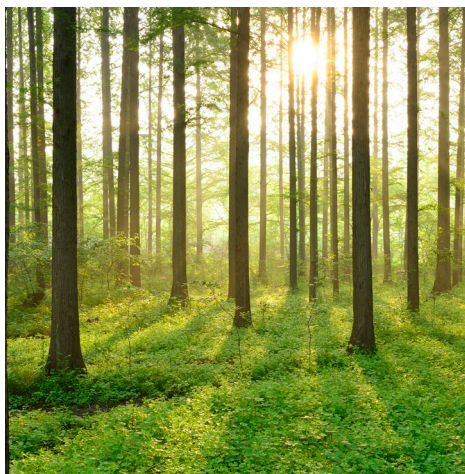


# KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS INVERKAN PÅ ELNÄTET

RAPPORT 2021:740





# Klimatförändringarnas inverkan på elnätet

PETER BLOMQVIST  
JENNY GODE  
ERIK KJELLSTRÖM  
GUSTAV STRANDBERG

ISBN 978-91-7673-740-8 | © Energiforsk mars 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://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, Profu och Erik Kjellström och Gustav Strandberg, 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, elnät*

## Sammanfattning

**Syftet med detta delprojekt är att beskriva klimatförändringens potentiella konsekvenser för elnäten, samt att komma med förslag på åtgärder för att hantera dessa. Flera konsekvenser har identifierats och några av dessa har analyserats djupare. Det handlar om både plötsliga händelser och sådant som påverkar den löpande driften.**

De viktigaste faktorerna i klimatförändringen som påverkar elnäten i Sverige är is- och snöförhållanden, temperatur, åska och kraftiga vindar. De flesta konsekvenserna av klimatförändringen är negativa för elnätet, men det finns geografiska skillnader. Exempelvis förväntas problem med snö och is minska i södra Sverige medan en del problem relaterat till blötsnö och isbildning kan öka i norra Sverige. I söder bedöms istället ökad risk för skogsbränder som allvarligaste förändringen, medan det bedöms bli oförändrat i norr.

Vi konstaterar att redan idag påverkar ovanstående faktorer elnäten i olika utsträckning, och att det finns en hel del åtgärder som redan vidtas av elnätsbolagen. De har framförallt genomfört en gigantisk satsning på att gräva ned en stor andel av lokalnätens luftledningar.

Även om vi i analysen har försökt beskriva olika konsekvenser separat, kan vi konstatera att de i stor utsträckning hänger ihop. Exempelvis kan konsekvenserna av is- och snöpåbyggnad på ledningar och träd förvärras vid höga vindhastigheter. Likaså kan konsekvenserna av skogsbränder bli väsentligt mycket värre om det samtidigt förekommer starka vindar.

Ett globalt perspektiv på konsekvenserna av klimatförändringen är att vissa väderfenomen är betydligt värre i andra delar av världen än i Sverige. Exempel på detta är åska och värmeböljor som är betydligt vanligare i exempelvis delar av Australien och USA. Detta betyder att det uppenbarligen går att göra klimatanpassningar, men det kan fortfarande krävas stora åtgärder.

Vi har tagit fram några 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 utmatningar; (2) att höja kunskapen klimatförändringens lokala variationer; (3) att fördjupa arbetet i att förstå konsekvenserna för elnätet, prioritera dessa och initiera åtgärder kopplat till detta; (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.

## Summary

**The purpose of this project is to describe the potential consequences of the ongoing climate change for the power grids, and to propose measures for adaptation. Several consequences have been identified and some of them have been analysed in more detail. They constitute both sudden events and those that affect day-to-day operations.**

The most important climate related factors that affect power grids in Sweden are ice and snow conditions, temperature, lightning, and strong winds. Most of the consequences of climate change are negative for the power grid, but there are geographical differences. For example, some snow and ice problems are expected to increase in northern Sweden, while they are generally expected to decrease in southern Sweden. In the south, instead, the increased risk of forest fires is expected to be the most serious change, while they are considered to remain unchanged in the north.

We note that already today the above factors affect the power grids to varying degrees, and that there are a lot of measures that are already being taken by the power grid companies. Above all, they have made gigantic investments in burying a large proportion of the local grids' overhead lines.

Although in the analysis we have tried to describe different consequences separately, we can state that they are largely connected. For example, the consequences of ice and snow build-up on power lines and trees can be exacerbated at high wind speeds. Likewise, the consequences of forest fires can be significantly worse if there are strong winds at the same time.

One aspect of the consequences of climate change is that certain weather phenomena are significantly worse in other parts of the world. Examples include lightning and heat waves which are much more common in, for example, parts of Australia and the USA. This means that it is obviously possible to make climate adaptations, but major measures may be required.

We suggest a few generic measures that apply to most of the identified consequences (1) learn from others, which can be from other countries, but also other industries that have similar issues; (2) raise awareness of local variations in climate change; (3) pursue the work of understanding the consequences for the power grid, prioritizing these and initiating measures linked to this; (4) monitor developments regarding climate change and its consequences, to be able to determine needs for research and development; (5) identify responsible actors and form effective collaborations.

## Innehåll

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                                                  | <b>7</b>  |
| 1.1      | Bakgrund                                                          | 7         |
| 1.2      | Metod                                                             | 7         |
| <b>2</b> | <b>Klimatförändringar</b>                                         | <b>10</b> |
| 2.1      | Om klimatscenarierna                                              | 10        |
| 2.2      | Klimatscenarier för aktuellt energislag                           | 12        |
| <b>3</b> | <b>Konsekvenser, risker och åtgärder</b>                          | <b>14</b> |
| 3.1      | Sammanfattande bild över konsekvenser och tillhörande klimatindex | 16        |
| 3.2      | Nedisning                                                         | 18        |
| 3.3      | Snö och blötsnö                                                   | 22        |
| 3.4      | Brand och skogsbrand                                              | 24        |
| 3.5      | Åska                                                              | 27        |
| 3.6      | Frekvens och styrka på stormar                                    | 29        |
| 3.7      | Moln                                                              | 32        |
| 3.8      | Lågprioriterade konsekvenser                                      | 34        |
| <b>4</b> | <b>Strategi för anpassning och åtgärder</b>                       | <b>41</b> |
| <b>5</b> | <b>Slutsatser och diskussion</b>                                  | <b>43</b> |
| <b>6</b> | <b>Referenser</b>                                                 | <b>45</b> |

