ändå som mycket värdefulla att göra inom ramen för detta projekt.

Liksom för vattenkraften skall vi även göra en känslighetsanalys för vindkraftens utveckling utifrån de *osäkerheter* som identifieras i de uppdaterade klimatscenerierna, samt redovisa en fördjupning för vindkraften utifrån de analyser av sårbarhet och resiliens som beskrivits i avsnitt 3 ovan.

Målet är att beskriva konsekvenserna av klimatförändringarna, utifrån de parametrar som SMHI bistår med för olika klimatscenerier (olika temperaturmål), på vindkraften i Sverige. Detta omfattar dels tänkbara förändringar på årsproduktion på grund av generellt förändrade vindförhållanden och dels risker för driftavbrott på grund av mer hårda vindar samt ökad nedisning. Här kommer en dialog föras mellan SMHI och Profu kring vilka data som är av

intresse och finns tillgängliga för att kunna göra en så god bedömning av klimatförändringarnas påverkan på vindkraften.

Vi kommer även titta på underlaget från föregående rapport samt den tidigare utgivna klimat- och sårbarhetsutredningen som inte fanns 2007.

Om möjligt görs en uppdelning på vindkraft i öppet landskap, skogslandskap respektive till havs. I bedömningarna kring påverkan på energisystemet diskuteras även konsekvenser i form av t.ex. effektbrist kopplat till variabel produktion.

Arbetsmoment:

Arbetet delas förslagsvis upp i följande steg:

1. En beskrivning av den potentiella teknikutvecklingen av vindkraften under perioden fram till 2040 - 2050, baserat på energisystemscenarierna
2. En analys av hur vindkraften och elproduktion från vindkraften påverkas av klimatförändringar.
3. En beskrivning av vindkraftens betydelse för elsystemet i de olika energisystemscenarier som hanteras i rapporten/projektet.
4. En beskrivning av de sammanlagda konsekvenserna för vindkraften i de olika klimatscenarierna, baserat på föregående arbetsmoment (1 - 3 ovan). Här omfattas även effektproblematiken för elsystemet genom de sammanlagrade konsekvenserna för vindkraften i de olika scenarierna.

3.4 Solenergin

Solenergin ingick inte i rapporten från 2007, men ska inkluderas i detta projekt. Det innebär att vi kommer att göra analysen för solenergin och dess potential från grunden, vad gäller:

- *klimatfaktorer* som påverkar solenergin såsom mer molnighet/antal soltimmar
- *konsekvenser* för solenergin av klimatförändringar

Dagens klimatscenarier pekar på ett antal möjliga konsekvenserna för solenergin, som skulle kunna minska potentialen och effektiviteten för solelproduktion, bl.a. det varmare klimatet i sig, samt en viss ökning i molnighet under somrarna.

Vi kommer även här att fördjupa analysen och göra en känslighetsanalys för solenergins utveckling utifrån *osäkerheter* i klimatscenarierna samt redovisa en fördjupning för solenergin av analyserna av sårbarhet och resiliens som beskrivits i avsnitt 4.

Arbetsmoment:

1. En beskrivning av den potentiella teknikutvecklingen av solenergi under perioden fram till 2040 - 2050, baserat på energisystemscenarierna
2. En analys av hur solcellsanläggningar och elproduktion från solcellsanläggningar påverkas av klimatförändringar.
3. En beskrivning av solekens möjliga betydelse för elsystemet i de olika energisystemscenarier som hanteras i rapporten/projektet
4. En beskrivning av de sammanlagda konsekvenserna för solenergin i de olika klimatscenarierna, baserat på föregående arbetsmoment (1 - 3 ovan). Här omfattas även effektproblematiken för elsystemet genom de sammanlagrade konsekvenserna för solenergi i de olika scenarierna.

3.5 Biobränslen

I Sverige genomförs sedan länge hållbarhetsstudier för skogssektorn med hjälp av skogliga konsekvensanalyser SKA och virkesbalanser (VB). Den senaste studien, SKA 2015, (1 - 5) inkluderar analyser av miljöeffekter, klimateffekter och en analys av den framtida globala efterfrågesituationen och tillgång på skogsråvara. Detta underlag utgör en bra grund för uppdatering av konsekvenserna för biobränsleförsörjningen i ett svenskt perspektiv.

Konsekvenserna inkluderar både hur olika klimatafaktorer påverkar biobränslena och de konsekvenser som klimataförändringarna antas få på biobränsleproduktionen.

Inom ramen för det här föreslagna projektet utgör SKA VB 15 en grund och sammankopplas dels med de uppdaterade klimatscenarier, dels med utvecklingen på den förväntade efterfrågesidan, d.v.s. hur efterfrågan på biobränsle kan förväntas se ut i framtiden och i ett förändrat klimat.

Särskilt fokus kommer att vara på känslighetsanalyser för osäkerheten i klimatscenarierna. För den skogliga biomassan har pekats ut att det särskilt är den tillväxthöjande effekten av ett förändrat klimat som utgör den största osäkerheten.

