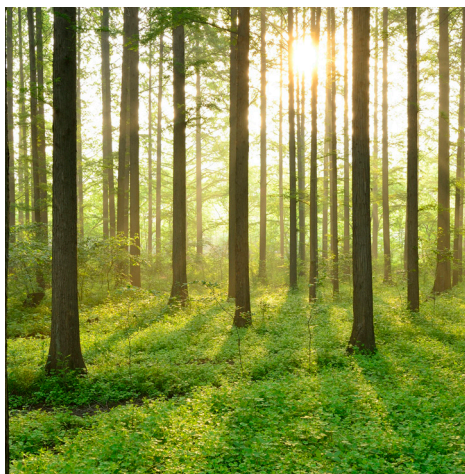


KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS INVERKAN PÅ VINDKRAFTEN

RAPPORT 2021:742



KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS
KONSEKVENSER



Klimatförändringarnas inverkan på vindkraften

PETER BLOMQVIST
JENNY GODE
ERIK KJELLSTRÖM
GUSTAV STRANDBERG

ISBN 978-91-7673-742-2 | © Energiforsk mars 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

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 konsekvenser för 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 av Peter Blomqvist och Jenny Gode på Profu, och Erik Kjellström och Gustav Strandberg på SMHI 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 rikta 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.

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, vindkraft

Sammanfattning

Syftet med denna studie är att beskriva klimatförändringens potentiella konsekvenser för vindkraften, samt att komma med förslag på åtgärder. Flera konsekvenser, både plötsliga händelser och de som påverkar löpande drift, har identifierats och några har analyserats djupare.

De viktigaste klimatpåverkande faktorerna för vindkraften är förändrad isbildning och vindförhållanden. Sammantaget verkar konsekvenserna dock bli relativt små, då klimatsimuleringarna inte tyder på att det kommer bli några större förändringar av vindförhållandena, även om resultaten är osäkra och ytterligare studier behövs. Ökad isbildning i norra Sverige bedöms vara den säkraste klimatsignalen med en hög negativ konsekvens, vilket gör att det är den enda konsekvens som branschen tydligt behöver agera på.

Det finns flera potentiella konsekvenser av klimatförändringen som branschen behöver förbereda sig för, då det är mindre troligt att förändringarna inträffar. Några exempel är stiltje, skogsbrand, förändrad turbulens och förändrad vindriktning. Flera konsekvenser av klimatförändringen bedöms också påverka vindkraften positivt. Exempel på detta är minskad nedisning i södra Sverige och minskad utbredning av havsis som kan underlätta en utbyggnad av havsbaserad vindkraft längre norrut i Östersjön.

Det finns en ganska stor grad av sammanlagring av elproduktionen om man sprider vindkraften geografiskt, vilket gör att risken med stiltje minskar. Samtidigt ställer detta krav på tillräcklig överföringsförmåga. Trots sammanlagringseffekten finns det perioder då det är väldigt låg vind över hela norra Europa, även om det är väldigt sällan. Dessa tillfällen innebär sannolikt den största utmaningen för elsystemet. En fortsatt kraftig utbyggnad av vindkraften innebär att den på sikt kommer att utgöra en väldigt stor andel av Sveriges elförsörjning. Det innebär också att klimatförändringens eventuella påverkan på vindkraften kan få stor betydelse för elsystemet som helhet.

Vi har tagit fram fem generiska förslag på åtgärder som gäller för de flesta identifierade konsekvenserna (1) att lära av andra, vilket kan vara av andra länder där man kommit längre, men även andra branscher som har liknande utmaningar; (2) att höja kunskapen klimatförändringens lokala variationer; (3) att öka förståelse för konsekvenserna, prioritera, initiera åtgärder och kravställa mot leverantörer; (4) att följa utvecklingen gällande klimatförändringen och dess konsekvenser, för att kunna avgöra framtida behov av forskning och utveckling; (5) att identifiera ansvariga aktörer och forma effektiva samarbeten.

Vi konstaterar också att den pågående teknikutveckling adresserar flera av konsekvenserna med klimatförändringen. Exempelvis förbättrad kraftelektronik och fuktskydd, optimerad parkstyrning för att öka elproduktion och minska laster.

Summary

The purpose of this study is to describe the potential consequences of climate change for wind power, and to come up with proposals for measures. Several consequences, both sudden events and those that affect day-to-day operations, have been identified and some have been analysed in more depth.

The most important climate related factors for wind power are changes in ice formation and wind conditions. Overall, however, the consequences seem to be relatively small, as the climate simulations do not indicate that there will be any major changes in wind conditions, even if the results are uncertain and further research is needed. Increased ice formation in northern Sweden is the most certain climate signal with a high negative consequence, which means that the wind power industry needs to take action to reduce the risks.

There are several potential consequences of climate change that the wind power industry needs to prepare for. Some examples are calm wind, forest fire, changed turbulence and changed wind direction. Several consequences of climate change are also expected to have a positive effect on wind power. Examples of this are reduced icing in southern Sweden and reduced icing conditions in the Baltic Sea that can facilitate the expansion of offshore wind power.

There is a large degree of aggregation of electricity production if wind power is spread geographically, which means that the risks linked to calm wind is reduced. At the same time, this requires sufficient transmission capacity. Despite the aggregation effect, there are periods when there is very low wind throughout northern Europe, although it is quite rare. These situations are probably the biggest challenge for the electricity system. A continued strong expansion of wind power means that in the long run it will constitute a very large share of Sweden's electricity supply. It also means that the potential consequences of climate change on wind power can have a major impact on the electricity system.

We suggest five generic measures that apply to most of the identified consequences (1) learn from others, which may be from countries where they have come further, but also other industries that have similar issues; (2) raise awareness of local variations in climate change; (3) increase understanding of the consequences for wind power, prioritize them, initiate measures and make proper requests to suppliers; (4) monitor developments regarding climate change and its consequences, in order to determine future needs for research and development; (5) identify responsible actors and form effective collaborations.

We also note that the ongoing technological development addresses several of the consequences of climate change. For example, improved power electronics that can resist wet conditions, optimized park control to increase electricity production and reduce loads.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Metod	8
1.3	Teknikutveckling	10
2	Klimatförändringar	12
2.1	Om klimatscenarierna	12
2.2	Klimatscenarier för aktuellt energislag	15
3	Konsekvenser, risker och åtgärder	16
3.1	Sammanfattande bild över konsekvenser och tillhörande klimatindex	16
3.2	Ökad isbildning	18
3.3	Förändrad medelvindhastighet	22
3.4	Fler och kraftigare stormar	23
3.5	Ökad risk för stiltje och låg vind	25
3.6	Ökad risk för brand	26
3.7	Förändrad turbulens	28
3.8	Minskad Utbredning av havsis	29
3.9	Övriga potentiella konsekvenser	31
4	Fördjupade analyser	37
5	Strategi för anpassning och åtgärder	39
6	Slutsatser och diskussion	42
7	Referenser	44

1 Inledning

Den globala uppvärmningen påverkar jordens klimat i olika grad på olika ställen. Klimatförändringen medför både möjligheter och utmaningar för energisystemet. Denna studie har som mål att beskriva och analysera de viktigaste konsekvenserna för vindkraften.

1.1 BAKGRUND

I Parisavtalet fastslås att den globala temperaturökningen ska begränsas till under 2°C över förindustriell nivå, med strävan efter max 1,5°C. Samtidigt har temperaturen redan stigit med över en grad. På våra nordliga breddgrader går klimatförändringarna snabbare och temperaturökningen är kraftigare. Ökad temperatur driver andra klimatförändringar såsom förändrad nederbörd, vind och molnighet. Klimatförändringarna kommer att påverka energisektorn på olika sätt. Energisystemets sårbarhet ökar samtidigt som produktionsförutsättningarna för olika energislag förändras. Elnätet påverkas och användningen av el, värme och kyla förändras.

I Energiforsksprojektet *"Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet"* har Profu, SMHI, IVL Svenska miljöinstitutet och Chalmers Tekniska Högskola tillsammans analyserat hur ett förändrat klimat kan påverka energisektorn. Projektet har omfattat påverkan på vattenkraft, vindkraft, kärnkraft, bioenergi, elnät samt energianvändning, fjärrvärme och fjärrkyla. Begränsade analyser har även gjorts kring påverkan på solenergi och dammsäkerhet. Analyserna har utgått från klimatscenarier och energisystemscenarier för att beakta förväntad utveckling av såväl energisystemet som klimatet i framtiden. SMHI har tagit fram en mängd klimatindex för att beskriva hur väder- och klimatrelaterade faktorer kan ändras vid temperaturnivåer på +1,5°C, +2,0°C, +3,0°C och +4,0°C över förindustriell tid. Dessa sammanfattas i Dessa sammanfattas i en separat Energiforskrapport (Kjellström m.fl., 2021), medan de klimatparametrar som är relevanta för, medan de klimatindex som är relevanta för vindkraften beskrivs i kommande avsnitt.

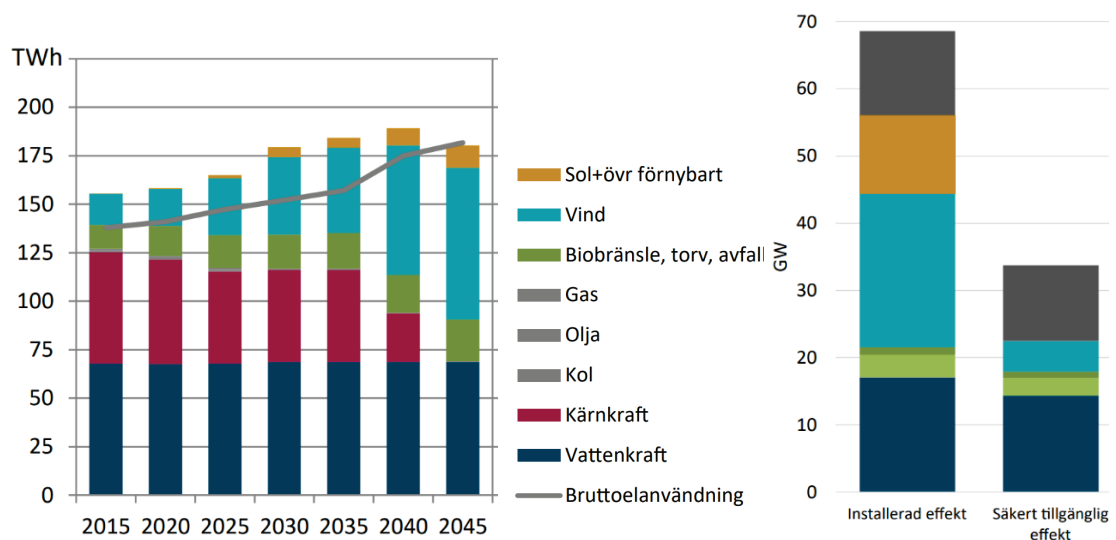
Denna rapport är en delrapport från projektet och fokuserar på hur klimatförändringar kan påverka vindkraften. Övriga delrapporter från projektet finns att ladda ner från Energiforsks hemsida.¹

Fokus för denna delrapport är alltså hur klimatförändringen kan påverka vindkraften som produktionsslag. Även om analys av systemeffekter på grund av klimatförändringen kommer att genomföras i en separat rapport är det oundvikligt att helt bortse från de systemrelaterade frågorna i denna delrapport. Vi behöver åtminstone sätta in vindkraften och dess utveckling i ett sammanhang för att kunna ge en helhetsbild. För ett bredare systemperspektiv hänvisar vi dock till den delrapport som fokuserar just på klimatförändringens påverkan på hela energisystemet.

¹ www.energiforsk.se

Vindkraften har haft en stark utveckling sedan 2008 där elcertifikatsystemet initialt drev på utbyggnaden i stor utsträckning. 2015 gick dock utbyggnadstakten ned kraftigt då lönsamheten var för låg för att motivera en fortsatt utbyggnad, vilket främst berodde på bedömning om framtida låga elpriser och elcertifikatpriser. Utbyggnadstakten tog dock rejäl fart igen under 2019 då vindkraftverken blivit alltmer konstadseffektiva och projekteringsarbetet för nya vindkraftparker i stor utsträckning hade fortsatt under åren med låg utbyggnad. Även framgent talar mycket för att utbyggnaden av vindkraft kommer att fortsätta i rask takt, och därmed utgöra en stor andel av Sveriges elproduktion i framtiden. I ett framtidsscenario där Sverige fortsätter att sträva mot en ökad andel förnybar elproduktion, som tagits fram inom ramen för NEPP (North European Energy Perspectives Project), bedöms elproduktion från vindkraft utgöra upp emot 100 TWh per år (Bruce m.fl., 2019).