# 1 Inledning

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

## 1.1 BAKGRUND

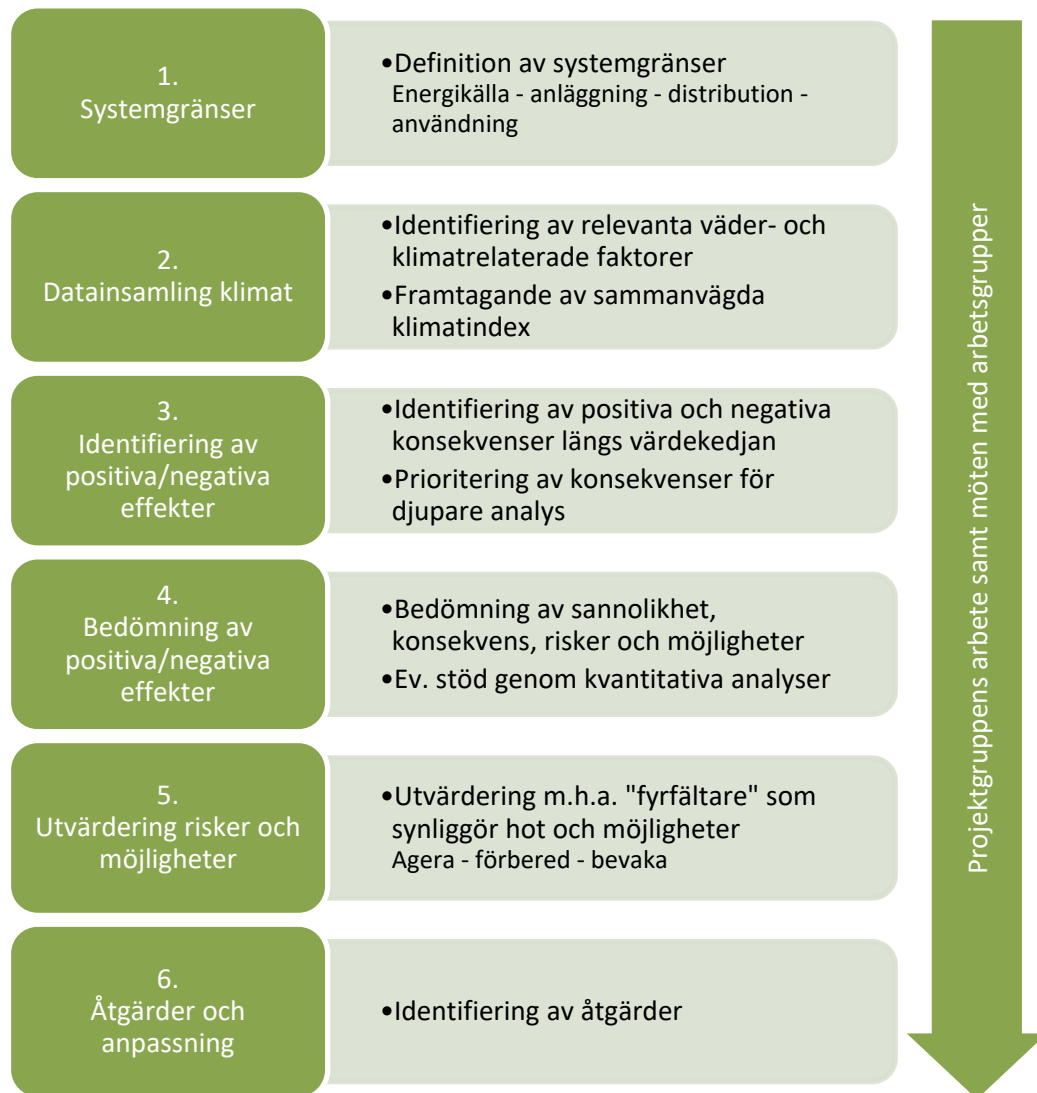
I Parisavtalet fastslås att den globala temperaturökningen ska begränsas till under 2°C över förindustriell nivå, med strävan efter max 1,5°C. Samtidigt har temperaturen redan stigit med över en grad. På våra nordliga breddgrader går klimatförändringarna snabbare och temperaturökningen är kraftigare. 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. 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 Kjellström m.fl. (2021), medan de klimatindex som är relevanta för elnät beskrivs i kommande avsnitt.

Denna rapport är en delrapport från projektet och fokuserar på hur klimatförändringar kan påverka elnätet. Övriga delrapporter från projektet finns att ladda ner från Energiforsks hemsida ([www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)).

## 1.2 METOD

Figur 1 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 m.fl., 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 1. 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 vårt 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 ca 10–15 personer från energiföretag, myndigheter, branschorganisationer, forskare med mera. Diskussionerna med arbetsgrupperna har varit mycket värdefulla för projektet.

Systemgränsen för elnätet omfattar allt elnät som ägs av elnätsägare, dvs. stamnät, regionnät och lokalnät. Elnätsdelar, främst IKN (Icke Koncessionspliktiga Nät) som ägs av andra aktörer, exempelvis vindkraftsägare, kärnkraftsföretag och större

industrier inkluderas inte. Dock kan aspekter som framkommer i denna delrapport vara relevanta för dessa IKN.

Notera att vi valt att dela in klimatförändringarnas konsekvenser på elnät i stamnät, regionnät och lokalnät i de fall vi funnit det lämpligt då förutsättningarna för de olika systemnivåerna i vissa avseende skiljer sig åt.

## 2 Klimatförändringar

**Ny kunskap om framtida klimatförändringar har tagits fram baserat på klimatscenarier. De klimatparametrar som har störst betydelse för elnätet är is- och snöförhållanden, temperatur, åska och kraftiga vindar. Elnätet påverkas främst negativt av klimatförändringar.**

### 2.1 OM KLIMATSCENARIERNA

Den pågående globala uppvärmningen har gjort att den globala medeltemperaturen idag ökat med nästan  $1,2^{\circ}\text{C}$  jämfört med förindustriell tid (WMO, 2020). Klimatförändringarna märks redan även i Sverige, där temperaturökningen är väsentligt större än den vi ser i det globala medelvärdet. För perioden 1991–2019 jämfört med 1861–1900 har Sveriges medeltemperatur ökat med  $1,7^{\circ}\text{C}$ , motsvarande siffra för den globala medeltemperaturen är  $0,8^{\circ}\text{C}$ . Den globala uppvärmningstakten är nu  $0,2^{\circ}\text{C}/\text{årtionde}$ . Vid fortsatt uppvärmning i samma takt kommer den globala temperaturen att överskrida  $+1,5^{\circ}\text{C}$  jämfört med förindustriell tid någon gång mellan 2030 och 2052 och  $+2^{\circ}\text{C}$  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. Beroende på hur stora utsläppen blir kan den globala uppvärmningen i slutet av seklet hamna mellan  $1,5^{\circ}\text{C}$  och  $5^{\circ}\text{C}$  (IPCC, 2013; IPCC, 2018). I det här arbetet har vi valt att studera förändringar i klimatet vid en rad olika uppvärmningsnivåer jämfört med förindustriell tid:  $+1,5^{\circ}\text{C}$ ,  $+2^{\circ}\text{C}$ ,  $+2,5^{\circ}\text{C}$ ,  $+3^{\circ}\text{C}$ ,  $+3,5^{\circ}\text{C}$  och  $+4^{\circ}\text{C}$ .