Arbetsmoment:

Bedömningen av konsekvenser för biobränsleförsörjningen omfattar:

1. Övergripande uppskattning av hur bioenergipotentialen påverkas av klimataförändringar med hänsyn taget till politik och konkurrens om biomassan (exempelvis med hjälp av enklare scenarier)
2. Analys av konsekvenser för biobränsleförsörjningen från skog och jordbruk av klimataförändringar, (bl.a. torka, bränder och nederbörd)
3. Beskrivning av bioenergins betydelse för energisystemet i de olika energisystemscenarier som hanteras i projektet
1. Beskrivning av de sammanlagda konsekvenserna för bioenergin i de olika klimatscenarierna, baserat på föregående arbetsmoment (1 - 3 ovan).

3.6 Fjärrvärme och energibehovet

Klimataförändringen innebär att temperaturer, vindar och fuktighet kommer att ändras, vilket även påverkar energianvändningen, speciellt vad avser efterfrågan på energi för uppvärmning och komfortkylning av byggnader. Det påverkar i sin tur förutsättningarna för fjärrvärme och kraftvärme. För att få en ökad insikt avseende energianvändningen i byggnader framöver behövs dock både analyser/scenarier över tänkbar påverkan i form av teknisk utveckling, energieffektivisering samt beteendeförändringar, och av de faktorer som kan hänföras till klimataförändringarna.

Studien från 2007 begränsades till att analysera konsekvenserna av en förändring i energianvändningen utifrån förändrat antalet graddagar. Inom ramen för detta projekt kommer denna analys att kompletteras, så långt det är möjligt utifrån den nya kunskap som tagits fram sedan 2007. Resultaten översätts sedan till hur förutsättningarna för fjärrvärme och kraftvärme påverkas.

Arbetsmoment:

Förslagsvis delas arbetet för denna del upp i följande arbetssteg:

1. En beskrivning av utvecklingen för bebyggelsen och uppvärmnings- och kylbehov samt fördelning av energislag för sektorn fram till 2040 - 2050, baserat på bl.a. befolkningsutveckling, energieffektivisering, beteendeförändringar och bebyggelsestruktur.
2. En beskrivning av de konsekvenser som kan förväntas för fjärrvärmesektorn baserat på olika klimatscenarier och dess ingående parametrar.
3. En beskrivning av konsekvenserna som kan förväntas när det gäller förutsättningarna för elproduktion/kraftvärme
4. En bedömning av hur ledningsnäten kan påverkas
5. De sammantagna konsekvenserna för fjärrvärmesektorn och energibehovet

3.7 Naturgasförsörjningen

I studien från 2007 gjordes bedömningen att naturgasförsörjningen är mycket robust och att produktionen av naturgas troligen inte skulle påverkas. En översyn av de bedömningar som då låg till grund för slutsatserna ses över.

Arbetsmoment:

Förslagsvis delas arbetet för denna del upp i följande arbetssteg:

1. Påverkan på naturgasanvändningen
2. Uppdatering av hur bedömningen i 2007 års rapport om hur stormar kan påverka produktionen i aktuella naturgasfält
3. Bedömning av gasnätens robusthet för klimatpåverkan
4. De sammantagna konsekvenserna för naturgasförsörjningen i landet

3.8 Elnätet

Sommaren skogsbränder visar att elförsörjningen kan påverkas på grund av att ledningar skadas eller måste kopplas bort. Detta kommer att beaktas i arbetet. I övrigt är vår bedömning att resultatet i rapporten från 2007 håller fortsatt god relevans. En översyn av görs av den tidigare baserat på vad som har gjorts inom området t.ex. av Svenska Kraftnät.

Arbetsmoment:

Förslagsvis delas arbetet för denna del upp i följande arbetssteg:

1. Effekterna av bortkoppling av elnät på grund av bränder analyseras, särskilt bortkopplingen av stamnätet.
2. Effekterna av bortkopplingen ställs i ljuset av påverkan på elförsörjningen i ett framtida energisystem med större variationer i effekt och ökat behov av flexibilitet samt också i perspektivet av systemtjänster.
3. Eventuellt kan man här också mer generellt för elnäten lägga till en analys kring effektproblematiken kopplat till de olika klimatscenarierna tillsammans med parametrar så som flaskhalsar i nätet och en ökad variabilitet i elsystemet, m.m.
4. I övrigt bedöms arbetet till stor del kunna vara en uppdatering av 2007 års resultat.

Aktivitet 4. Sårbarhet, resiliens och klimatanpassning

Att anpassa samhället till extrema väderhändelser och framtida klimatförändringar handlar till stor del om att hantera osäkerheter. Dels finns det osäkerheter vad gäller hur våra samhällen kommer att se ut i framtiden, dels finns det osäkerheter vad gäller hur klimatet kommer att förändras. Detta innebär i sin tur att det är osäkert hur våra samhällen och de tekniska systemen, såsom energisystemet, kommer att påverkas av extrema väderhändelser och klimatförändringar i framtiden. Modeller, prognoser och scenarier, kan visa på möjliga framtida utvecklingar av samhället och klimatet, men innehåller alla mer eller mindre osäkerheter.