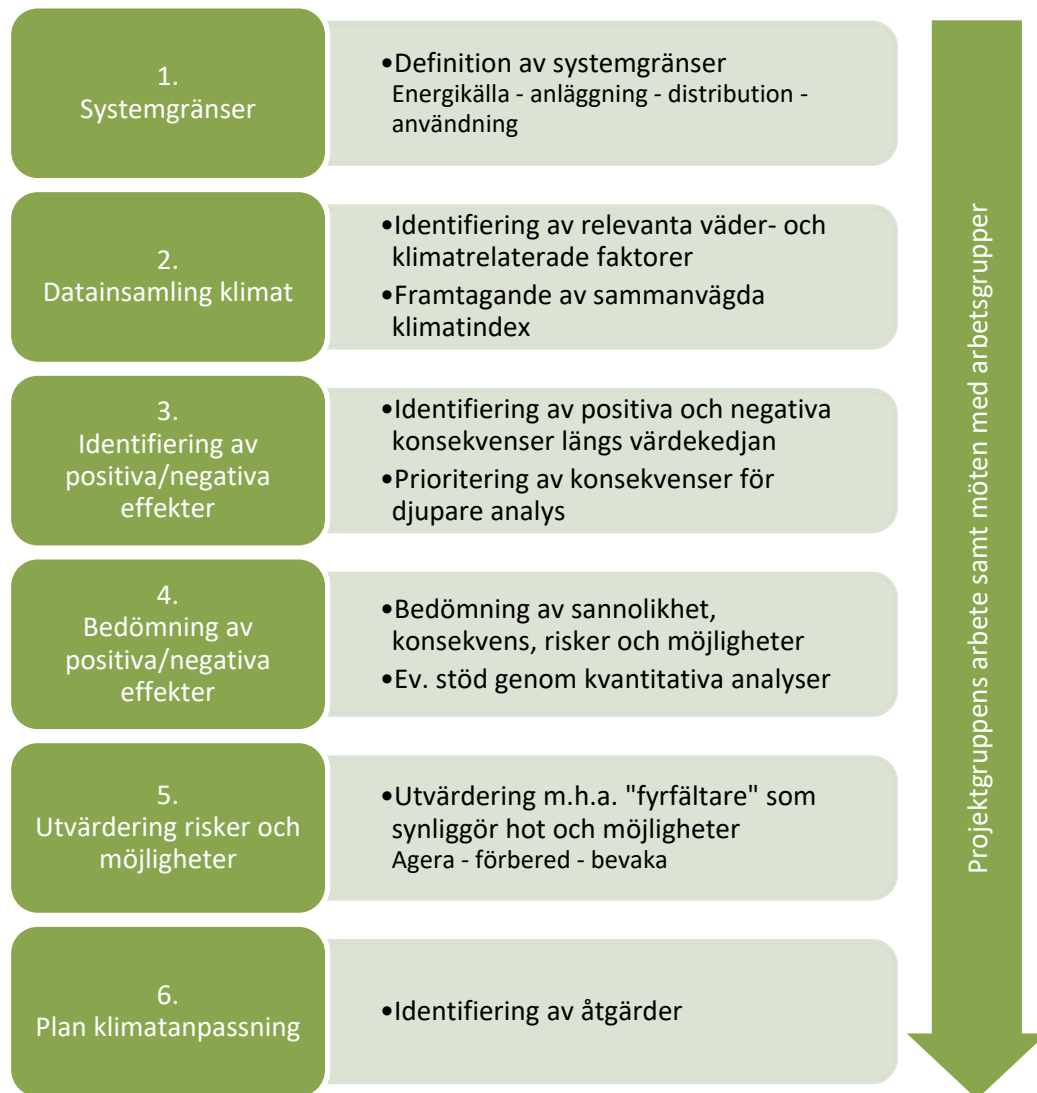
Figur 1 visar utfallet av ett förnybarhetsscenario (Rydén m.fl., 2019). Till vänster visas elproduktion per kraftslag, samt bruttoförbrukningen för perioden 2015–2045. Som ses av figuren kommer vi enligt detta scenario ha ett energiöverskott fram till och med 2040 och därefter ha en ett litet underskott. Till höger i figuren visas installerad effekt och säker tillgänglig effekt för scenariot år 2045. Notera att säker tillgänglig effekt utgår från Svenska Kraftnäts definition om hur mycket effekt man bedömer finnas tillgänglig i situation då den verkligen behövs (Svenska Kraftnät, 2018).



Figur 1: Till vänster visas elproduktion per kraftslag samt bruttoanvändning i ett förnybarhetsscenario, och till höger visas installerad effekt och säker tillgänglighet effekt.

1.2 METOD

Figur 2 sammanfattar på övergripande nivå den metodik som använts i projektet. Metodiken har inspirerats av en risk- och sårbarhetsmetodik som VTT i Finland utvecklade 2008 inom ramen för ett nordiskt forskningsprojekt kring konsekvenser för energisystemet av klimatförändringar (Molarius, 2008). Denna metodik har sedan vidareutvecklats under projektets gång och ett flertal verktyg och mallar har tagits fram och anpassats till projektets olika delstudier.



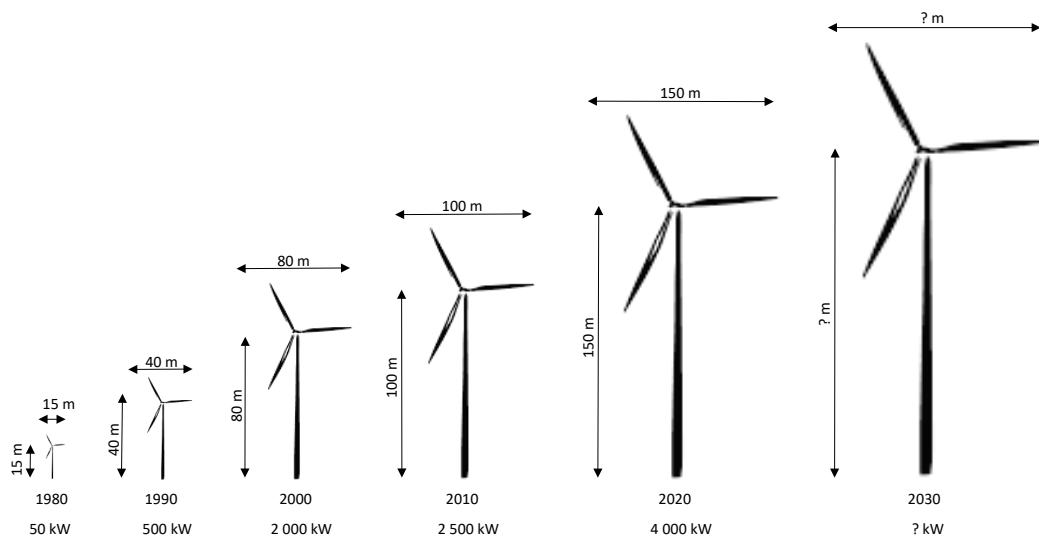
Figur 2. Övergripande metodik för projektet som använts för de flesta energislag. Viss iteration har skett mellan de olika delmomenten under projektets gång. Metodiken är en vidareutvecklad version av en risk- och sårbarhetsanalys som VTT i Finland tagit fram (Molarius m.fl., 2008). Molarius m.fl. inkluderade även som ytterligare steg i sin metodik genomförande av anpassningsplan, vilket inte har ingått i detta projekt.

Analyserna av konsekvenser, risk, sårbarhet och åtgärder har genomförts av projektgruppen i nära samarbete med sex arbetsgrupper (vattenkraft, vindkraft, kärnkraft, bioenergi, elnät samt energianvändning, fjärrvärme och fjärrkyla). Dessa grupper har träffats tre gånger. I slutet av projektet etablerades även en arbetsgrupp kring dammsäkerhet som träffades en gång. I varje arbetsgrupp deltog 10–15 personer från energiföretag, myndigheter, branschorganisationer, forskare med mera. Diskussionerna med arbetsgrupperna har varit mycket värdefulla för projektet.

1.3 TEKNIKUTVECKLING

Då vindkraften fortfarande är ett relativt ungt kraftslag som ligger i en kraftig utbyggnadsfas så inleder vi med en kort redogörelse av den teknikutveckling som skett under senare år och som fortfarande sker. Anledningen till detta är att en stor del av den teknikutveckling som nu sker har betydelse för att hantera de potentiella konsekvenser som klimatförändringen kan leda till för vindkraften som kraftslag.

Vindkraften har genomgått en kraftig teknikutveckling under de senaste decennierna, inte minst vad gäller storlek som ses av Figur 3. Det har främst handlat om högre torn, större rotor och ökad effekt för att få ut mer elproduktion och därmed öka kostnadseffektiviteten. Även om tekniken har mognat betydligt så finns det som sagt fortfarande en kraftig utveckling som gör att vindkraften blir alltmer kostnadseffektiv och utvecklas i en riktning som adresserar flera av de konsekvenser, kopplat till klimatförändringen, som vi identifierat i detta projekt.



Figur 3: Ungefärlig utveckling av storlek på ett vindkraftverk för de senaste decennierna.

Nedan ges en kort beskrivning av den pågående teknikutvecklingen och kostnadseffektivisering som vi ser framför oss gällande vindkraft. Det är också denna utveckling som gör att vindkraft lär fortsätta växa kraftigt de närmaste decennierna (IRENA, 2019; Watson m.fl., 2019).

- Ökad kostnadseffektivitet vad gäller elproduktion
 - Förbättrad bladaerodynamik och material för att maximera elproduktionen.
 - Avancemang i turbinteknologi som leder till kostnadsreduktion.
 - Optimerad parkstyrning för att minska vakeffekter, vilket kan öka produktion och reducera laster.
- Minskade kostnaderna för drift och underhåll

- Innovationer på materialsidan som är viktiga för att förbättra prestandan, speciellt i tuffa miljöer som exempelvis till havs och i ökenmiljö.
- Förbättring av kraftelektronikens tillförlitlighet och dimensionering kan reducera både installations- och driftskostnader.
- Förbättrat fuktskydd kan minska fel på kraftelektronik pga kondens.
- Ökad skalbarhet för att skapa intelligenta kraftmoduler, t ex sintrade modeller med nära 30% högre kraftdensitet än traditionell elektronik.
- Minska mängden delar, för att förbättra tillförlitlighet på kraftelektronik.
- Algoritmer för prediktering av fel för att förbättra underhåll, vilket kan minska kostnader för felavhjälpning, antal fel och stilleståndstid.

2 Klimatförändringar

Klimatförändringarna kan påverka ett flertal aspekter som har betydelse för vindkraften. I detta avsnitt beskrivs och analyseras några av dessa. Sannolikheten för relevanta klimatförändringar kombineras med bedömningar av tänkbara konsekvenser.

2.1 OM KLIMATSCENARIERNA

Den pågående globala uppvärmningen har gjort att den globala medeltemperaturen idag ökat med nästan 1,2°C jämfört med förindustriell tid (WMO, 2020). Klimatförändringarna märks redan även i Sverige och temperaturökningen här är väsentligt större än den vi ser i det globala medelvärdet. För perioden 1991–2019 jämfört med 1861–1900 har Sveriges medeltemperatur ökat med 1,7°C, motsvarande siffra för den globala medeltemperaturen är 0,8°C. Den globala uppvärmningstakten är nu 0,2°C/årtionde. Vid fortsatt uppvärmning i samma takt kommer den globala temperaturen att överskrida +1,5°C jämfört med förindustriell tid någon gång mellan 2030 och 2052 och +2°C ytterligare 20–30 år senare (IPCC, 2018).

Hur stor uppvärmningen faktiskt blir, särskilt i ett tidsperspektiv på mer än 30 år, beror på framtidens utsläpp av växthusgaser och på klimatsystemets känslighet. Större utsläpp ger större uppvärmning och betyder att en viss uppvärmningsnivå nås snabbare än med mindre utsläpp. Beroende på hur stora utsläppen blir kan den globala uppvärmningen i slutet av seklet hamna på 1,5–5°C (IPCC, 2013; IPCC, 2018).

Den här rapporten fokuserar på +1,5°C och +2°C jämfört med förindustriell tid. Vi har också analyserat ytterligare uppvärmningsnivåer: +2,5°C, +3°C, +3,5°C och +4°C. Resultaten visar att klimatförändringssignaler blir större vid högre uppvärmningsnivåer. Detta medför generellt mer omfattande konsekvenser. I vissa fall kan konsekvensernas natur ändras vid högre uppvärmningsnivåer.

Här ger vi en kort generell inledning till hur klimatförändringen under det senaste seklet sett ut och vad som kan förväntas under resten av seklet. För mer utförliga beskrivningar se rapporten om klimatförändringar (Kjellström m.fl., 2021). Resultat från det här forskningsprojektet kommer att användas i SMHIs nya webbaserade klimatscenariotjänst som lanseras 2021. Det rekommenderas att undersöka i vilken grad motsvarande index som finns i den här rapporten har uppdaterats med nyare material. Både de observerade och de simulerade temperaturförändringarna för framtiden är generellt större över kontinenterna än över haven och allra störst är den i Arktis där minskad utbredning av snö och is förstärker förändringarna och leder till ännu högre temperaturökning. Sveriges nordliga läge, med snö och is under vinterhalvåret, gör att klimatförändringen redan är högst märkbar här. Generellt väntar vi oss därför fortsatt ökad medeltemperatur främst för vinterhalvåret men även under sommaren. Särskilt väntas vintersäsongen bli kortare och sommaren längre vilket är något som redan nu har observerats.

Även nederbördsklimatet ändras när den globala medeltemperaturen ökar. Eftersom högre temperatur betyder att luften kan innehålla mer vattenångor sker större avdunstning från hav, sjöar och vattendrag men också från fuktiga markytor och vegetation. Mer vatten i kretsloppet betyder också mer nederbörd vilket för Sveriges del innebär ökad nederbörd främst under vinterhalvåret, då med ökat inslag av regn och mindre snöfall i allmänhet. Även under sommaren pekar scenarierna generellt på ökad nederbörd men eftersom sommarnederbörden väntas minska längre söderut över Europa är det mer osäkert om huruvida det kommer att bli en nederbördsökning eller inte i de södra delarna av landet. Den större avdunstningen i ett varmare klimat leder också till ökad risk för torrare markförhållanden, särskilt under nederbördsfattiga år.

Sveriges klimat är präglad av en mycket stor variabilitet mellan varma och kalla år och mellan mer eller mindre nederbördsrika år. Den typen av variabilitet som vi observerar idag har funnits även tidigare och väntas också finnas kvar i ett framtida varmare klimat med förskjutningar mot allt varmare förhållanden och med ändringar i nederbörd enligt ovan. Många av förändringarna som är att vänta påverkar inte bara medelvärden över längre perioder som år, säsong eller månad utan kan också påverka kortare förlopp som t.ex. ändrad intensitet hos kortvariga skyfall. Det här gör att många väderrelaterade extremer också förväntas ändras i ett varmare klimat. Några exempel är: ökad risk för intensiva skyfall och ökad nederbörd i samband med frontsystem och lågtryck, ökad risk för värmeböljor och höga temperaturer, minskad risk för köldknäppar och låga temperaturer.

Klimatinformationen i den här rapporten baseras på resultat från simuleringar med ett stort antal regionala klimatmodeller från EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) där beräkningarna har gjorts på ett beräkningsgrid med 12,5x12,5 km horisontell upplösning för Europa och stora delar av Nordatlanten. De regionala modellerna har tagit drivdata från ett antal globala klimatmodeller från CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) som låg till grund för mycket av resultaten bakom FN:s klimatpanels femte utvärderingsrapport (IPCC, 2013). Sammanlagt har en ensemble om upp till 65 klimatsimuleringar använts för analyserna. För vissa undersökta index har materialet varit begränsat till dryga 10-talet simuleringar då data från flera modeller saknats. Syftet med att inkludera många modeller och simuleringar är att på ett systematiskt sätt kunna beskriva några av de källor till osäkerhet som finns vad gäller framtida klimatförändringar.

För att identifiera vid vilken tidpunkt olika uppvärmningsnivåer nås har vi använt den globala medeltemperaturen i de globala klimatmodellerna. Där beräknar vi först löpande 30-årsmedelvärden och identifierar sen den första 30-årsperiod varvid temperaturökningen når upp till de olika uppvärmningsnivåerna i förhållande till 1861–1890. På så sätt kan vi jämföra delvis olika tidsperioder från olika klimatmodeller eftersom den globala uppvärmningen är samma i båda. I projektet har vi använt 1971–2000 som referensperiod mot vilket vi jämför de olika uppvärmningsnivåerna. Eftersom vi nu omkring 2020 redan är på god väg mot +1,5°C och på sikt +2°C har en del av de klimatförändringssignaler vi presenterar redan inträffat. För +1,5°C-nivån handlar det om drygt 60% och för +2°C-nivån drygt 40%. Dessa mått skall ses som en grov uppskattning av hur stor del av den förväntade klimatförändringssignalen som vi redan har upplevt. Den globala

medeltemperaturen är olika i början respektive slutet av 30-årsperioderna för respektive +1,5°C och +2°C vilket betyder att de analyserade perioderna som regel inte är beskrivningar av ett stationärt klimat.