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 den separata rapporten om klimatförändringar (Kjellström m.fl., 2021).

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 bli längre, vilket är något som redan har observerats.

Även nederbörds klimatet ändras när den globala medeltemperaturen ökar. Eftersom högre temperatur betyder att luften kan innehålla mer vattenånga 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 till exempel 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. 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.

Informationen presenteras i kartor och diagram. Kartor har tagits fram för hela Europa och hela Skandinavien där fördelningen visas för varje enskild 12,5x12,5 km<sup>2</sup> 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 klimatförhållanden under en referensperiod, satt till 1971–2000, och vid olika uppvärmningsnivåer, samt skillnaden mellan framtida uppvärmningsnivåer och 1971–2000. Utöver förändring i ensemblmedelvärde 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 klimatförändringssignal, 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 väder- och klimatrelaterade faktorerna ur ett elnätsperspektiv är:

- temperatur och luftfuktighet
- åska
- stormar
- snö

Temperatur och luftfuktighet påverkar såväl nedisningsrisk under vintern som brandrisk under sommaren. Brandrisk påverkas också i hög grad av balansen mellan nederbörd och avdunstning som i sin tur påverkas av vegetationen. Åska, stormar och tung blötsnö medför alla risk för störningar och avbrott i elnäten. Kraftiga åskväder kan också vara förknippade med mycket starka vindbyar och tromber.

I ett allt varmare klimat blir sommarsäsongen och därigenom vegetationsperioden allt längre samtidigt som vintersäsongen blir kortare. Generellt blir det mindre av snö och is, dock kan snöfallsintensiteten komma att öka i delar av norra Sverige, främst fjällkedjan, där det är tillräckligt kallt. Även förekomst av blötsnö och förhållanden gynnsamma för nedisning kan komma att öka i de norra delarna av landet. Detta också till följd av att temperaturerna under vintern blir högre med mer vattenånga i luften. Dessutom pekar klimatscenerierna på att nederbörden som faller då temperaturen är nära nollgradersstrecket kommer att öka i Norrland och stora delar av Svealand, vilket alltså ökar risken både för blötsnö och underkylt regn. I södra Svealand och Götaland förväntas istället en minskning. De

längre somrarna ökar risken för låg markfuktighet och längre värmeböljor under de år då det regnar lite. Under sådana år kan alltså risken för skogsbränder komma att öka. Den längre och varmare sommarsäsongen betyder också att sannolikheten för åska ökar då åska är vanligast under sommaren vid höga temperaturer och hög luftfuktighet. För vind- och stormklimatet finns ingen entydig klimatförändringssignal. Däremot pekar scenarierna på att kombinationen av stormar under vinterhalvåret med otjälad och blöt mark kommer att öka i ett allt varmare klimat.

Sammanfattningsvis, visar klimatindexen att det är mycket troligt att ett varmare klimat kommer att få konsekvenser kopplat till elnät. Detta gäller med regionala skillnader för brandrisk, åska, nedisning och blötsnö. För andra konsekvenser, främst kopplade till vind- och stormklimatet, är det mer osäkert hur förändringen kan komma att bli.

### 3 Konsekvenser, risker och åtgärder

**Elnäten är avgörande för att det svenska elsystemet och därmed samhället ska fungera. Total består elnätet av ungefär 650 000 kilometer ledning utspridd över stora delar av Sverige som redan idag är utsatta för relativt många väderrelaterade konsekvenser. Av denna anledning är dock väder och klimat något som redan tillhör elnätföretagens vardag och mycket arbete pågår redan.**

Elnätet kan delas in i 3 nivåer, stamnät som normalt har en spänning mellan 220 kV och 400 kV, regionnät som vanligen omfattar spänningar mellan 20 kV och 130 kV, samt lokalnät som oftast har en spänning mellan 0,4 kV och 20 kV. Då uppbygganden av dessa nättypen skiljer sig åt i viss utsträckning har vi också valt att dela upp vår konsekvensbedömning i de fall vi funnit det lämpligt.

Det finns två huvudsakliga skillnader mellan de olika nättyperna som har betydelse för vår bedömning av klimatförändringens konsekvenser för elnätet. Den första är dimensionering av olika slag, exempelvis är elnät på högre spänningsnivåer konstruerade att klara betydligt högre laster, ledningsgator är bredare än för de lägre spänningsnivåerna och att det finns en ökad grad av redundans för högre spänningsnivåer. Den andra är att elnät på höga spänningsnivåer är kopplade till betydligt fler användare, vilket betyder att om det väl blir ett avbrott drabbas betydligt fler användare.

Det har hänt en del under de senaste åren som förbättrat elnätens förmåga att motstå konsekvenser av väderhändelser, vilket främst kopplar till förändringar av elnätets uppbyggnad. Den största förändringen är att man efter stormen Gudrun, som orsakade många och långa avbrott, har satsat på att vädersäkra lokalnätet i stor uträkning genom att kablifiera ledningsnätet och genom att byta oisolerade luftledningar till isolerade luftledningar. Statistik över utvecklingen för perioden 2013 till 2019 visas i Tabell 1 (högspänning) och Tabell 2 (lågspänning).<sup>1</sup> De procentuella förändringar som visas i tabellerna ska betraktas ur perspektivet att den totala ledningslängden är ca 535 000 km för hela lokalnätet. Ser man på högspänningsnätet så har man minskat den oisolerade luftledningen med drygt 19 300 km inom loppet av 6 år.<sup>2</sup>

**Tabell 1: Andel oisolerad och isolerad luftledning, samt jordkabel för högspänning av total ledningslängd i lokalnätet.**

| År   | Oisolerad luftledning | Isolerad luftledning | Jordkabel |
|------|-----------------------|----------------------|-----------|
| 2013 | 11,9%                 | 4,8%                 | 22,0%     |
| 2019 | 7,7%                  | 5,7%                 | 25,7%     |

<sup>1</sup> [www.ei.se](http://www.ei.se)

<sup>2</sup> För lokalnät definieras lågspänning som den spänning som nominellt är lägre än 1 000 volt mellan friledare, sålunda är högspänning nivåer högre än 1 000 volt.