När rapporten 2007 togs fram var klimatanpassning ett relativt nytt begrepp och det fanns inte någon utbredd dialog mellan klimatforskare och företrädare för energibranschen och/eller övriga samhällsaktörer. Under det senaste decenniet har klimatanpassning allt mer hamnat på dagordningen och idag finns många exempel på hur man valt att arbeta med

anpassningsåtgärder i en rad samhällssektorer. Idag finns också bättre vägledning till hur man bör använda klimatscenarier i samband med klimatanpassningsarbete.

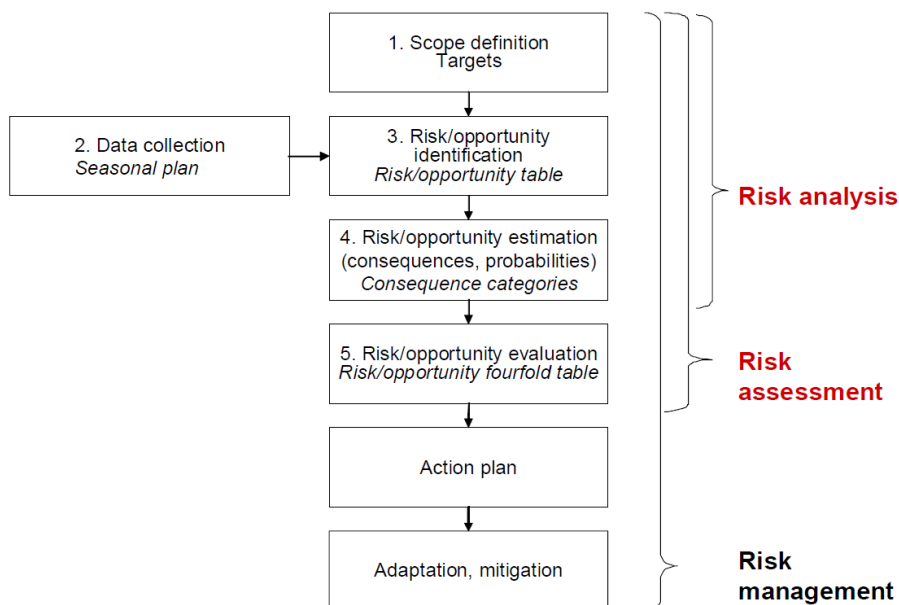
Arbetsmoment:

I projektet föreslår vi att workshops genomförs för respektive sektor. Workshopmetodiken utgår från den riskanalysmetod som utvecklats inom ett nordiskt projekt kring energisystemets påverkan av klimatförändringar⁵. Metoden är anpassad till att studera risker och möjligheter för energisystemet vid förändringar i klimatet.

Arbetsmoment:

Den metod som föreslås omfattar följande steg, nedan exemplifierat med vattenkraft:

1. Definition av system och mål
2. Datainsamling – klimatdata relevanta för valt system med lämplig geografisk och tidsmässig upplösning
3. Identifiering av risker och möjligheter för valt system av klimatförändringar
4. Uppskattning av risker och möjligheter med bedömning av konsekvens (liten, medel, allvarlig) och sannolikhet (ej troligt, troligt, mycket troligt)
5. Utvärdering av risker och möjligheter med hjälp av visualisering och indelning av konsekvenser i fyrfältare beroende på bedömning av sannolikhet och konsekvens
6. Framtagande och genomförande av åtgärdsplan för klimatanpassning



Analyserna genomförs i nära samarbete med relevanta avnämare genom workshops med experter från energisektorn och utförarna av konsekvensanalyserna i Aktivitet 3.

⁵ Climate and Energy Systems, Nordisk Energiforskning

Aktivitet 5. Helhetsbedömning

I denna aktivitet sammanställs resultaten från de olika delaktiviteterna och en helhetsbedömning görs.

Arbetsmoment:

1. Syntes av resultat från projektet och andra eventuella relaterade projekt
2. Helhetsbedömning av påverkan på energisystemet och sektorns aktörer vad gäller produktionsförutsättningar, drift av anläggningar, sårbarhet och resiliens
3. Strategi för hur energibranschen kan arbeta med anpassning och åtgärder för att minimera risker och förebygga skador till följd av klimatförändringar
4. Förslag till åtgärder
5. Behov av fortsatt arbete och forskningsinsatser

Metod:

Arbetet genomförs förslagsvis både genom syntes/sammanställning av arbetet i övriga delprojekt men också genom en workshop tillsammans med projektgrupp och avnämare/finansiärer för att få en bra helhetsbild av hur systemet och branschens aktörer kan påverkas.