I arbetet har vi tagit fram information för olika väder- och klimatrelaterade faktorer. Eftersom dessa är mer eller mindre komplexa har modellerna olika möjlighet att beskriva dem med olika detaljgrad. Vi har därför använt en rad olika variabler från modellerna som representerar värden för t ex temperatur, nederbörd eller luftfuktighet. Utifrån variablernas värde på dygnsbasis har vi beräknat en rad klimatindex. Dessa kan vara antingen enkla medelvärden motsvarande max- eller minvärde för variabeln i fråga. Det kan också vara frågan om mer komplicerade index som t ex hur många dagar i följd temperaturen varit över en viss nivå, eller hur många dagar på året som det finns snö på marken. Klimatindexen beskrivs i detalj i (Kjellström m.fl., 2021). För en del väder- och klimatrelaterade faktorer finns inga klimatindex som direkt kan svara på frågan om hur klimatiförändringen kan påverka energisystemet. I sådana fall har vi gjort bedömningar genom att väga samman flera index. T ex kan kombinationen av klimatindex för "effektiv nederbörd" (nederbörd minus avdunstning), "längsta torrperiod" (antal dagar utan nederbörd) och "värmebölja" (antal varma dagar i följd) användas för att beskriva torka och därigenom diskutera risken för skogsbränder.

Klimatindexen presenteras i kartor och diagram. Kartor har tagits fram för hela Europa och hela Skandinavien där fördelningen visas för varje enskild 12,5x12,5 km² gridruta i modellerna och dels specifikt för Sverige i de av SMHI använda väderprognosdistrikten. Väderprognosdistrikten har valts eftersom de motsvarar regioner i Sverige med olika väder och klimat som t.ex. skillnader mellan västra och östra Götaland i söder vilket till stor del påverkas av Sydsvenska höglandet och skillnader mellan fjälltrakter, inland och kusttrakter i Norrland. Utöver de 15 traditionella prognosdistrikten har vi också tagit fram data för själva kustzonen uppdelat på tre delar samt för de stora sjöarna.

Figurerna visar simulerade klimatiförhållanden under en referensperiod, satt till 1971–2000, och vid olika uppvärmningsnivåer, samt skillnaden mellan framtida uppvärmningsnivåer och 1971–2000. Utöver förändring i ensemblemedelvärde visar vi också på spridningen inom ensemblen definierad som interkvartilavståndet (IQR) mellan 25- och 75-percentilerna. Spridningen i resultat mellan enskilda år för de olika simuleringarna skiljer sig mellan olika modeller. Modellerna uppvisar delvis olika klimat och klimatiförändringssignal, både vad gäller absolutvärden och spridning mellan åren.

När vi sammanställer resultaten har vi använt följande terminologi:

- "mycket troligt" i vilket vi lägger att det finns en entydig signal och att bedömningen görs baserat på ett stort antal projektioner
- "troligt" där vi ser en relativt entydig signal baserat på relativt många projektioner
- "mindre troligt" där vi ser en liten signal baserat på många projektioner
- "osäkert" där vi antingen ser olika signaler eller har bara ett fåtal projektioner att tillgå.

I alla fyra fallen kan också annan information utöver de EURO-CORDEX-simuleringar som beskrivs här användas för att bedöma huruvida en viss förändring är trolig eller ej.

2.2 KLIMATSCENARIER FÖR AKTUELLT ENERGISLAG

De viktigaste klimatparametrarna ur ett vindkraftsperspektiv är:

- Vind
- Temperatur

För vind är det vindhastigheter och antal dagar med och utan vind som påverkar mest. För temperatur kan låga temperaturer ge isbildning på rotorblad. Isutbredning till havs påverkar åtkomsten till havsbaserade kraftverk.

Vind på navhöjd (100–200 m) finns inte att tillgå i klimatscenarierna. Istället har vinden på 10 m kompletterats med vinden på 975 och 925 hPa-nivåerna, vilket ungefär motsvaras av 300 och 750 meter. Förändringarna i vind beräknas vara små på alla nivåer. Förändringen i medelvind ligger inom ± 0.05 m/s i hela Sverige vid en global uppvärmning på 2 °C. Förändringen i antal lugna dagar ligger inom ± 2 på 10 m. Förändringar i vindriktning och vindhastighet beror på den storskaliga atmosfäriska cirkulationen. Hur den kan komma att förändras råder det osäkerhet om. Små förändringar i stormbanor har liten betydelse för vindklimatet i ett större område, men kan lokalt få stor betydelse.

Temperaturen beräknas öka i framtiden. Det gör att risken för isbildning på rotorblad minskar i södra Sverige, där en uppvärmning betyder färre dagar under och nära noll grader. I mellersta/norra Sverige kommer risken samtidigt att öka. En uppvärmning där betyder fler dagar nära noll grader vilket är gynnsamt för isbildning. Ett varmare klimat betyder också kortare issäsong i Östersjön och Västerhavet, vilket förkortar perioden då kraftverken inte går att nå.

Sammanfattningsvis, är sannolikheten låg för att förändringar i vind kommer att ha betydande påverkan på vindkraftverken. Även om det finns osäkerheter kopplade till vindklimatet. Det är mycket troligt att klimatet blir varmare vilket påverkar driften av vindkraftverk.

3 Konsekvenser, risker och åtgärder

Vindkraftens utveckling har varit väldigt stark under de senaste åren och det mesta tyder på en fortsatt kraftig utbyggnad. Detta betyder också att konsekvenser som klimatiförändringen får för vindkraften kommer att få betydelse för energisystemet i övrigt.

3.1 SAMMANFATTANDE BILD ÖVER KONSEKVENSER OCH TILLHÖRANDE KLIMATINDEX

Projektet inleddes med att analysera olika aspekter av klimatiförändringen och baserat på detta identifierades potentiella konsekvenser för vindkraft. Totalt identifierades 16 potentiella konsekvenser som bedömdes påverka vindkraften i olika utsträckning. Därefter genomfördes en prioritering, av arbetsgruppen, som det sedan fördes en fördjupad diskussion om. I Tabell 1 visas de potentiella konsekvenser som arbetsgruppen förde en djupare diskussion om och dessutom inkluderades dessa i en så kallad riskmatris (se nedan). De övriga potentiella konsekvenserna som inte bedöms som lika stora beskrivs senare i detta avsnitt.

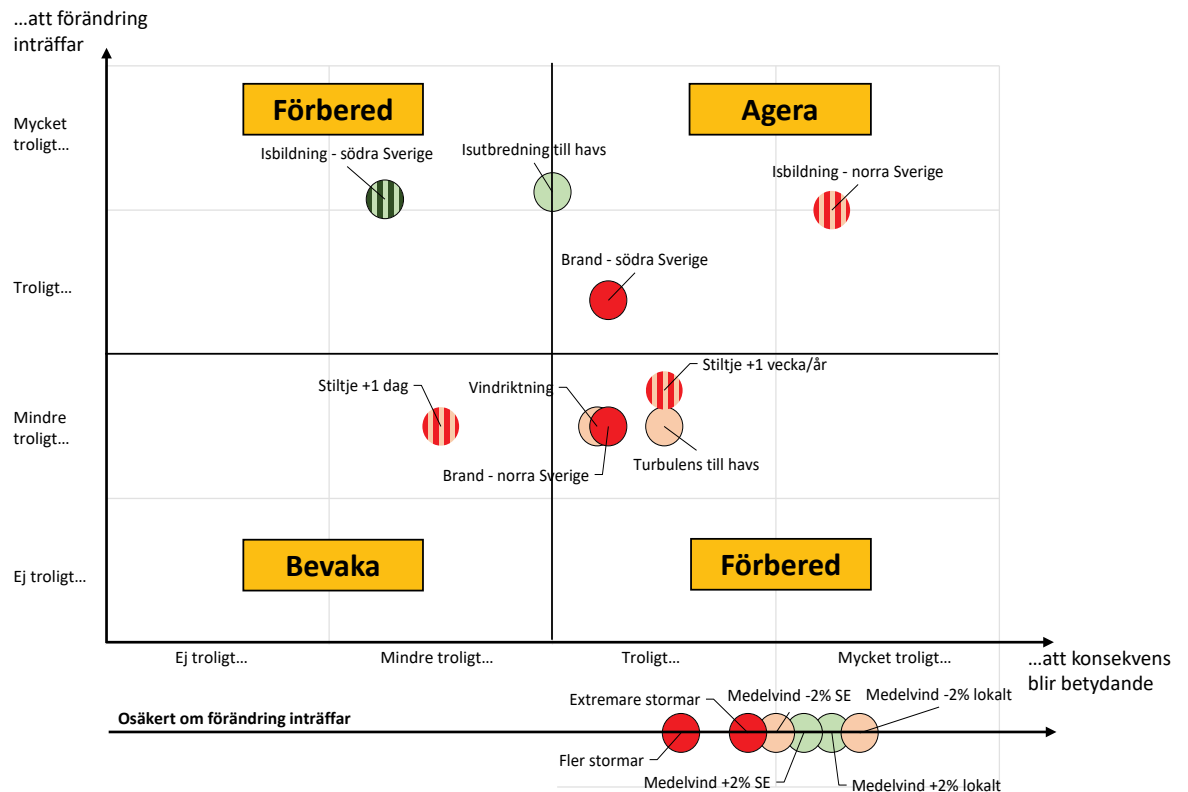
Tabell 1: Prioriterade potentiella konsekvenser och klimatindex som påverkar dessa, vilka inkluderats i riskmatrisen.

Potentiell konsekvens	Sammanvägt klimatindex
Ökad nedisning på blad kan leda till: - Stillestånd - Lägre elproduktion under drift - Iskast och därmed personfara	Mycket troligt att Götaland och Östersjön får varmare vintrar med färre dagar nära noll, vilket minskar risken för isbildning. För Norrland och Bottenviken är det mycket troligt att ett varmare klimat innebär att fler vinterdagar är nära noll i stället för klart under, vilket ökar risken för isbildning. Svealand och Bottenhavet ligger på gränsen mellan minskad och ökad risk.
Förändrad medelvindhastighet är avgörande för elproduktion och påverkar därmed lönsamhet.	Obetydliga förändringar i alla index i alla regioner för alla årstider på både låg och hög höjd.
Perioder med stiltje ökar risk för effektbrist i systemet, vilket kan påverka vindkraftens lönsamhet.	Obetydliga förändringar i alla index i alla regioner för alla årstider på både låg och hög höjd.
Fler och kraftigare stormar som kan leda till att stora delar av vindkraften plötsligt stängs ned.	Obetydliga förändringar i alla index i alla regioner för alla årstider.

Ökad brandrisk, dvs stora skogsbränder kan försvåra accessen till vindkraftparker långvarigt	Finns inget index som direkt beskriver brandrisk. Förhållanden för brandrisk påverkas av ett varmare klimat. Ett tydligt resultat av en allt längre sommarsäsong är att risken ökar för att nederbördsfattiga och torra somrar kan blir ännu torrare än idag. Samtidigt väntas nederbörden generellt öka i stora delar av landet vilket motverkar detta. I medeltal och för mer nederbördsrika år väntas generellt inte någon ändring i risken för bränder. Huruvida det blir fler antal dagar med brandrisk eller om antalet dagar blir ungefär detsamma som idag men med större risk är osäkert och mer detaljerade studier behövs här. I söder, där nederbördsförändringen på sommaren beräknas vara liten, är sannolikheten för ökad brandrisk större än i norr.
Förändrad turbulens kan påverka produktionsförmåga men framförallt slitage på vindkraftverk	Inget index om turbulens har tagits fram inom projektet.
Minskad utbredning av havsis påverkar möjligheter för lokalisering till havs.	Data finns endast från ett fåtal globala modeller med låg upplösning. Mycket troligt att isutbredningen minskar i ett varmare klimat. Mellanårsvariationen minskar i de områden där isutbredningen närmar sig noll.

Potentiella konsekvenser och klimatindex i *Tabell 1* har analyserats vidare för att ingå i den riskmatris som visas i Figur 4. Figuren visar en bedömning av hur sannolikt det är att respektive aspekt av klimatförändringen inträffar på y-axeln och en bedömning på x-axeln hur troligt det är att konsekvensen blir betydande. I de fall det råder en stor osäkerhet att förändringen inträffar har endast en bedömning av hur troligt det är att konsekvensen blir betydande ifall förändringen inträffar gjorts. Färgkodning som gäller är att en röd prick avser en negativ konsekvens kopplat till en plötslig händelse medan en ljusröd prick omfattar en successiv negativ förändring². Randiga prickar betyder att det är kopplat till både plötslig händelse och successiv negativ förändring. När det gäller möjligheter har de kodats gröna på samma sätt, dvs. grön för en plötslig händelse, ljusgrön för en successiv negativ förändring.

² Exempel på plötslig händelse kan var avbrott på grund av stormar medan successiv negativ förändring kan vara att elproduktionen försämras på grund av lägre medelvind.



Figur 4: Riskmatris inkluderande de prioriterade konsekvenser som arbetsgruppen bedömt. Y-axeln indikerar sannolikheten för att förändringen inträffar och x-axeln visar arbetsgruppens bedömning av att konsekvensen blir betydande för branschen inom loppet av 20 år. Röd prick avser en plötslig händelse som innebär en risk, ljusröd en successiv negativ förändring, ljusgrön en successiv positiv förändring, och en randig både plötslig händelse och en successiv förändring.

3.2 ÖKAD ISBILDNING

Isbildning är främst ett problem kopplat till rotorbladen som idag kan få stora konsekvenser för vindkraftparker i norra delarna av Sverige. I områden där man förväntar sig få stor ispåbyggnad på vindkraftbladen brukar man vanligen investera i någon form av teknik för att hantera isproblem. Det finns ett flertal olika tekniker som erbjuds av vindkraftleverantörer, men även fristående lösningar.