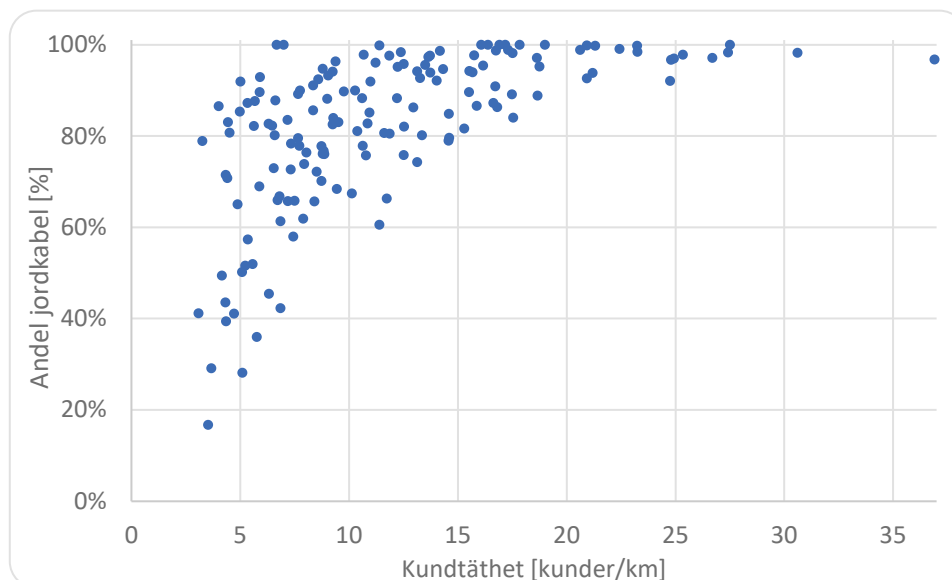
För lågspänningsnätet har man minskat andelen oisolerad luftledning med drygt 3 100 km, men även minskat isolerad luftledning med ca 9 600 km, till förmån för markförlagd kabel.

**Tabell 2: Andel oisolerad och isolerad luftledning, samt jordkabel för lågspänning av total ledningslängd i lokalnätet.**

| År   | Oisolerad luftledning | Isolerad luftledning | Jordkabel |
|------|-----------------------|----------------------|-----------|
| 2013 | 1,3%                  | 11,7%                | 48,2%     |
| 2019 | 0,7%                  | 9,4%                 | 50,9%     |

Sammantaget innebär detta att mängden jordkabel är nu 76,6 %, vilket motsvarar nästan 410 000 km. Detta betyder att man under tidsperioden har ökat mängden jordkabel med drygt 51 000 km.

Ser man på andel jordkabel i förhållande till kundtäteten för både låg – och högspänning, där status för 2019 visas i Figur 2, så är det en tydlig koppling.<sup>3</sup> Elnät som har en hög kundtätet har en hög andel jordkabel av sitt totala ledningsnät, och nät med låg kundtätet har en låg andel jordkabel. Skälet till detta är att det kostar betydligt mer med jordkabel än luftledningen och att det krävs en viss kundtätet för att det ska vara ekonomiskt motiverat att gräva ned ledningar.



**Figur 2: Andelen jordkabel mot kundtätet för 2019.**

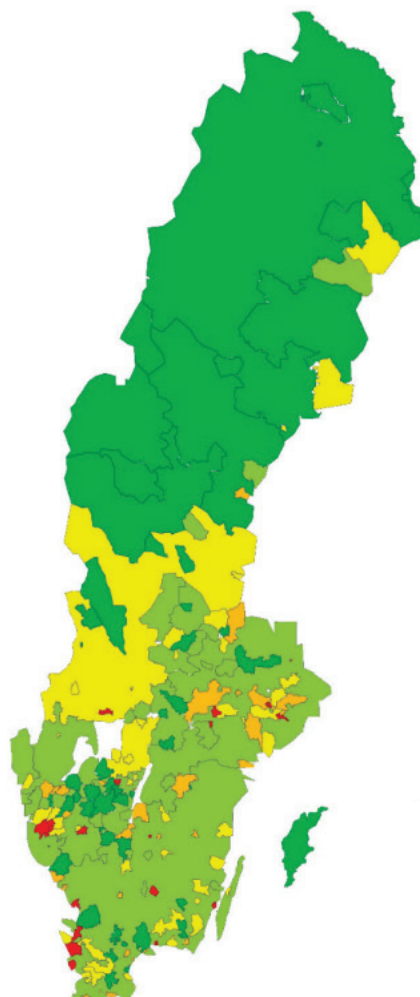
<sup>3</sup> [www.ei.se](http://www.ei.se)

Ser man på kundtättheten geografiskt indelat per lokal redovisningsenhet för hela Sverige, se Figur 3, blir det tydligt vilka regioner i Sverige som har högst kundtätthet. Graden av kablfiering har alltså skett i de befolkningstätaste områdena i södra Sverige och vid kusterna.

#### Kundtätthet per REL, T [kunder/km ledning]

##### Kategori

- Landsbygd 1,  $T < 7,5$
- Landsbygd 2,  $7,5 \leq T < 10$
- Blandat nät 1,  $10 \leq T < 15$
- Blandat nät 2,  $15 \leq T < 20$
- Tätortsnät,  $T \geq 20$



Figur 3: Genomsnittlig kundtätthet per lokal redovisningsenhet för elnät (Energimarknadsinspektionen, 2020).

### 3.1 SAMMANFATTANDE BILD ÖVER KONSEKVENSER OCH TILLHÖRANDE KLIMATINDEX

Som nämnts ovan så inleddes projekt med att analysera klimatförändringar och identifiera de potentiella konsekvenser som klimatförändringen kan leda till. Detta landade i en lista med ganska många potentiella konsekvenser som bedömdes i olika utsträckning kunna påverka elnätet. Dessa har i viss mån slagits ihop i de fall vi bedömt det lämpligt, så att det landade på 16 olika potentiella konsekvenser kopplat till definierade klimatförändringsindex. I ett senare skede genomfördes en första värdering av respektive klimatindex tillsammans med expertgruppen där 6 av dessa valdes ut för att göra en riskbedömning tillsammans med expertgruppen. De övriga potentiella konsekvenserna som inte bedöms som lika allvarliga beskrivs dock senare i detta avsnitt.