3.2.1 Beskrivning av konsekvens

Nedisning av rotorblad kan få stora negativa konsekvenser för vindkraften då det kan leda till relativt stora produktionsförluster om isförhållandena är ogynnsamma. Produktionsförluster kan uppstå om det blir så stor ispåbyggnad att man inte kan köra vindkraftverken alls, men det kan också röra sig om ispåbyggnad som gör att prestandan går ned och att elproduktionen därav blir lägre. I en analys av ett par vindkraftparker i norra Sverige var produktionsförlusterna upp emot 20% på grund av isbildning (Malmsten, 2011). Förutom själv produktionsförlusten kan också en felprognostisering av ökade kostnader för balanskraft. Dessutom kan vindkraftsproduktion med is på bladen bidra till ökat slitage på verken, vilket kan leda till driftavbrott och behov av

underhåll. En annan potentiell konsekvens av ispåbyggnad är att det kan leda till iskast som främst leder till personfara.

3.2.2 Bedömning av framtida klimat

I allmänhet betyder ett varmare klimat att vintersäsongen blir kortare, vilket betyder färre dagar med risk för isbildning. Det finns dock ett starkt beroende av tid och plats:

- Götaland och Östersjön får varmare vintrar som ger färre dagar nära noll, vilket minskar risken för isbildning.
- Norrland och Bottenviken ger ett varmare klimat fler vinterdagar nära noll istället för klart under, vilket betyder ökad risk för isbildning.
- Svealand och Bottenhavet ligger på gränsen mellan minskad och ökad risk. Vissa index ger ökning andra minskning.

3.2.3 Konsekvensbedömning

Redan idag är isbildning en stor fråga för de som ska etablera vindkraft i områden där risken för ispåväxt är hög, se kartan i Figur 5. Ett förändrat klimat leder till att förhållanden förändras så att vissa områden får lägre risk för nedisning medan den ökar i andra områden. Konsekvenserna är lokala men för de platser där isbildningsrisken ökar kan det få stora konsekvenser, och en stor del av vindkraftutbyggnad ser ut att ske i mellersta och norra delarna av Sverige där risken för isbildning förväntas öka.

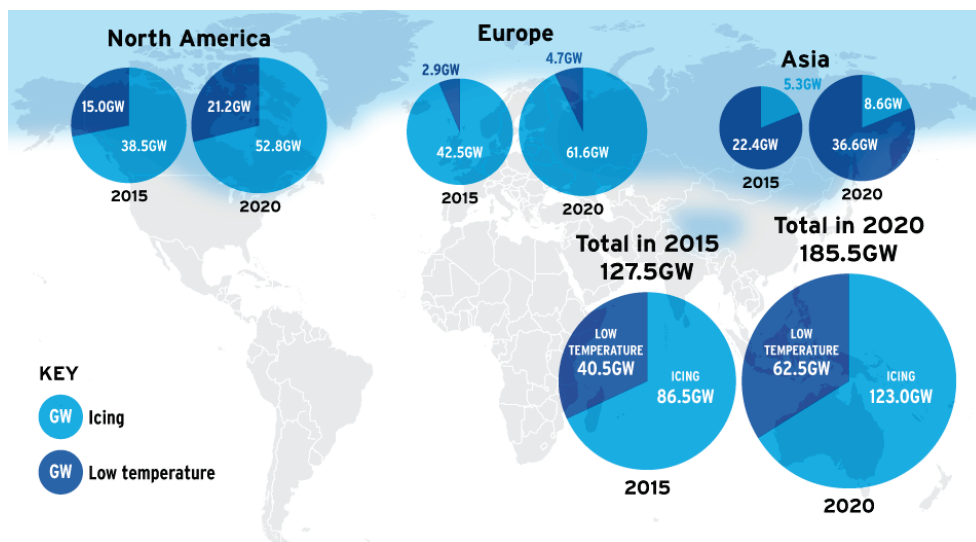
Sammantaget bedöms isbildning vara en av de potentiellt största konsekvenserna för vindkraften, då det påverkar på flera sätt och då stillestånd under vintertid snabbt kan leda till stora produktionsbortfall. Isbildning i norra Sverige hamnade med denna bedömning i kategorin agera, medan effekt snarare är något positiv i de södra delarna av Sverige.



Figur 5: Genomsnittligt antal timmar med nedisningsförhållanden 2000–2011 vid 100 m över marknivå (Björkjedal m.fl., 2012).

3.2.4 Åtgärder

En faktor som påverkat utvecklingen för vindkraft i kallt klimat och därmed hantering av nedisning är att en stor del av den installerade vindkraften byggs i områden där nedisning inte är något problem. En liten marknad innebär alltså att tillverkare inte satsar så mycket utvecklingsresurser på att hantera nedisning och kallt klimat. Marknaden för vindkraft i kallt klimat och områden med isbildning har dock vuxit under senare år, se Figur 6. Som ses av figuren så har installerad effekt på platser där isbildning är en fråga ökat med ca 42% under de senaste 6 åren.



Figur 6: Översikt över utveckling av installerad effekt i områden där kallt klimat eller isbildning sker.³

Det är viktigt att veta hur risken för isbildning för ett område kommer att se ut under ett vindkraftsprojekts livstid då det har stor betydelse för investeringskalkylen och för vilka åtgärder som bör vidtas, till exempel behov av avisningssystem och bedömning av riskområden för iskast.

När det gäller vindkraft och isbildning finns det en hel del pågående forskning och utveckling, samt idéer på åtgärder. I nedanstående punkter visas ett antal förslag på åtgärder för att hantera isbildning, samt kommentarer om pågående aktiviteter:

- Det finns ett behov av att kunna göra iskarteringar med hög kvalitet så att investerare får en uppfattning om konsekvenser kopplat till isförhållanden och kan ta välgrundade beslut gällande t ex behov av och val av system för avisning. Detta inkluderar att bedöma hur isbildningsförhållanden kan förändras över tid på grund av klimatförändringen.
- Forskning behövs för att öka kunskapen om när och var isbildning uppträder. Ett exempel är att förstå bättre hur fördelningarna av molndroppar och mängden salt i molnen förändras, och hur det i sin tur påverkar isbildning. En del av detta är att utveckla modeller för beräkning av vatten i moln och kondensation. Det finns också ett allmänt behov av fler beräkningar av hur detta påverkas av ett förändrat klimat. Ett annat exempel

³ <https://www.windpowermonthly.com/article/1403504/emerging-cold>

är att förbättra analys av förluster på grund av isbildning för att bättre kunna bedöma konsekvenser och kunna vidta lämpliga åtgärder.

- Det är viktigt med system för att detektera när isbildning är på gång, vilket det idag finns ett flertal olika tekniker för. Det kan vara att man med hjälp av SCADA detekterar avvikelser i prestanda som indikerar ispåbyggnad eller att man har separata isdetektorer (Lehtomäki, 2018). Det har också visats att probabilistiska metoder med maskininlärning kan förbättra produktionsprognoser kopplat till isrelaterade förluster (Molinder, 2021).
- Det behövs utvecklas pålitliga och kostnadseffektiva system för avisning och prevention, dvs. undvika ispåbyggnad. Det finns redan idag ett flertal olika tekniker för avisning av blad, vilka brukar delas in i passiva och aktiva system. Exempel på passiva system är beläggning på bladen som gör att is får svårare att fästa på dem eller färg som i absorberar värme som minskar ispåbyggnad. Exempel på aktiva system är att värma bladen på olika sätt eller att få rotorbladet att vibrera för att på så sätt skaka bort isen (Fakorede, 2016). Ett testcenter för vindkraft i kallt klimat finns i Norrbottens län och ombesörjs av RISE.⁴
- Öka förståelse gällande iskast. Det finns redan idag rekommenderat riskavstånd för iskast då vindkraftverk är i drift, vilket tagits fram i *"Svenska erfarenheter av vindkraft i kallt klimat – nedisning, iskast och avisning"* (Ronsten, 2014). Det finns även vidare forskning gjord om risker kopplat till regelverk och hur man kan kommunicera detta (Beredesen m.fl., 2017).
- Man kan också söka samarbete med andra länder som har svåra isförhållanden, samt med andra branscher med liknande problematik kring isbildning, för att utbyta erfarenheter. En del i detta kan vara att gemensamt ställa krav mot leverantörer för att adressera dessa frågor, då marknaden för vindkraft i klimat med isbildning är relativt stor, se Figur 6.

Det finns förslag på ett flertal åtgärder för hantering av isproblem som visats ovan. Det finns också en hel del pågående arbete som också visats ovan, och mycket att detta knyts samman i Sveriges årliga konferens Winterwind.⁵ Ett steg i att få ett ökat fokus på klimatförändringen betydelse för vindkraft kopplat till isbildning skulle kunna vara att presentera detta arbete på konferens Winterwind. Det kan också vara av värde att löpande sammanställa den utveckling som sker för att de aktörer som berör ska lättare kunna agera på ett korrekt sätt.

⁴ www.ri.se/sv/test-demo/testcenter-vindkraft-i-kallt-klimat

⁵ <https://winterwind.se/>

3.3 FÖRÄNDRAD MEDELVINDHASTIGHET

Medelvindhastigheten är avgörande för om en vindkraftpark ska byggas eller inte. Det krävs normalt vindmätningar och standardiserade analyser för att få klartecken från finansörer om att vindförutsättningarna är tillräckliga för att nå förväntad lönsamhet i ett projekt.

3.3.1 Beskrivning av konsekvens

En förändring medelvindhastigheten är avgörande för vindkraftverkens elproduktion. Även en relativt liten förändring av vindhastigheten kan få en stor påverkan på årlig elproduktion och blir därför väldigt viktig för vindkraftens lönsamhet.⁶ Även en förändring av vindprofilen, dvs. andel hög vindhastighet respektive lågvindhastighet som bygger upp medelvindhastighet, har stor betydelse för hur stor den årliga elproduktionen blir.

3.3.2 Bedömning av framtida klimat

Obetydliga förändringar i alla index i alla regioner för alla årstider på både låg och hög höjd.

3.3.3 Konsekvensbedömning

Även en liten förändring av medelvindhastigheten får som sagt en stor påverkan på elproduktionen och därmed lönsamheten för vindkraft. I riskbedömningen har en potentiell förändring därför bedömts få en stor konsekvens. Även om bedömningarna är osäkra i dagsläget så visar de klimatanalyser som genomförts att det endast kommer att bli obetydliga förändringar av vindklimatet. Då det råder osäkerhet gällande hur klimatförändringen påverkar vindhastighet gjordes en bedömning för både ökat och minskad medelvindhastighet. Förändringen som antogs var plus eller minus 2% förändrad årsproduktion. Arbetsgruppen ansåg att det påverkar lönsamheten så pass mycket att konsekvens troligen blir stor ifall en förändring sker, och därmed torde den närmast hamna i kategorin förbered.

3.3.4 Åtgärder

Vindhastigheten är som sagt en oerhört viktig faktor för vindkraften och det finns mycket kunskap om detta, men mindre om hur klimatförändringen kommer att påverka vindförutsättningarna framgent. I detta avsnitt fokuseras det åtgärder som kan behöva vidtas kopplat till förändrad medelvindhastighet, men det kopplar också i viss utsträckning till förändrade extremvindar och stiltje. Anledningen är att dessa torde ha en stark koppling till varandra och vissa delar av de åtgärder som föreslås kan ha koppling till de vindförhållanden som kommer att behandlas senare.

Baserat på att det råder stor osäkerhet om hur medelvindhastigheten kommer att förändras på grund av klimatförändringen, så är en viktig åtgärd framförallt att öka kunskapen om framtida vindklimat.

⁶ Hur mycket beror på typ av vindkraftverk, medelvind och vindprofil. Men för att ge en uppfattning om storleksordningen, så kan 0,1 m/s ökad årsmedelvind ge ca 3% mer årlig elproduktion.

- Man behöver få bättre analyser av generellt förändrad medelvindhastighet kopplat till klimatförändringen. Men även att få bättre lokal kunskap om hur medelvinden förändras för att kunna ta initierade investeringsbeslut. Ett exempel kan vara att studera hur strömningsmönster förändras, då det påverkar vindhastigheten. Små förändringar i det Europeiska vindklimatet, som förskjutningar av stormbanor, kan få stor effekt på det lokala vindklimatet. Minskad isutbredning i Österjön kan också påverka det lokala vindklimatet. Det finns ett projekt inkluderande Energiforsk, SMHI, Chalmers och Profu som startar under våren 2021, där SMHI kommer att genomföra modellering med en högre upplösning med specifik fokus på vindkraft som kan bidra till att ge svar hur vindförhållandena kommer att förändras.
- Det finns behov av att öka kunskap om hur termisk och dynamisk stabilitet förändras och hur det i sin tur påverkar vindkraften.
- Då vindprofilen är viktig för produktionen finns det anledning att studera hur vindfördelningen förändras regionalt.
- Man bör öka kunskapen om hur vindskjuvningen förändras och hur det påverkar vindkraften. En faktor som särskilt påverkar de norra delarna av Sverige är hur konsekvenserna av mindre is över Bottenhavet påverkar vindkraften. Skapar det mer turbulens, som drar mer energi ur gradientvinden, med minskad energi som följd? Eller ger det minskad skjuvning över rotordisken som gör att produktionen inte minskar?

En förändrad medelvindhastighet påverkar främst elproduktionen och därmed lönsamheten för vindkraft. En ökning av medelvinden förbättrar lönsamheten för vindkraften, medan en lägre medelvindhastighet sänker lönsamheten. Alla åtgärder som bidrar till kostnadseffektivare vindkraftparker hjälper till att hantera en eventuellt minskad vindhastighet. Som tidigare beskrivits finns det mycket pågående utveckling som fokuserar på just detta.

3.4 FLER OCH KRAFTIGARE STORMAR

Vindkraftverk är dimensionerade för att klara väldigt kraftiga vindar, upp emot 70 m/s i vindbyarna. Gränsen för vid vilken vindhastighet som ett vindkraftverk normalt kan producera el är dock betydligt lägre, men fortfarande ganska hög. Det finns också olika klassningar av vindkraftverk utifrån vilka vindförhållanden de är designade för (IEC 61400).

3.4.1 Beskrivning av konsekvens

Extremvindar och stormar kan leda till att stora delar av vindkraften plötsligt stängs ned. En konsekvens som också kan inträffa kopplat till detta är att det uppstår fel på ett större antal vindkraftverk som gör att det tar betydligt längre än själva stormen varar innan alla vindkraftverk är i full drift igen.

Det finns exempel i Sverige där vindkraftverk har havererat helt vid kraftiga stormar, även om det är sällsynt.^{7,8} Detta har dock handlat om enstaka vindkraftverk, vilket inte får någon större påverkan förutom möjligen för den enskilde vindkraftsägaren och försäkringsbolaget. Istället är det vanligare att stormar leder till väldigt hög produktion.^{9,10} Under stormen Ciara år 2020 blev produktionen så hög i förhållande till behovet att minuspriser stundtals uppstod på spotmarknaden.¹¹ Detta fenomen torde öka vid en allt större andel vindkraft i elsystemet.

3.4.2 Bedömning av framtida klimat

Obetydliga förändringar i alla index kopplade till stark vind (medelvindhastighet, maximal byvind, antal dagar med maximal byvind över 21 m/s). Osäker signal på grund av osäkerheter i hur vindklimatet ändras över Nordatlanten och Nordeuropa. Små förändringar i det storskaliga vindklimatet kan få stor betydelse på det lokala vindklimatet.

3.4.3 Konsekvensbedömning

Plötsliga stillestånd vid hög vind innebär naturligtvis till intäktsbortfall för de vindkraftparker som drabbas, vilket blir större om det leder till följdfel som ger längre stillestånd. Tekniken har dock utvecklats under senare år, vilket innebär att mängden följdfel vid stormar har minskat. Dessutom har teknikutvecklingen under de senaste åren lett till att man reducerar effekten gradvis vid hög vindhastighet. Det är dock fortfarande så att många vindkraftverk stängs av abrupt och de som reducerar effekten gradvis har en ganska brant kurva. Mängden förlorad elproduktion har dock minskat kraftigt tack vare utvecklingen.

För elsystemet finns det också problem som kan uppstå om vindkraften utgör en allt större andel av elförsörjningen och plötsliga större avbrott inträffar, eller kraftig reduktion av elproduktion. I en separat fördjupningsstudie har vi studerat hur vinden korrelerar mellan olika platser i Sverige, men även runt om i Europa.

Sammantaget bedöms konsekvensen av mer extremvindar ha en ganska stor negativ inverkan om det inträffar. Å andra sidan är osäkerheten stor gällande om extremvindarna faktiskt kommer att förändras på grund av klimatförändringen, och om de iså fall ökar eller minskar.

3.4.4 Åtgärder

Problem med stormar har minskat under senare år då teknikutvecklingen gått framåt som att vindkraftverken kan hantera dem bättre. Det har framkommit ett ganska stort antal förslag på åtgärder kopplat till stormar och klimatförändringen:

⁷ www.wpd.se/aktuella-projekt/vindkraft-pa-land/aldermyrberget

⁸ <https://sverigesradio.se/artikel/7606079>

⁹ <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/ost/stormen-alfrida-satte-nytt-vindkraftsrekord>

¹⁰ <https://www.nordiskaprojekt.se/2020/02/17/stormen-dennis-gav-nytt-vindkraftsrekord/>

¹¹ <https://www.svt.se/nyheter/ekonomi/historiska-minuspriser-pa-el-i-stormigt-sverige>

- Först och främst handlar det om att öka kunskap om förekomsten av extremväder och hur det påverkas av klimatförändringen, för att kunna undvika skador på vindkraftverk som klassats för en lägre vindklass.
- Säkerhetssystem (styrsystem) är något som bör vara standardiserat så att det finns en trygghet i att dessa fungerar väl. Det finns också idag en IEC-klassning som används för att man ska placera rätt typ av vindkraftverk utifrån de förutsättningar som råder på platsen (IEC 61400).
- Man kan göra noggrannare platsundersökningar, så investerare får en bättre uppfattning om risker och hur stort slitage som kan förväntas. Till detta kopplar också att förbättra kunskaperna om vakeffekter och micro-siting skulle kunna ta klimatförändringen i beaktande. I detta sammanhang blir också förbättrad styrning och parkoptimering viktiga aspekter.
- Kraven på underhåll och revisioner bör öka om man bedömer att behov finns. Preventivt underhållsarbete blir viktigare och bör förbättras.
- Det vore värdefullt med ökad kunskap hos kravställare, t ex ägare och försäkringsbolag, som bör ha en god kunskap om placering och hur det påverkar slitage för samtliga delar som ingår i en vindkraftspark. Detta för att inte sitta i händerna på utländska vindkraftsleverantörer. Kravställarna behöver:
 - Ta fram underlag kring hur man skapar incitament för att åstadkomma förändringar som krävs.
 - Öka kunskapen gällande skador och slitage pga turbulens och vindriktningsändringar vid hög vind.
 - Studera hur förändrade laster påverkar olika delar i ett vindkraftverk, som blad, lager, nacell, torn och fundament. Undersöka verkliga fall och gör aerolastiska beräkningar för de förväntade förändringarna.

3.5 ÖKAD RISK FÖR STILTJE OCH LÅG VIND

Stiltje eller åtminstone låg vindhastighet innebär att elproduktionen från vindkraften är i noll eller väldigt låg. Normalt sett börjar ett vindkraftverk producera el vid en vindhastighet om ungefär 3 meter per sekund.

3.5.1 Beskrivning av konsekvens

Konsekvenserna av längre perioder med stiltje eller låg vind kan påverka vindkraften direkt genom lägre elproduktion, men framförallt kan det leda till konsekvenser för elsystemet då det ökar risken för effektbrist. Med det sagt så är alltså stiltje under vinterhalvåret av större betydelse än sommarhalvåret, både för vindkraftägare och elsystemet som helhet.

3.5.2 Bedömning av framtida klimat

Obetydliga förändringar i alla index (medelvind, antal stilla dagar, antal stilla dagar i följd) i alla regioner för alla årstider på både låg och hög höjd. Osäker signal på grund av osäkerheter i hur vindklimatet ändras över Nordatlanten och Nordeuropa. Små förändringar i det storskaliga vindklimatet kan få stor betydelse på det lokala vindklimatet.

3.5.3 Konsekvensbedömning

Även om inte klimatförändringen och dess påverkan på energisystem är i fokus i detta delprojekt kan vi dock konstatera att om andelen lågvindperioder minskar, så är det särskilt positivt för systemet då det kan hjälpa till att undvika effektbrist och vice versa. Stiltje eller perioder med låg vind bedöms få en mindre konsekvens om det endast blir en mindre förändring, men om tiden med stiltje ökar mycket får det också betydligt större konsekvenser.

En aspekt som blir viktig i detta perspektiv är hur vindhastigheten korrelerar mellan olika platser, dvs. blåser det på samma sätt överallt eller inte. En analys av detta visar att det finns en hög sammanlagringseffekt redan på ganska korta avstånd, dvs det blåser inte på samma sätt mellan olika platser.¹² Detta betyder att sannolikheten för stiltje i ett större område är liten och därmed också konsekvenserna för elsystem. Analysen visar dock att det finns en koppling mellan låg temperatur och låg vindhastighet, särskilt i Sveriges inland och vid kusten i Norrland, sannolikt för att det bildas is i Bottenviken så att det påminner mer om inlandsklimat under vintern. Det innebär att om Sverige får en väldigt stor andel vindkraft i elsystemet så kan det påverka försörjningstryggheten i perioder med riktigt kall väderlek.

3.5.4 Åtgärder

När det gäller stiltje och låg vind handlar åtgärderna för vindkraften direkt främst om att öka kunskapen om fenomenet. Ett exempel är att höja kunskapen om stationära väderlägen, och då framförallt om vi kan få fler och längre perioder med låg vind. Baserat på detta underlag kan man analysera hur produktionen förändras i olika regioner och hur de eventuellt sammanfaller. Detta är viktigt för att få en bättre uppfattning om konsekvenserna därav och vilka åtgärder man behöver vidta i andra delar av energisystemet för att hantera denna risk. När det gäller de direkta effekterna för vindkraften blir det också viktigt ut ett lönsamhetsperspektiv. Ur ett tekniskt perspektiv är det framförallt utvecklingen i att få vindkraftverken allt mer effektiva och producera vid låga vindhastigheter som har betydelse.

3.6 ÖKAD RISK FÖR BRAND

Konsekvenser för vindkraften kopplat till brand och skogsbrand är idag något som är relativt liten. Det förekommer fall där vindkraftverken börjat brinna och då vindkraftparker ofta är belägna i skog så finns det en naturlig koppling till detta.

¹² Enligt fördjupningsstudie genomförd i projektet (kommande publicering).

3.6.1 Beskrivning av konsekvens

Ökad brandrisk kopplar främst till stora skogsbränder, vilka kan försvåra accessen till vindkraftparker relativt långvarigt och påverka elöverföringen. Skogsbränder kan skada själva vindkraftverken också, men då området runt ett vindkraftverk är väl avverkat och vindkraftverken är då pass högt i förhållande till omgivande skog så är denna risk låg, se exempel i Figur 7. Vindkraftverken kan också vara upphov till att bränder startar, även om det väldigt ovanligt.¹³



Figur 7: Översiktsbild över en vindkraftspark i skog.

3.6.2 Bedömning av framtida klimat

Finns inget index som direkt beskriver ökad sannolikhet för brand och skogsbrand.

Förhållanden för brandrisk påverkas av ett varmare klimat. Ett tydligt resultat av en allt längre sommarsäsong är att risken ökar för att nederbördsfattiga och torra somrar kan bli ännu torrare än idag. Samtidigt väntas nederbörden generellt öka i stora delar av landet vilket motverkar detta. I medeltal och för mer nederbördsrika år väntas generellt inte någon ändring i risken för bränder. Huruvida det blir fler antal dagar med brandrisk eller om antalet dagar blir ungefär detsamma som idag men med större risk är osäkert och mer detaljerade studier behövs här. I söder, där nederbördsförändringen på sommaren beräknas vara liten, är sannolikheten för ökad brandrisk större än i norr. Mycket troligt att temperaturen ökar, att de varma dagarna blir fler och att värmeböljorna blir längre. Förändringen i nederbörd är liten på sommaren särskilt i södra Sverige. Troligt att avdunstningen ökar när temperaturen stiger. Mindre troligt att antalet torra dagar utan nederbörd blir fler

¹³ Enligt Caithness Windfarm Information Forum har man registrerat drygt 23 bränder per år under perioden 2011–2020, men detta är då globalt så sannolikheten för att bränder uppstår i vindkraftverk är liten. www.caithnesswindfarms.co.uk. Det anses dock finnas ett stort mörkertal i dessa siffror, åtminstone för England, enligt The Telegraph.

eller att längsta torrperioden utan nederbörd blir längre. Ökad temperatur och avdunstning i kombination med oförändrad nederbörd leder till minskad markfuktighet vilket borde leda till ökad brandrisk på sommaren. Åtminstone i södra Sverige.

3.6.3 Konsekvensbedömning

Sannolikheten att mängden skogsbränder ökar är förhållandevis hög i Södra Sverige under sommaren. Detta innebär att det troligen kommer att finnas fler perioder då accessen till vindkraftparker i dessa områden kommer att påverkas negativt. Bedömningen inriktar sig främst på ökad brandrisk och potentiell konsekvens av detta bedöms bli ganska stor, men sannolikheten att den ökar ligger främst i södra Sverige så där hamnar det i kategorin agera.

3.6.4 Åtgärder

När det gäller bränder och vindkraft är den främsta bedömda konsekvensen att det kan bli svårt med accessen till vindkraftparker vid skogsbränder. Åtgärderna torde därför främst fokusera kring hur man kan hantera denna fråga.

- Minska risken för skogsbrand och brandspridning. Exempelvis genom att utveckla brandskyddskrav för skogsmaskiner då högre miljökrav på maskiner till att motorutrymmena blir alltmer slutna och den installerade utrustningen som ljuddämpare och partikelfilter får sämre avkylning, vilket ökar risken för brand (SBF, 2017). Ett annat exempel kan vara att skapa ytterligare barriär nära vindkraftverken och att arbeta med olika typer av skog, då barrträd som contortaskog utgör en ökad risk för skogsbrand (Olofsson, 2012).
- Se över risker som är kopplade till att vindkraftverk kan skapa skogsbrand. Normalt sett finns det en ganska stor area runt ett vindkraftverk som man avverkar vid själva byggnation som minskar risken för att ett vindkraftverk ska påverkas av skogsbrand.

En annan generell fråga är hur man hanterar själva skogsbränderna och där finns en rapport från Energiforsk, Den handlar om erfarenheter från skogsbranden 2018 ur ett dammsäkerhetsperspektiv, men ger förslag på generella åtgärder som kan vidtas för att hantera skogsbränder generellt. Exempelvis att identifiera förberedande åtgärder för om elnätet skulle slås ut, skaffa information om lägesstatus i brandområdet, skapa en plan för hur man på ett effektivt sätt samverkar mellan olika aktörer, kartlägga alternativa tillfartsvägar, samt arbeta med förebyggande av brand, eftersläckning och brandbevakning (Jenvald och Morin, 2018).

3.7 FÖRÄNDRAD TURBULENS

Turbulens är en faktor som redan idag beaktas noga vid byggnation av nya vindkraftparker då det kan påverka turbinernas prestanda i stor utsträckning om turbulensen blir hög.

3.7.1 Beskrivning av konsekvens

Förändrad turbulens kan påverka produktionsförmåga men framförallt slitaget på vindkraftverken. Konsekvenserna handlar alltså främst om lägre produktion, samt större sannolikhet för avbrott och/eller ökade kostnader för underhåll.

3.7.2 Bedömning av framtida klimat

Inget index om turbulens har tagits fram i projektet, men små förändringar i vindklimat talar för små förändringar i turbulens.

3.7.3 Konsekvensbedömning

Då det bedöms som att det är mindre troligt att turbulensen kommer att öka även om osäkerheten är relativt stor, så bedöms inte denna risk som allt för hög. Förändrad turbulens hamnar därmed i kategorin förbereda.

3.7.4 Åtgärder

De åtgärder som bör vidtas är främst förberedelser i form av ökad kunskap gällande turbulens och hur den kan tänkas utvecklas i olika regioner. Till detta kommer att öka kunskapen om hur ökad turbulens påverkar vindkraftverk på olika sätt. Samtidigt finns det ett generellt behov av utveckling som leder till att vindkraftverk blir mer robusta, med avseende på såväl material och konstruktion som styrning.

3.8 MINSKAD UTBREDDNING AV HAVSIS

Maximal isutbredning i Östersjön är normalt ned mot Norrtälje medan den en mild vinter endast sträcker sig ned mot Örnköldsvik. En svår isvinter täcker den maximala isutbredningen i princip hela Östersjön, se Figur 8.¹⁴

3.8.1 Beskrivning av konsekvens (AG-ansvarig)

Det finns en stor potential för vindkraft vid minskad utbredning av havsis, främst i norra Sverige, då detta förbättrar möjligheterna för att bygga vindkraft till havs. Dessutom kan en minskad isutbredning potentiellt leda till förändrade vindförhållanden, sannolikt till det positiva, åtminstone vid Norrlandskusten.

3.8.2 Bedömning av framtida klimat

Data finns endast från ett fåtal globala modeller med låg upplösning. Mycket troligt att isutbredningen minskar i ett varmare klimat. Mellanårsvariationen minskar i de områden där isutbredningen närmar sig noll.