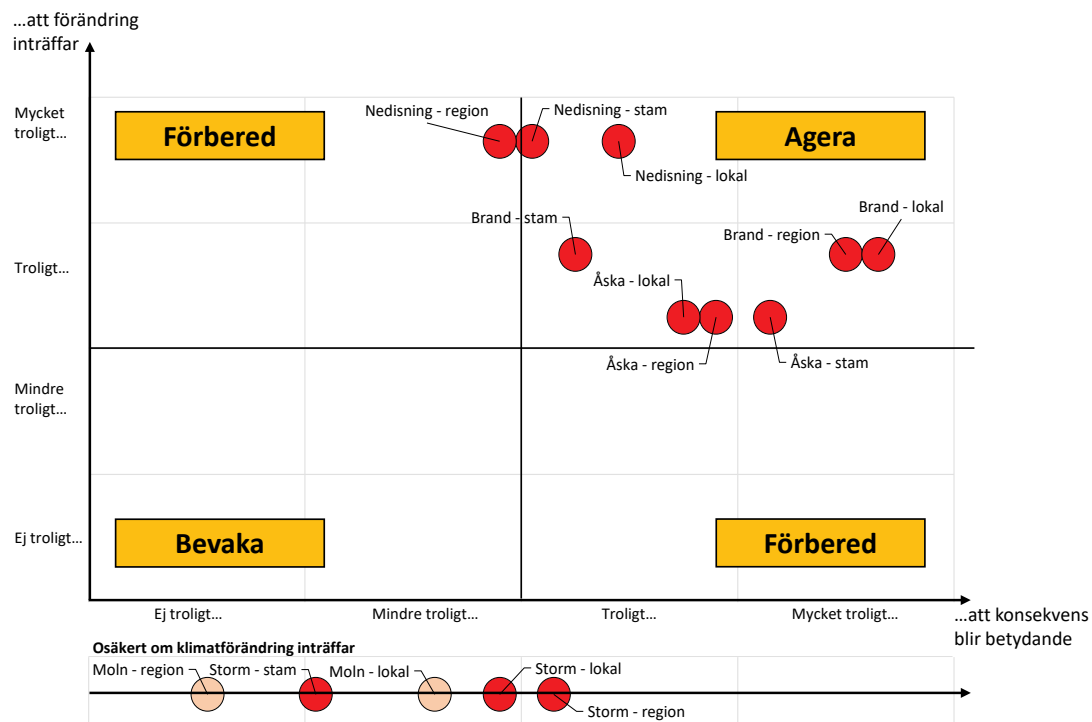
**Tabell 3: Prioriterade potentiella konsekvenser och sammanvägda klimatindex som använts för konsekvensbedömningen, vilka inkluderats i riskmatrisen.**

| Potentiell konsekvens                                                                                | Sammanvägt klimatindex                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nedisning av ledningar kan leda till nedhäng av ledningar, problem med isolatorer och därmed avbrott | Mycket troligt att Götaland får varmare vintrar med färre dagar nära noll, vilket minskar risken för isbildning. För Norrland också mycket troligt att ett varmare klimat med fler vinterdagar nära noll i stället för klart under ökar risken för isbildning under vintern. Osäkert för Svealand som ligger på gränsen mellan minskad och ökad risk. |
| Snö och blötsnö kan leda till nedhäng och högre risk för elavbrott då träd faller på ledningar       | Mycket troligt med minskade problem med snö och blötsnö i söder. I norr finns risk för ökade problem i samband med att det blir fler dagar med temperatur i närheten av nollan under vintern.                                                                                                                                                         |
| Brand och skogsbränder kan leda till längre avbrott och även påverka kabel i mark                    | Troligt att risken för skogsbränder ökar under torra år främst till följd av varmare somrar och längre värmeböljor.                                                                                                                                                                                                                                   |
| Åska är idag en vanlig felorsak och leder främst till överslag och bränder                           | Troligt att totala antalet åskdagar per år ökar och att åksäsongen blir längre.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Stormar kan leda till trädfällning och elavbrott.                                                    | Obetydliga förändringar i alla vindrelaterade index i alla regioner för alla årstider. Ökad risk för stormfällning till följd av ändrade markförhållanden.                                                                                                                                                                                            |
| Snabba förändringar av solelproduktion kan få följdverkningar på elnätet                             | Oklart, har inte tittat på detta specifikt                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Potentiella konsekvenser och klimatindex i Tabell 3 har analyserats vidare för att ingå i den riskmatris som visas i Figur 4. Figuren visar en bedömning av hur troligt det är att respektive förändringen 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 klimatförändringen inträffar har endast en bedömning av hur troligt det är att konsekvensen blir betydande ifall klimatförändringen inträffar.

Färgkodning som gäller är att en röd prick avser en risk kopplat till en plötslig händelse medan en ljusröd prick omfattar en successiv negativ förändring.<sup>4</sup> När det gäller möjligheter så ska de kodats gröna, men arbetsgruppen fokuserade på negativa konsekvenser. Den enda positiva konsekvensen för elnätet av klimatförändringen som identifierades var minskad sannolikhet för isbildning och minskad mängd snö i södra Sverige, men detta inkluderades inte i riskmatrisen.

<sup>4</sup> Exempel på plötslig händelse kan var avbrott på grund av stormar medan successiv negativ förändring kan vara att underhållsbehovet av ledningsgator ökar på grund av en längre växtsäsong.



Figur 4: Riskmatris inkluderande de prioriterade konsekvenser som arbetsgruppen bedömt. Y-axeln indikerar hur troligt det är att en förändring sker och x-axeln visar sannolikheten att konsekvensen blir betydande för branschen inom loppet av 20 år. Röd prick avser en plötslig händelse som innebär en risk, ljusröd prick omfattar en successiv negativ förändring.

### 3.2 NEDISNING

Problem med nedisning beskrivs idag ett relativt stort problem, men det skiljer sig i stor uträkning åt mellan olika delar av landet.<sup>5</sup> Det är främst i mellersta och norra Sverige som problem uppstår och det görs satsningar från elnätsbolagen för att vädersäkra mot nedisning.

<sup>5</sup> Notera att snö som behandlas i avsnitt 3.3 har stora likheter både vad gäller koppling till klimatförändringen och konsekvenser för elnätet, vilket gjorde att de slogs ihop i riskmatrisen.



Figur 5: Exempel på is och snöpåbyggnad (Foto: Statnett)

### 3.2.1 Beskrivning av konsekvens

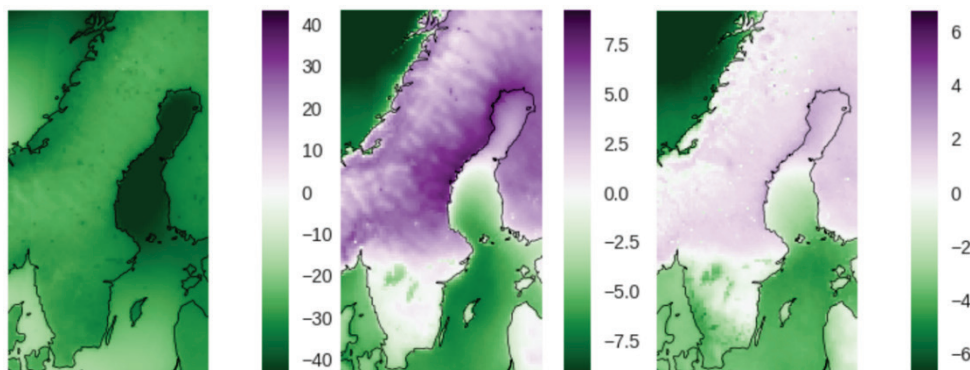
Nedisning kan leda till nedhäng av ledningar, lindans<sup>6</sup>, problem med isolatorer och mekanisk belastning torn som kan haverera (Farzaneh m.fl., 2008; Solangi, 2018). Nedhäng av ledningar kan också leda till personfara om de kommer så lågt att personer eller fordon riskerar att komma i kontakt med dem.