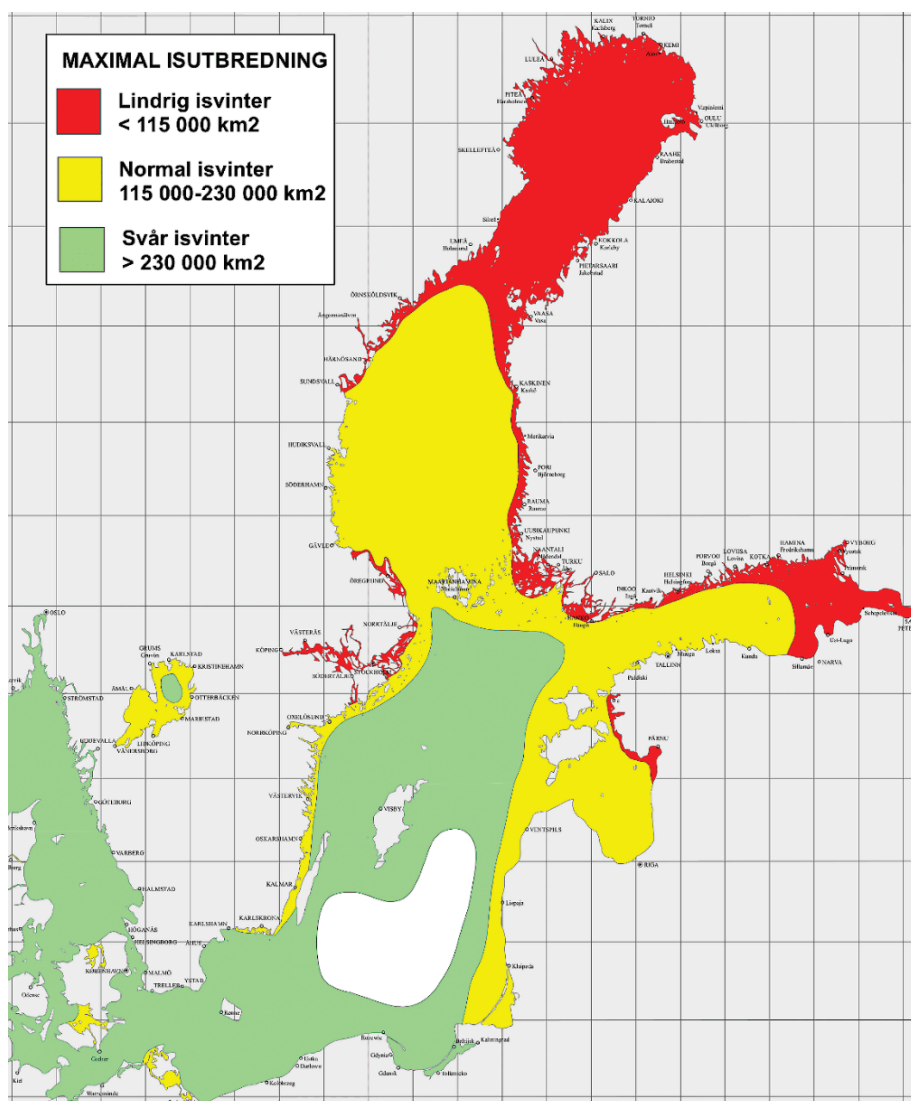
3.8.3 Konsekvensbedömning

Potentialen för vindkraft i Östersjön är mycket stor, bedömd teknisk potential upp emot 10 000 TWh och en marknadspotential över 1 000 TWh (Energimyndigheten,

¹⁴ www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/is-till-havs

2017). Det finns dock många motstående intressen som gör att den realiserbara potentialen bedöms till 50–100 TWh i svenska farvatten. Exempel intressen som begränsar en utbyggnad är Försvarsmakten, havsmiljö med Natura 2000-områden och att vindkraft kan påverka kulturmiljöer och landskapsbild negativt (Havs och Vattenmyndigheten, 2019).

Isutbredning i Bottniska viken är något som idag försvårar utbyggnaden av vindkraft och en minskning av isutbredningen skulle öka möjligheterna för att etablera vindkraft. Dessutom kan mindre havsis leda till gynnsammare vindförhållanden. Då sannolikheten för att isutbredningen ska minska är hög och att det samtidigt är ganska troligt att konsekvens blir betydande hamnar isutbredning till havs på gränsen mellan förbereda och agera.



Figur 8: Maximalisutbredning i Östersjön vid lindrig, normal och svår isvinter (Bild: SMIH).

3.8.4 Åtgärder

En minskad utbredning av havsisen som är en av de oroande konsekvenserna av klimatförändringen är i stället en möjlighet för vindkraftssektorn. Detta eftersom

en minskad isutbredning leder till ökade möjligheter för havsbaserad vindkraft och för att minskad isutbredning till havs tenderar till att förbättra vindförhållandena. Åtgärder i förhållande till minskad isutbredning till havs handlar främst om att öka kunskapen om detta fenomen och vad det i sin tur kan innebära. Sammanfattat i några punkter finns det behov av att:

- Öka förståelse för hur isutbredningen kommer att förändra över tid och hur eventuell mellanårsvariationen påverkas, samt följa denna utveckling.
- Ytterligare fördjupning kring vad en förändrad isutbredning innebär gällande förändrade vindförhållande för olika områden, till exempel till havs, vid kusten och längre in på land.
- För vindkraftprojektörerna handlar det också om att förstå var och när det kan bli möjlighet för projekt att realiseras, samt förbereda för detta.

3.9 ÖVRIGA POTENTIELLA KONSEKVENSER

Utöver de prioriterade konsekvenserna beskrivna enligt ovan har arbetsgruppen identifierat ytterligare ett antal potentiella konsekvenser av klimatiförändringen, vilka framgår enligt Tabell 2. För dessa potentiella konsekvenser har det dock inte genomförts någon kvantifiering gällande sannolikhet för att klimatiförändring inträffar eller att konsekvensen blir stor. Arbetsgruppen genomförde dock en prioritering där dessa potentiella konsekvenser inte vara av samma dignitet som de ovanstående. Vi har dock beskrivit dessa potentiella konsekvenser och gjort enklare bedömningar och förslag på åtgärder.

Tabell 2: Potentiella konsekvenser och klimatindex som påverkar dessa, vilka det inte har gjorts något djupare riskbedömning av.

Potentiell konsekvens	Sammanvägt klimatindex
Minskad tid med tjäle försämrar möjligheter för byggnation under vissa tider på året.	Finns inget index som direkt beskriver tjäle. I allmänhet betyder ett varmare klimat att de kalla dagarna blir färre vilket förkortar tiden med tjäle. Störst förändring längs Norrlandskusten. Mellanårsvariationen minskar i söder när antalet kalla dagar blir få.
Lägre luftdensitet minskar produktion vid samma vindhastighet.	Högre temperatur ger minskad densitet, men förändringen är liten. Minskningen kan bli signifikant med högre uppvärmning.
Förändrad vindriktning påverkar vakar och turbulens och skogsfällning på elnät.	Det finns inget index om vindriktning.
Förändrad frekvens och styrka på åska kan påverka tillgängligheten på vindkraftverken.	Troligt att åksäsongen blir längre och att antalet åskdagar ökar. Det saknas studier om åskintensiteten förändras.
Längre växtsäsong kan öka trädhöjd, vilket försämrar produktion något, dels då medelvinden påverkas negativt, dels då turbulensen kan öka.	Mycket troligt att vegetationsperioden blir längre som ett resultat av tidigare start och senare slut. Något större ökning i söder än i norr. Mellanårsvariation minskar i sydligaste Sverige där växtsäsongen ibland beräknas sträcka sig över hela året.

Översvämning kan påverka kablar genom vattenträd	Troligt att den maximala sjudygnsnederbörden ökar något. Troligt att den maximala nederbördsintensiteten ökar. Troligt att antalet dagar med kraftig nederbörd ökar. Troligt att risken för översvämning i samband med kraftigt regn ökar.
Hög vind i samband med regn kan påverka slitage på blad särskilt för havsbaserad vindkraft	Det finns inget index för kombinationen av vind och regn.
Ökade vågor kan påverka möjlighet till access för havsbaserad vindkraft och därmed försvåra UH till havs.	Det finns inget index för vågor.
Flera arter påverkas negativt av klimatförändringarna, vilket kan påverka tillståndsgivning. Exempel - Bergshäckande fåglar tvingas förflytta sig allt högre uppåt för att undkomma stigande temperaturer - Flyttande fågelarter kommer i otakt med de viktigaste födoresurserna under häckningen vilket leder till sämre reproduktion. - Renar påverkas negativt av då insekter, parasiter och sjukdomar ökar med varmare klimat.	Det är mycket troligt att temperaturen kommer att fortsätta öka, särskilt i norra delarna av Sverige.

3.9.1 Minskad tjäle

Bedömningen är att förändrad tjäle inte förväntas få några större konsekvenser. Konsekvenserna av minskat tjäle har betydelse framförallt i byggfasen då många tunga transporter av vindkraftkomponenter ska ut på skogsvägarna. Då stål har betydligt högre värmeledningsförmåga än betong finns det också en risk att vindkraftverkens fundament bildar en köldbrygga, vilket gäller gravitationsfundament. Detta gör att tjälen riskerar att bli djupare och tjällyftning större. Förslaget sätt att hantera detta är främst att ha en underbyggnad som är tjockare och består av material som inte är tjällyftande, dvs grovkornigt (Edeskär m.fl., 2010).

Finns inget index som direkt beskriver tjäle. I allmänhet betyder ett varmare klimat att de kalla dagarna blir färre vilket förkortar tiden med tjäle. Störst förändring längs Norrlandskusten. Mellanårsvariationen minskar i söder när antalet kalla dagar blir få.

När det gäller förslag på åtgärder kopplat till tjäle så bedöms konsekvenserna som små och det handlar främst att vindkraftsprojektörer ska ha tillräckliga kunskaper vid byggnation av nya vindkraftparker. Exempelvis att bygga vägar som har god hållfasthet och att minimera antalet tunga transporter under tider med tjällossning. Under själva driften handlar det främst om ett generellt tillräckligt underhåll av vägar.

3.9.2 Lägre luftdensitet

Lägre luftdensitet på grund av högre lufttemperatur ger lägre prestanda, dvs. lägre produktion och därmed lägre lönsamhet.

Luftdensiteten i ett framtida klimat förändras framför allt på grund av förändrad temperatur. Med högre temperatur minskar densiteten. Denna förändring är emellertid liten jämfört med skillnaden mellan vinter och sommar.

Även om luftdensitet främst påverkas av lufttemperatur, som enligt klimatsimuleringar kommer att öka, så är denna förändring så pass liten att det får en mycket begränsad påverkan på produktionen som helhet.

Med tanke på teknikutvecklingen ökar vindkraftens kostnadseffektivitet så finns det inga särskilda andra åtgärder att vidta. Möjligen kan det vara att anta rätt luftdensitet för effektkurvan för en turbin när man genomför investeringsanalysen, men som sagt torde det handla om marginella förändringar i elproduktion.

3.9.3 Förändrad vindriktning

Vid uppförande av en vindkraftspark optimeras layouten utifrån den dominerande vindriktningen, och om den dominerande vindriktningen förändras skulle detta kunna innebära att vakförluster¹⁵ inom en park kan öka, vilket kan minska produktion och öka slitaget på vissa vindkraftverk i parken.

Det finns inget i de klimatindex som tagit fram som talar för att vindriktningen kommer att förändras. Osäker signal på grund av osäkerheter i vindklimatet för Nordatlanten och Nordeuropa. Små förändringar i det storskaliga vindklimatet kan få stor betydelse på det lokala vindklimatet.

Vi ser inte att det behöver vidtas några särskilda åtgärder utöver den utveckling som redan pågår med framförallt parkoptimering som nämnts tidigare.

3.9.4 Förändrad åskfrekvens och -styrka

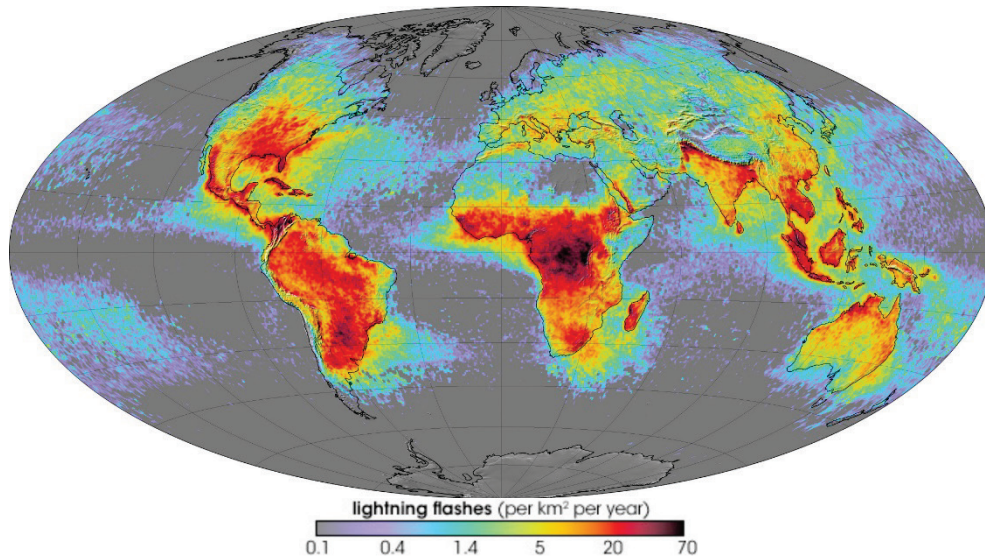
Vindkraftverk är väldigt höga och utgör normalt den högsta punkter i sin omgivning, vilket gör dem utsatta för åska. Idag är också vindkraftverk försedda med åskskydd. Det finns också en standard som behandlar åskskydd för vindkraftverk. Detta inkluderar definition av åskförhållanden, metod för riskbedömning och krav på hur rotorblad, övriga mekaniska delar, el- och styrsystem skyddas mot åskans direkta och indirekta verkan (Svensk standard, 2010). Vid ett köp av vindkraftverk görs normalt en analys av åskfrekvensen och så skydden anpassas efter de förhållanden som råder.

Det är troligt att åksäsongen blir längre och att antalet åskdagar ökar i takt med klimatförändringen. Det saknas studier om förändrad åskintensitet i Sverige.

Åskförhållandena varierar väldigt mycket mellan olika delar på jorden och det redan idag finns vindkraftverk placerade på platser med en betydligt högre

¹⁵ Vakförluster innebär att en vindkraftverk kan få lägre produktion om ett annat verk står framför i vindriktningen och bromsar upp vindhastigheten. Layouten för en vindkraftspark optimeras normal utifrån den dominerande vindriktningen.

frekvens av åska än Sverige. Som ses av kartan i Figur 9 har Sverige en väldigt låg åskfrekvens jämfört med många andra delar på jorden. Av denna anledning torde åtgärderna främst handla om att se till att man tar höjd för eventuella förändringar av åskfrekvens och -intensitet vid inköp av vindkraftverk. Utöver detta finns det också ett värde i att fortsätta att utveckla tekniker för att minska påverkan av åska, där särskilt rotorbladen är en utsatt del, men då detta är ett globalt problem så lär de stora vindkraftsleverantörerna fortsätta med denna utveckling.



Figur 9: Översikt över frekvens på blixtnedslag per år för jorden.¹⁶

3.9.5 Förlängd växtsäsong

En längre växtsäsong kan öka trädhöjden och därmed försämra elproduktion något, dels då medelvinden påverkas negativt, dels då turbulensen kan öka. Ökad vindturbulens kan också bidra till att öka slitaget på ett vindkraftverk.

Det är mycket troligt att vegetationsperioden blir längre som ett resultat av tidigare start och senare slut. Något större ökning i söder än i norr. Mellanårsvariation minskar i sydligaste Sverige där växtsäsongen ibland beräknas sträcka sig över hela året.

Förändringen på grund av en längre växtsäsong bedöms bli liten då avverkningen av träd förutsätts öka i samband med en ökad bonitet. Möjlig åtgärd kan vara att vindkraftsprojektörer och ägare höjer sin kunskapsnivå för att kunna ta för en ökad växtlighet och vad det innebär för dem som vindkraftsaktörer.

3.9.6 Översvämning

Vindkraftverk placeras för att få bästa möjliga vindförutsättningar, vilket innebär att de vanligen placeras så högt beläget som möjligt. Av denna anledning torde problem med översvämningar därför var ett litet problem för vindkraftparker. Det som möjligen kan påverka är att det interna elnätet i en park brukar vara

¹⁶ <https://earthobservatory.nasa.gov/>

markförlagd som ett kabelnät. På elnätssidan har man haft problem med markförlagd kabel i våta marker, men detta är ett problem som minskat tack vare bättre isoleringen i nyare kablar.

Det är troligt att den maximala sjudygnsnederbörden ökar något. Det är också troligt att den maximala nederbördsintensiteten ökar och att antalet dagar med kraftig nederbörd ökar. Det är troligt att risken för översvämning i samband med kraftigt regn ökar.

Då tekniken redan har förbättrats mycket vad gäller markförlagd kabel och den vindkraftflotta som finns i Sverige i dag är relativt ny förväntas inte översvämning bli något större problem. Av denna anledning finns inte heller något större behov av åtgärder annat än att vindkraftprojektörer ser till att använda kabel med tillräckligt god kvalitet. Elnätstationer är i så fall potentiellt mer utsatta, men där torde det räcka med att projektörer håller koll på riskområden och undviker dessa vid placering av kopplingsstationer. Det finns också en del underlag kopplat till översvämningar redan idag, exempelvis MSBs översvämingsportal.¹⁷

3.9.7 Hög vindhastighet och samtidigt regn

En aspekt som identifierades som ett möjligt framtida problem är kombination av hög vindhastighet och regn (eller vattenstänk). Detta är ett förhållande som framförallt blir aktuellt till havs och kan leda till ökat slitage på rotorblad. Det har dock koppling även till att vatten tränger in i turbinerna och skapar fuktproblem.

Det finns inget index för kombinationen vind och kraftigt regn. Lite talar för att vinden förändras. Troligt att kraftig och extrem nederbörd ökar.

På åtgärdssidan finns en pågående materialutveckling som kanske är den viktigaste åtgärden som kan vidtas kopplat till denna potentiella konsekvens av klimatförändringen. För investerare i vindkraft blir det också viktigt att få en ökad förståelse för kostnader kopplat till det ökade slitage som regn och vind kan orsaka.

3.9.8 Ökad våghöjd

Ökad vågbildning kan påverka accessen till havsbaserad vindkraft och därmed försvåra underhållsarbete och felavhjälpning till havs. Dessutom kan vågor ge en viss inverkan på havsbaserad vindkraftparkers prestanda (Kalvig m.fl., 2014; Al Sam, 2016).

Det finns inget index gällande förändrad våghöjd, med då det påverkas av vindhastighet där man ser små förändringar om är resultaten är osäkra så torde förändringen vara relativt liten.

Förslag på åtgärder torde främst vara att lära från andra länder som har mer havsbaserad vindkraft och som lever med höga våghöjder redan idag. Det är inte mycket som talar för att våghöjderna kommer att öka i någon större utsträckning, men en viss bevakning av utvecklingen kan vara värt att ha.

¹⁷ <https://gisapp.msb.se/apps/oversvamningsportal/>

3.9.9 Förändrade förutsättningar för djurarter

Flera djurarter påverkas av klimatförändringarna, och i de flesta fall handlar det om en negativ påverkan. Generellt sett innebär det att djur som är anpassade till ett svalare klimat minskar i antal, medan de som har motsvarande anpassning till varmare klimat ökar. Några exempel om hur arter kan påverkas är:

- Bergshäckande fåglar tvingas förflytta sig allt högre uppåt för att undkomma stigande temperaturer.
- Flyttande fågelarter kommer i otakt med de viktigaste födoresurserna under häckningen vilket leder till sämre reproduktion.
- Renar påverkas negativt av då insekter, parasiter och sjukdomar ökar med varmare klimat.

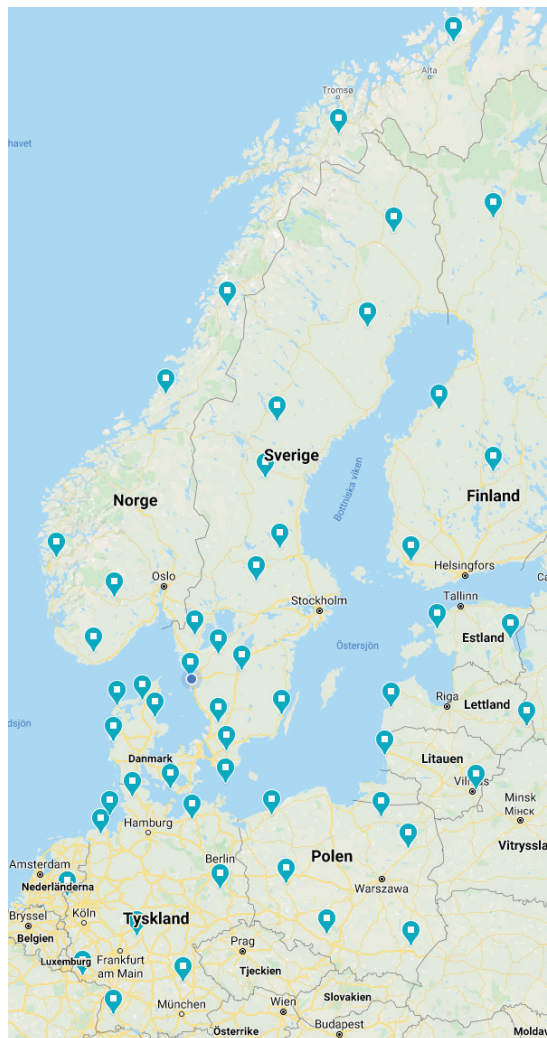
Ovanstående förändringar kan påverka förutsättningarna för vindkraften, då det kan påverka tillståndsgivningen vid nya parker. Det är också mycket troligt att temperaturen ökar. Detta påverkar i varierande grad livsbetingelserna för djur och växter. För vissa arter handlar det som nämnts ovan om att habitaterna krymper.

Denna konsekvens handlar om relativt komplexa skeende där klimatförändringen kan påverka djurbeståndet som i sin tur kan påverka bedömning vid tillståndsgivning. Här handlar det främst om att förstå hur klimatförändringen påverkar olika djurarter, följa utvecklingen och hur tillståndsmyndigheter agerar utifrån denna kunskap.

4 Fördjupade analyser

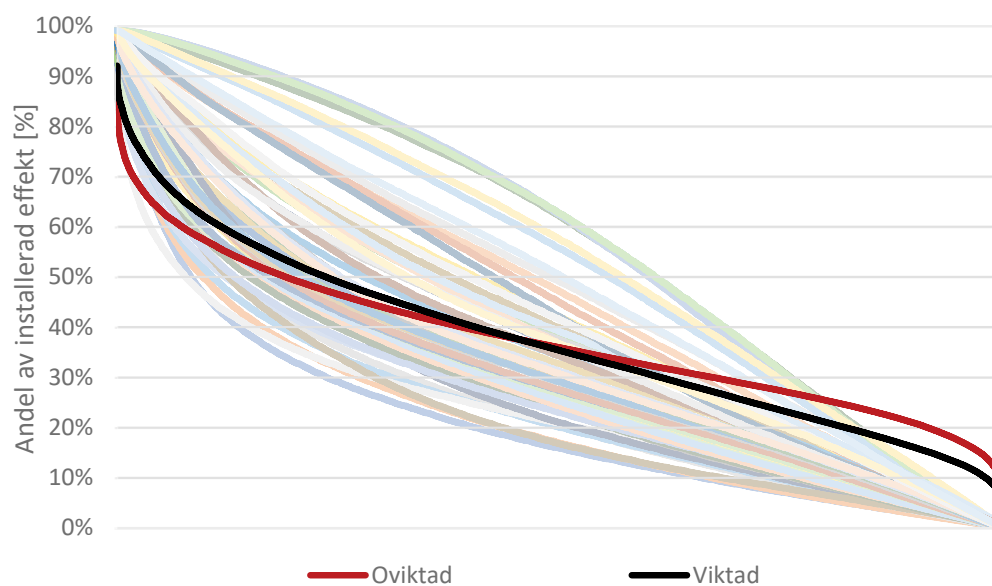
En viktig faktor i när det gäller vindkraft och påverkan av klimatförändringen, särskilt ur ett systemperspektiv hur tillgänglig effekt från vindkraft ser ut i ett större geografiskt område då vi i stort utsträckning är sammankopplade i norra Europa. Vi har i koppling till detta projekt genomfört en fördjupningsstudie där rapporten är under framtagande. Hur detta påverkar energisystem kommer att behandlas i större utsträckning i delrapport som omfattar systemeffekter av klimatförändringen. Vi kommer dock ge en kort inblick i hur detta ser ut i detta avsnitt.

För att få en överblick över hur vindkraftsproduktion ser ut mellan olika geografiska platser i norra Europa har vi utgått från vinddata för 53 geografiska platser i 8 länder, se Figur 10. Detaljer om studiens genomförande och fler resultat kommer att finnas i fördjupningsstudien.



Figur 10: Ingående nordeuropeiska länder i studien och tillhörande lokaliseringar i respektive land.

Utifrån data från inkluderade lokaliseringar under de 9 år som data samlades in för kan vi konstatera att det finns en relativt stor sammanlagringseffekt över norra Europa. Det innebär alltså att det är relativt sällan som det är vindstilla i hela regionen, och även att det är relativt sällan som vindkraftsflottan producerar med full effekt. Figur 11 visar varaktigheten i vindkraftsproduktion för respektive lokalisering. Den visar också den sammanlagrade varaktigheten för befintlig vindkraftflotta (svart linje som benämns "Viktad") och hur utfallet blivit om man installerat lika stor effekt i respektive lokalisering (röd linje som benämns "Oviktad"). Detta visar att det finns ett stort värde i att sprida vindkraftutbyggnaden geografiskt om man vill värna om en hög effekttillgänglighet för vindkraften. Samtidigt visar det vikten av att ha goda överföringsförbindelser mellan olika regioner.



Figur 11: Varaktighet i vindkraftsproduktion för varje analyserad lokalisering, i procent av den totala installerade kapaciteten, sett över hela tidsperioden 2010–2018, samt motsvarande varaktighet för hela den nordeuropeiska produktionen både viktad och oviktad.

Notera att även om sammanlagringen är relativt stor för regionen, så finns det fortfarande tillfällen då produktion är väldigt låg. Detta kan ha betydelse ifall förhållanden med mer stationära väderlägen kan uppstå, dvs. ökade perioder med stiltje och då speciellt när elbehovet är som högst. Mer detaljer om hur detta ser ut kan man läsa mer om fördjupningsrapporten.¹⁸

¹⁸ Länk till fördjupningsrapporten kommer att finnas på Profus hemsida när den är klar www.profus.se

5 Strategi för anpassning och åtgärder

För vindkraften verkar de flesta potentiella konsekvenserna bli relativt begränsade då den viktigaste parametern, vindhastighet, bedöms få en obetydlig påverkan på grund av klimatförändringen, även om resultaten är osäkra. Takten i vindkraftsutbyggnaden är dock väldigt hög, och då vindkraft förväntas utgöra en stor andel av totala elproduktion framgent kan även en liten förändring få stor betydelse.

När det gäller strategi för anpassning så sammanfattar vi de risker som bedöms vara störst för vindkraften i Tabell 3, utifrån vår tidigare genomgång av alla de potentiella konsekvenser som identifierats i samband med en förändring av klimatet. Den tydligaste av dessa är dock ökad isbildning i norra Sverige som bedöms som mycket trolig och bedöms få en stor konsekvens för vindkraften.

Tabell 3: Översikt över de risker som bedöms som störst för vindkraften vid klimatförändringar.

Potentiell konsekvens	Sammanvägt klimatindex
Ökad nedisning kan leda till stillestånd, lägre produktion under drift och iskast.	Mycket troligt att klimatet blir varmare och att vintersäsongen blir kortare, vilket betyder färre dagar med isbildning men då främst i södra Sverige. I Norrland och Bottenviken ger fler vinterdagar nära noll istället för klart under en ökad risk för isbildning. I Svealand och Bottenviken ligger på gränsen mellan minskad och ökad risk.
Minskad utbredning av havsis påverkar möjligheter för lokalisering till havs.	Data finns endast från ett fåtal globala modeller med låg upplösning. Mycket troligt att isutbredningen minskar i ett varmare klimat. Mellanårsvariationen minskar i de områden där isutbredningen närmar sig noll.
Ökad brandrisk, dvs stora skogsbränder kan försvåra accessen till vindkraftparker långvarigt	Längre sommarsäsong gör att nederbördsfattiga och torra somrar kan bli ännu torrare än idag. Samtidigt väntas nederbörden generellt öka i stora delar av landet vilket motverkar detta. I medeltal och för mer nederbördsrika år väntas generellt inte någon ändring i risken för bränder. För torra år kan risken öka, särskilt i södra Sverige.
Perioder med stiltje ökar risk för effektbrist i systemet, vilket kan påverka vindkraftens lönsamhet.	Obetydliga förändringar i alla index i alla regioner för alla årstider på både låg och hög höjd.