### 3.2.2 Bedömning av framtida klimat

I allmänhet betyder ett varmare klimat att vintersäsongen blir kortare, vilket betyder färre dagar med isbildning sett över hela året, se Figur 6. Samtidigt betyder högre temperaturer att luften kan innehålla mer vattenånga, och att mängden vatten som kan frysa därför ökar. Det finns också ett starkt beroende av tid och plats, vilket gör att under vintern kan det i norra delarna av landet bli fler dagar med temperaturer nära noll grader något som kan öka risken för isbildning.

- Götaland får varmare vintrar och därmed färre dagar med temperatur nära noll, vilket minskar risken för isbildning. Detta betyder att för dessa områden är konsekvenserna potentiellt positiva.
- Svealand ligger på gränsen mellan minskad och ökad risk, vilket innebär att det kan vara lokala skillnader i om de kommer att öka eller minska. Vissa index ger ökning andra minskning.
- Norrland ger ett varmare klimat fler vinterdagar med temperatur nära noll istället för klart under, vilket betyder ökad risk för isbildning.

<sup>6</sup> Lindans uppstår när det bildas is på ledning och kraftig vind gör att ledningarna börjar röra sig så att de slår mot varandra.

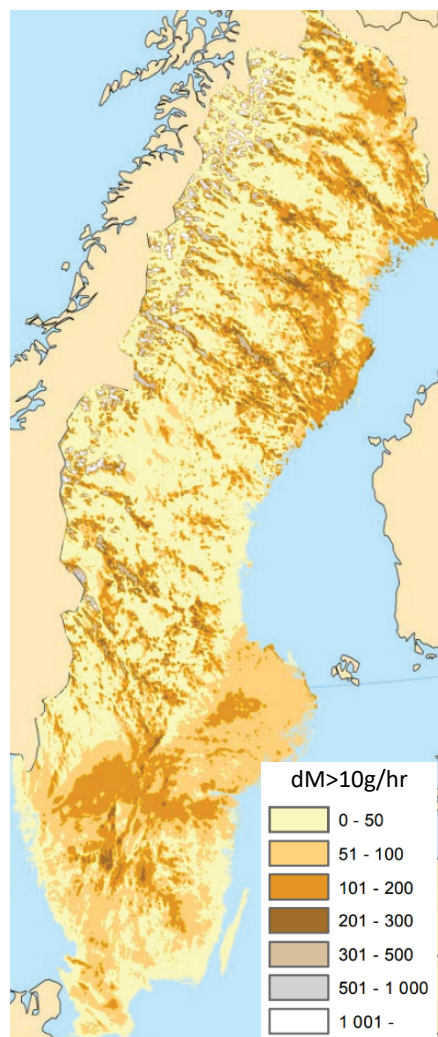


Figur 6: Förväntad förändring av utvalda klimatindex som är relevanta för nedisning i +2-gradersfallet. Från vänster till höger, antal frostdagar per år, antal dagar med nollgenomgångar under december-februari, antal dagar per år med regn då temperaturen ligger nära noll grader.

### 3.2.3 Konsekvensbedömning

I konsekvensbedömning har vi valt att fokusera på områden där nedisning ökar och potentiella konsekvenser av detta. Notera är att elnäten redan är dimensionerade för att klara en viss mängd islast och påfrestningar relaterat till detta. De är dock anpassat efter förhållanden som gällde när man gjorde dimensioneringarna, dvs. de har utgått från ett kallare och torrare klimat i norra Sverige. Klimatscenarierna visar att klimatindexen tyder på att islasterna kommer att öka enligt ovanstående beskrivning, vilket påverkar alla spänningsnivåer särskilt i norra Sverige. I Figur 7 visas nedisningsförhållanden för 2000–2011, dock anpassat för vindkraft.

- *Stamnät*: En ökad isbildning ger ökade mekaniska laster och minskar isolationsförmåga, men stamnätet är kraftigt dimensionerat. För stamnätet är också ledningsgator och höjden på ledningar så väl tilltagna att risken för att träd ska falla över ledningar är väldigt låg. Detta till trots bedöms i dimensioneringen vara tillräcklig om isbildningen ökar markant i norr, och ett haveri kan då få stora konsekvenser då det i så fall inträffar under den säsong som elbehovet är som störst. I riskmatrisen hamnar den samlade bedömning på gränsen mellan agera och förbereda.



Figur 7: Genomsnittligt antal timmar med nedisningsförhållanden 2000–2011 vid 100 m över marknivå (Björkjedal m.fl., 2012).

- *Regionnät:* Isbildning påverkar även regionnätet, men ett fel påverkar vanligen ett färre antal kunder och dessutom finns ofta redundans. Dimensionering med avstånd från skog och höjden på ledningar tilltagna att sannolikhet med trädpåfall på ledningar fortfarande är låg. Sammantaget bedöms konsekvens av ispåbyggnad som något lägre för regionnätet, jämfört med stamnät och särskilt lokalnät. Den samlade bedömning hamnar nära stamnätet på gränsen mellan agera och förbereda.
- *Lokalnät:* Då lokalnät normalt sett består av radiella ledningar så är konsekvensen av nedisning som leder till avbrott större ur den aspekten att det sällan finns någon alternativ matningsväg. Samtidigt, som nämnts tidigare, drabbas färre kunder om det väl blir ett avbrott. Is- och snölaster påverkar ledningar som kan hänga ned mycket på grund av detta, samtidigt påverkar is och snö omgivande skog som tillsammans ökar risken för att träd ska falla på luftledningarna och orsaka avbrott. Nedhäng av ledningar kan också leda till personfara om de hänger ned så mycket att människor eller fordon riskerar att komma i kontakt med ledningar. Dessutom är det ett arbetsmiljöproblem då personal måste ut och manuellt skaka av is och snö från ledningar. Av dessa anledningar hamnar ökad isbildning kopplat lokalnätet tydligt i kategorin agera.

Ökad nedisning och snömängd på grund av klimatförändringen bedömdes som den största risken både med avseende på sannolikhet att klimatförändring inträffar och konsekvenser, för lokalnätet, av att en förändring. Den ökade risken gäller dock främst norra Sverige, och i viss mån mellersta Sverige, då klimatförändringen skiljer sig åt mellan olika delar landet.

### 3.2.4 Åtgärder

Värt att notera är att det redan idag görs en hel del arbete för att försöka hantera ökad nedisning i mellersta och norra Sverige. Exempelvis arbetar både Svenska Kraftnät och Vattenfall med att se över vilka åtgärder som behöver vidtas. En viktig aspekt som båda bolagen nämndes vid intervjuer är att förändra förutsättningarna för dimensionering, så att man tar höjd för svårare framtida isförhållanden. De förslag på åtgärder som tagit fram inom delprojektet är att:

- Lära av erfarenheter från andra länder, då det finns länder som kommit längre än Sverige gällande förståelse och hantering av isproblematik. Exempel på länder att kommit långt är Norge, Island och Kanada.<sup>7</sup>
- Genomföra mer detaljerade iskartläggningar, vilket inkluderar att få en bra bild över hur statusen ser ut nu och hur den kan förändras över tid i olika geografiska områden.
- Vid nybyggnation och reinvesteringar uppdatera beräkningar för dimensionering av anläggningsdelar så att de bättre anpassas efter lokala förhållanden, samt tar höjd för hur klimatförhållandena förändras.

<sup>7</sup> Norska Statnett har tillsammans med flera företag och Isländska Landsnet ett forskningsprojekt som kallas "Icebox" som ska adressera flera av de förslag på åtgärder som vi ger i detta projekt.

- I högre utsträckning använda, och förbättra, metoder för prediktering av nedisning.
- Utveckla och testa tekniker för att detektera is, samt avisning av ledningar och andra komponenter. Några förslag kopplat till detta är att:
  - Snabbare detektera nedisning exempelvis genom patrullflygning, kanske med hjälp av drönare.
  - Mäta nedhäng på luftledningar och koppla varningssystem till detta, samt handlingsplan för åtgärder.
  - Förbättra förebyggande underhåll och kontroller vid ogynnsam väderlek. En del i detta kan vara att jämföra underhåll och åtgärder som vidtas i andra delar i världen för att minska konsekvenserna av nedisning.
  - Testa tekniker för att automatiskt skaka av is på ledningar<sup>8</sup>, istället för som man gör idag att manuellt gå ut och skaka dem. Något som idag blir är potentiellt arbetsmiljöproblem man vill komma bort ifrån.
  - Se över om det går att förbättra säkerheten för personal kring underhåll vid nedisning. En del i detta kan vara att ta fram information och kommunicera säkerhetsrisker för vistelse under ledningar.
  - Undersöka möjligheten till uppvärmda ledningar.
- Fortsätta arbetet med att gräva ner oisolerade luftledningar, alternativt att gå över till isolerade luftledningar i de fall där detta bedöms vara lämpligt.
- Se över status gällande redundans i nätet och analysera hur den kan förbättras på ett kostnadseffektivt sätt.

### 3.3 SNÖ OCH BLÖTSNÖ

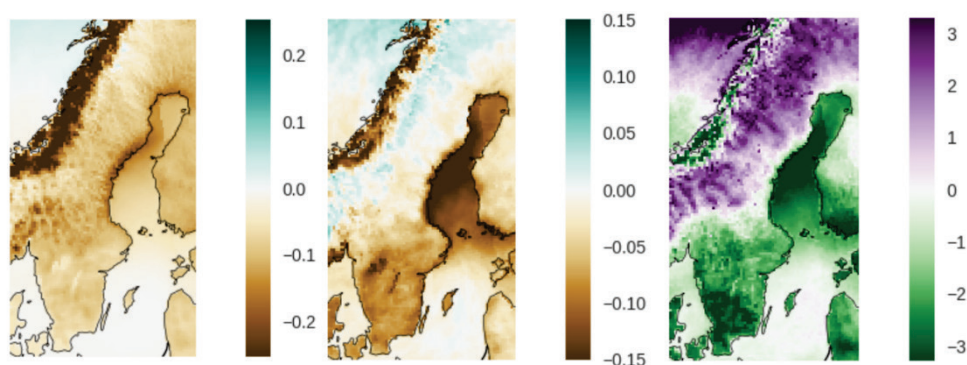
Snö och blötsnö har en nära koppling till nedisning, men har fått ett eget om än förkortat avsnitt då det skiljer sig åt i viss utsträckning. Snö har dock fått ingå under nedisning i själva riskmatrisen, då konsekvenserna är likartade. Figur 8 visar ett exempel på relativt normal snöpåbyggnad på luftledning och träd för mellersta och norra Sverige.

<sup>8</sup> Vattenfall ska testa produkten Plectron från Blink Energy, <https://blinkenergy.co>. Det finns dock flera liknade lösningar.



Figur 8: Bild på relativ normal snöpåbyggnad på luftledning och omgivande träd (Foto: Profu).

Generellt väntas minskade problem med snö och blötsnö i stora delar av landet. Förväntad förändring av utvalda relevanta klimatindex för +2-gradersfallet illustreras i Figur 9. Det är mycket troligt att vi får kortare och varmare vintrar med kortare snösäsong och generellt mindre mängd snö i landet. Den varmare atmosfären kan dock hålla mer vattenånga och snöfallsintensiteten kan därför komma att öka i höglänt terräng och allra längst i norr där det fortfarande är tillräckligt kallt. Det är dock något osäkert hur stora snömängder som kan komma på vintern. De mildare förhållandena gör att antalet dagar med temperaturer nära noll grader ökar i stora delar av Norrland. I kombination med snöfall kan detta ge ökade problem med blötsnö. I övriga landet väntas generellt minskade problem med snö och blötsnö.



Figur 9: Förväntad förändring av utvalda klimatindex som är relevanta för snö och blötsnö i +2-gradersfallet. Från vänster till höger, årlig snöfallsmängd (mm/dag), maximal snöfallsintensitet (mm/timme), antal dagar med snöfall nära nollan (temperatur över -2 grader).

Snö och speciellt blötsnö kan framförallt leda till nedhäng av ledningar och trädpåfall på ledningar, där främst lokalnätet drabbas. Detta kan i sin tur leda till

personfara och elavbrott. Åtgärderna för snö blir i mångt och mycket samma som för nedisning då de är så nära förknippade med varandra. Huvuddragen är att:

- Lära av erfarenheter från andra länder.
- Skaffa ökad kunskap om hur statusen gällande snöförhållanden ser ut nu och hur de kommer förändras över tid i olika områden. I detta bör man också inkludera analyser gällande hur förhållandena påverkar elnätet i olika områden.
- Se över förutsättningarna för dimensionering, så att man tar höjd för svårare snöförhållanden på de platser där detta kan förväntas.
- Utveckla och testa tekniker för att detektera snö och is, samt hur man kan ta bort snö och is på ledningar och andra komponenter på ett kostnadseffektivt och säkert sätt.
- Fortsätta arbete med att gräva ner oisolerade luftledning, alternativt att konvertera till isolerade luftledningar i de fall där detta bedöms vara lämpligt.