Notera att för många av de potentiella konsekvenserna kopplade till klimatförändringen som identifierats så pågår forsknings- och utvecklingsarbete internationellt som adresserar dessa konsekvenser. Här pekar vi som sagt på de konsekvenser som bedömts som viktigast att beakta, och därmed också de åtgärder som vi finner särskilt lämpliga att fokusera på med klimatförändring i fokus.¹⁹ Värt att nämna i

¹⁹ Nedan ges förslag på generella åtgärder som underlag för att forma en strategiför hantering, medan fler konkreta förslag finns under respektive avsnitt som beskriver varje konsekvens separat.

sammanhanhanget är också att Energiforsk har ett projekt tillsammans med SMHI, Chalmers och Profu som syftar till att göra en fördjupad analys av hur klimatförändringen specifikt påverkar vindkraften, särskilt med avseende på variabilitet. Projekt kommer att starta under våren 2021 och planeras slutföras vid utgången av 2022.

Det finns ett antal åtgärder som är generiska för de flesta konsekvenserna som identifierats i detta arbete. Nedan beskrivs dessa kopplat till de konsekvenser som bedömda viktigast enligt ovan, med främst isbildning som exempel. Detta kan utgöra en grund för en strategi i att hantera konsekvenserna av klimatförändringen för vindkraften.

- 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 utmatningar. Exempelvis för isbildning som det bedöms bli en ökning av främst i norra Sverige finns det antagligen mycket att lära av andra länder som har ett liknande klimat som Sverige. Flygindustrin är ett exempel på en bransch som kan ha liknande frågeställningar gällande isbildning på blad.
- För det andra bör man ytterligare höja kunskapen gällande klimatförändringen då vissa klimatindex i viss utsträckning är regionala, exempelvis bedöms isförhållanden förvärras i norra Sverige och minska i söder men den lokala variationen av isbildning är relativt hög, se Figur 5. För att göra detta behövs regional modellering med hög upplösning genomföras, exempel på ett sådant typ av projekt som är under uppstart nämndes ovan.
- För det tredje är det viktigt att kartlägga och förstå konsekvenserna för vindkraften mer i detalj, för att kunna prioritera och initiera arbete med möjliga åtgärder kopplat till detta, vilket vi har påbörjat i denna studie. Vi har exempelvis identifierat att isbildning kommer att öka i norr Sverige, men det finns ett behov av ytterligare forskning om hur isbildning på vindkraftverk sker. Detta ger underlag till att förbättra analyser av förluster på grund av isbildning att man kan bedöma konsekvenser och kunna vidta lämpliga åtgärder. Ett testcenter för vindkraft i kallt klimat finns i Norrbottens län och ombesörjs av RISE.²⁰ Denna typ av underlag blir viktigt för investerare i vindkraft då det påverka den långsiktiga intjäningsförmågan oavsett om det relaterar till förändrad isbildning, förändrad medelvind eller förekomster av perioder med stiltje.
- För det fjärde bör man följa utvecklingen gällande klimatförändringen och dess konsekvenser för vindkraften. Detta är av vikt för att kunna agera utifrån de förändringar som sker och kunna prioritera bland de förslag som tagits fram i denna studie. Det kan vara till exempel att förändra hur man agerar gällande hantering av isbildning eller att man bevakar möjlighet att bygga havsbaserad vindkraft längre norrut i Östersjön om utbredningen av havsisen minskar.

²⁰ www.ri.se/sv/test-demo/testcenter-vindkraft-i-kallt-klimat

- Slutligen är vår rekommendation i förhållande till ovanstående punkter att höja kompetens kopplat till klimatförändringen för att kunna agera som en kompetent beställare och kravställare i relation med vindkraftleverantörer då det främst är dessa som driver själva teknikutveckling av vindkraftverken. Samtidigt är det de som äger vindkraftverken som ska leva med konsekvenserna.

Utöver de mer generella rekommendationerna finns det några mer specifika som kopplar till vissa konsekvenser. När det gäller skogsbränder finns det ett behov av samverkan mellan olika berörda aktörer när en större skogsbrand inträffar. Här bör vindkraftsbranschen medverka gällande hur man kan bidra och få sina intressen tillvaratagna. En annan aspekt är att klimatförändringen kan leda till ökade perioder med stationära väderlägen, även om det är mindre troligt, exempelvis att perioder med stiltje kan öka. I fördjupningsarbetet som genomfördes konstaterade vi att det finns en väldigt god sammanlagringseffekt i att ha vindkraft installerat över ett större geografiskt område. Vi visade också att sammantaget för hela norra Europa så är perioderna med låg vind färre än för den bästa havsbaserad parken, då vindförhållandena jämnar ut elproduktionen, se Figur 11. För att denna möjlighet ska kunna utnyttjas krävs dock att det finns tillräcklig överföringskapacitet mellan regionerna. Det behövs ytterligare forskning för att undersöka hur klimatförändring faktisk påverkar stationära väderförhållanden.

6 Slutsatser och diskussion

Vi har i denna studie gett en översiktlig bild över vad klimatförändringen kan ge för konsekvenser för vindkraften. Vi kan konstatera att det inte verkar bli allt för många dramatiska konsekvenser, vilket främst beror på att klimatsimuleringarna inte tyder på att det kommer blir några större förändringar av vindförhållandena. Den tydligaste negativa konsekvensen är ökad isbildning i norr som kan påverka elproduktionen kraftigt i vissa områden.

Nedan ges en sammanfattning av de viktigaste slutsatserna av det arbete som genomförts i denna studie.

- De viktigaste väder- och klimatpåverkande faktorerna för vindkraften i Sverige är förändrad isbildning och vindförhållandena. Förändrade vindförhållandena bedöms kunna få väldigt stora konsekvenser men klimatsimuleringarna visar att dessa endast väntas förändras marginellt, även om resultaten är osäkra. En studie som omfattar klimatsimuleringar med hög geografisk upplösning speciellt fokuserad på vindkraft startar dock under våren 2021 som förhoppningsvis ska kunna ge säkrare och mer detaljerade resultat. Ökad isbildning i norra och delar av mellersta Sverige bedöms som den mest säkra klimatsignalen med en hög negativ konsekvens, vilket gör att det är den enda konsekvens som tydligt hamnar i kategorin agera.
- Det finns flera potentiella konsekvenser av klimatförändringen som hamnar i kategorin förbereda, då det är mindre troligt att förändringarna inträffar. Exempel på dessa är stiltje, brand (skogsbrand), förändrad turbulens och förändrad vindriktning.
- Det finns flera aspekter av klimatförändringen som bedöms kunna påverka vindkraften positivt. Exempel på detta är minskad nedisning i södra Sverige, samt minskad utbredning av havsis som kan underlätta en utbyggnad av havsbaserad vindkraft i längre norrut i Östersjön.
- Det finns en ganska stor grad av sammanlagring om man sprider vindkraften geografiskt. Detta gör att risken med stiltje (och stormar) minskar om man sprider utbyggnaden geografiskt, men då krävs det också att det finns tillräckligt överföringsförmåga. Trots sammanlagringen finns det dock perioder då det är väldigt låg vind över hela norra Europa, även om det är väldigt sällan. Potentiellt är ökade perioder av stiltje också den del som bedöms kunna påverka energisystemet mest av de klimatförändringsaspekter som påverkar vindkraften.
- Utbyggnaden av vindkraften har varit kraftig under det senaste dryga decenniet och denna utbyggnad bedöms fortsätta i en era där klimatförändringen är i fokus. Det finns scenarier som pekar på att vindkraft kan utgöra upp emot 100 TWh till år 2045, vilket innebär att vindkraften kommer att utgöra en väldigt stor andel av Sveriges

elförsörjning. Det innebär också att klimatförändringens påverkan på vindkraften kan få stor betydelse för elsystemet som helhet.

- Vindkraften har också haft en kraftig teknikutveckling som främst inneburit att vindkraftverken blivit högre, fått större rotor och högre installerad effekt. Andra delar som inte varit lika synliga är att styrsystemen blivit alltmer avancerade och att man arbetat med att förbättra tillförlitligheten. När man ser framåt gällande teknikutveckling är det främst förbättrad effektivitet i elproduktion och att minska kostnader för drift och underhåll som man fokuserar på. Exempel på detta är förbättrad kraftelektronik och fuktskydd, optimerad parkstyrning för att öka elproduktion och minska laster. I stor utsträckning adresserar denna teknikutveckling flera av de potentiella konsekvenser som klimatförändringen kan leda till.

Arbetets syfte att bedöma hur klimatförändringen kommer att påverka vindkraften i framtiden är förknippat med osäkerheter. Detta gäller sannolikheten för att olika aspekter av klimatet kommer att förändras i en viss utsträckning, dels för att de analyserade klimatindexen bygger på modellresultat, dels för att det beror på hur vi fortsätter att släppa ut klimatpåverkande gaser i atmosfären. Som nämnts så är resultaten gällande förändrade medelvind väldigt osäkert, vilken är en av de absolut viktigaste faktorerna för vindkraftens lönsamhet. Det finns även osäkerheter kring hur stora konsekvenserna av en viss aspekt av klimatförändringen kommer att bli, eftersom det beror på hur mycket åtgärder som vidtas för att hantera dessa potentiella konsekvenser.

7 Referenser

- Al Sam A. (2016) Wind-wave interaction effects on offshore wind energy. Department of Energy Sciences, Lund University.
- Bjyrkjedal Ø.; Tallhaug L.; Harsveit K. (2012) Icing map for Sweden. Kjeller Vindteknikk. KVT/ ØB/2012/R076.
- Bruce, J., Krönert, F., Obel, F., Yuen, K., Wiesner, E., Dyab, L., Greger, K., Lidström, E., Sköldberg, H., Rydén, B., Unger, T., Jenny, P., & Nilsson, J. (2019). Färdplan fossilfri el – Analysunderlag. 1–89. www.nepp.se
- Bredesen, R. E., Drapalik, M., & Butt, B. (2017). Understanding and acknowledging the ice throw hazard - Consequences for regulatory frameworks, risk perception and risk communication. *Journal of Physics: Conference Series*, 926(1). <https://doi.org/>
- Edeskär T., Helander A., Knutsson S. (2010) Grundläggning av vindkraftverk med hänsyn till tjäle. *Bygg & Teknik*, ISSN 0281-658X, Vol. 102, no 1, p. 68-73
- Energimyndigheten (2017) Havsbaserad vindkraft En analys av samhällsekonomi och marknadspotential.
- Fakorede, O., Feger, Z., Ibrahim, H., Ilinca, A., Perron, J., & Masson, C. (2016). Ice protection systems for wind turbines in cold climate: characteristics, comparisons and analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65(November), 662–675. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.080>
- Havs och Vattenmyndigheten (2019). Havspaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet. Förslag till regeringen 2019-12-16, Diarienummer 3628–2019.
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- IRENA. (2019). Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. In *International Renewable Energy Agency (IRENA)*.

- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B. et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, Volume 14, Issue 2, pp 563-578.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Jenvald J och Morin M. (2019) Skogsbranden 2018 – erfarenheter ur ett dammsäkerhetsperspektiv.
- Kalvig S, Manger E , Hjertager B H , Jakobsen J B. (2014) Wave influenced wind and the effect on offshore wind turbine performance. *Energy Procedia* 53 (2014) 202–21
- Kjellström, E., Strandberg, G., Lin, C. 2021. Förändringar i klimatet med påverkan på energisektorn i Sverige. Energiforsk rapport kommande.
- Lehtomäki, V., Krenn, A., Jordaens, P. J., Godreau, C., Davis, N., Khadiri-Yazami, Z., Bredesen, R. E., Ronsten, G., Wickman, H., Bourgeois, S., & Beckford, T. (2018). Available Technologies for Wind Energy in Cold Climates – report 2nd edition (2018). 129. <https://community.ieawind.org>
- Malmsten, K J (2011) Wind Turbine Production losses in Cold Climate Case study of ten wind farms in Sweden. Technical report, Wind Energy, Gotland University
- Molarius R, Wessberg N, Keränen J and Schabel J. Creating a climate change risk assessment procedure – Hydropower plant case, Finland. XXV Nordic Hydrological Conference – Northern Hydrology and its Global Role (NHC-2008) Reykjavík, Iceland. 11-13 August 2008.
- Molinder J (2021) Forecasting of Icing Related Wind Energy Production Losses – Probabilistic and Machine Learning Approaches. ISSN 1651-6214. Uppsala Universitet
- Olofsson B. (2012) Skogs- och gräsbrand utifrån ett förändrat klimat. Länstyrlesen Jämtlands län. Rapport diarienummer 451-569-2012.
- Ronsten G (2014) Svenska erfarenheter av vindkraft i kallt klimat – nedisning, iskast och avisning", Elforsk rapport 04:13
- Rydén B, Löfblad E, Ludvig K, Sköldberg H, ed. (2019) Energisystemet i en ny tid - Halvtidsrapport från NEPP:s andra etapp. www.nepp.se
- Svenska Kraftnät (2018) Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2018. Ärendenummer 2018/587
- Svensk standard (2010) SS-EN 61400-24 Vindkraftverk – del 24 Åsskydd.
- Watson, S. et al. (2019). Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113 (July), 109270.

KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS INVERKAN PÅ VINDKRAFTEN

De klimatpåverkande faktorer som framför allt påverkar vindkraften är förändrade vindförhållanden och isbildning. Konsekvenserna verkar bli relativt små och klimatsimuleringar visar inga större förändringar av vindförhållandena, även om resultaten är osäkra. En ökad isbildning i norra Sverige bedöms vara den säkraste klimatsignalen som också påverkar branschen negativt.

Några exempel på mindre troliga förändringar, som man kan behöva förbereda sig för, är stiltje, skogsbrand, förändrad turbulens och förändrad vindriktning. Men klimatförändringen kan också påverka vindkraften positivt. Det handlar till exempel om en minskad nedisning i södra Sverige och en mindre utbredning av havsis vilket underlättar utbyggnaden av havsbaserad vindkraft längre norrut i Östersjön.

En fortsatt kraftig utbyggnad innebär att vindkraft på sikt kommer att utgöra en stor andel av Sveriges elförsörjning. Det innebär också att klimatförändringens eventuella påverkan på vindkraften kan få stor betydelse för elsystemet som helhet. Rapporten ger också fem förslag på åtgärder som gäller för de flesta konsekvenser som har identifierats.

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