### 3.4 BRAND OCH SKOGSBRAND

Det inträffar årligen ca 2 500 skogsbränder i Sverige, och ungefär lika många gräsbränder, där storleken på dessa varierar i stor utsträckning. Även om antalet bränder inte har ökat, över perioden 1996–2018, finns det tendenser till att det förekommer en ökning av antalet okontrollerade bränder (Sjöström & Granström, 2020). Fokus när det gäller brand blir just på skogsbrand då det är där som vi ser de största konsekvenserna för elnäten.

#### 3.4.1 Beskrivning av konsekvens

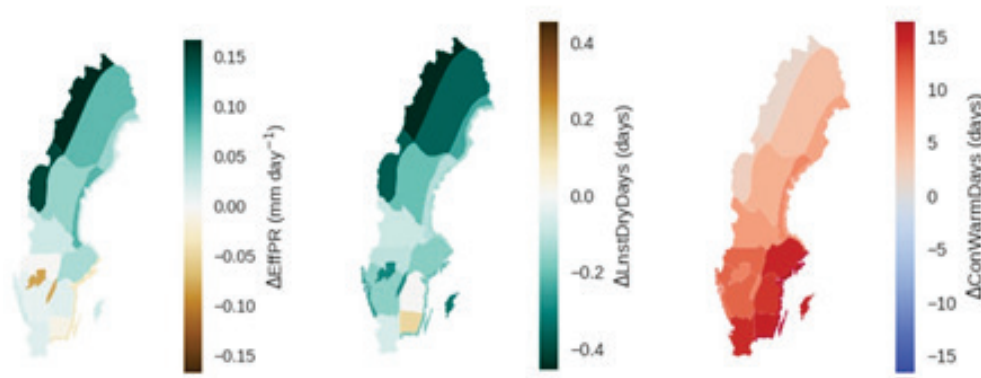
Konsekvenserna vid skogsbränder är främst att ledningar och annan utrustning blir överhettad, samt att ledningsstolpar skadas. Även markförlagda kablar kan påverkas om hetta i marken blir så hög att kablarna påverkas negativt (Perez och Lennerhag, 2017). Ett exempel på förödelse vid en skogsbrand ses i Figur 10.



Figur 10: Exempel på förödelse vid en skogsbrand (Foto: Ellevio).

### 3.4.2 Bedömd sannolikhet för klimatförändring

Förväntad förändring av relevanta klimatindex för +2-gradersfallet illustreras i Figur 11. Risken för skogsbränder ökar främst till följd av varmare somrar, samt längre värmeböljor och torrperioder. 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 bränder. 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. Kontrasterna mellan blöta och torra år väntas också öka på sikt. Sammantaget pekar förändringar i temperatur och nederbörd på ökad brandrisk under torra somrar med störst sannolikhet för ökning i södra Sverige.



Figur 11: Förväntad förändring av utvalda klimatindex som är relevanta för förutsättningarna för skogsbränder i +2-gradersfallet. Från vänster till höger, effektiv nederbörd, längsta torrperiod och värmebölja.

### 3.4.3 Konsekvensbedömning

Då det är stora skillnader i konstruktionen mellan elnät på olika spänningsnivåer blir det också stora skillnader i konsekvenser. Oavsett spänningsnivå bedöms risken med brand, speciellt skogsbrand, vara så pass hög att den hamnar under kategorin agera. En kort beskrivning av spänningsnivåernas förutsättningar:

- *Stamnätet*: har rejäla stälkonstruktioner som håller upp ledningarna, dessutom är ledningsgatorna breda och ledningarna har hög höjd över marken. Detta gör att skogsbränder normalt sett inte skapar tillräcklig hetta för att kunna göra någon större skada på stolpar eller ledningar. Även vid stamnätstationer brukar avståndet till närbelägen skog vara väl tilltaget så att konsekvenserna inte bedöms bli alltför höga. Skogsbränder leder dock generellt för alla spänningsnivåer att det kan bli svårare med access till stationer och ledningar.

- *Regionnät*: har mindre avstånd till skog generellt än stamnätet och dessutom har regionnätet i viss utsträckning trästolpar åtminstone på lägre spänningsnivåer. Med ett mindre avstånd till skog och trästolpar ökar potentiella konsekvenser av skogsbränder.
- *Lokalnät*: har generellt sett ännu mindre avstånd till skog än regionnät, samtidigt som nästan uteslutande har ledningsstolpar av trä. Det finns även stolpar av komposit, men de torde också påverkas av brand (Johannesson m.fl., 2020). Det som talar till lokalnätets fördel är möjligen att elnätsbolagen har satsat mycket på markförlagd kabel under senare år istället för att fortsätta med luftledning som visades i *Tabell 1* och *Tabell 2*.

Generellt sett så kan skogsbränder ha en stor påverkan på luftledningar då temperaturen vid en skogsbrand blir mycket hög, vilket påverkar överföringskapaciteten kraftigt (Choobineh m.fl., 2015). Dessutom fungerar vissa typer av isolatorer, gjorda av komposit, sämre vid höga temperaturer när det finns fukt, rök eller aska i luften. Dessa faktorer förändrar också konduktiviteten i luften, vilket gör så att risken för överslag ökar (McEvoy m.fl., 2011). Till detta kommer att nästan alla komponenters prestanda blir sämre vid höga temperaturer, som exempelvis vid en skogsbrand. För samtliga spänningsnivåer bedöms ökad brandrisk hamna i kategorin agera.

#### 3.4.4 Åtgärder

De stora skogsbränderna under 2018 satte fokus på problemet med skogsbränder för elnätet. Även om Sveriges elnät klarade sig relativt väl konstaterades det att marginalerna var små, vilket betyder att det hade kunnat gå betydligt värre än det gjorde. Nedan ges ett antal förslag på potentiella åtgärder att vidta kopplat till bränder generellt och skogsbränder specifikt som identifierats inom projekt.

- Minska risken för att orsaka bränder, exempelvis genom att:
  - Utveckla brandskyddskrav för skogsmaskiner. Detta eftersom 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).
  - Teknikutveckling och inspektioner för att undvika att elnäten själva inte ska bidra till att bränder uppstår. Idag bedöms det främst en risk för detta vid åska. I detta torde en kartläggning av vad som ger upphov till bränder genomföras.
- Utveckla åtgärder för att upptäcka bränder och minska brandspridning.
  - SMHI:s har en informationstjänst där man, på uppdrag av MSB, visar brandriskkartor i skog och mark. Där finns kartor för antändning och spridning av skogsbrand, samt risk för gräsbrand.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> [www.smhi.se/vader/varningar-och-risker/brandrisk](http://www.smhi.se/vader/varningar-och-risker/brandrisk)

- Förbättra underhåll av ledningsgator. Exempelvis genom att identifiera känsliga sträckor och röja undan brännbart material längs med ledningsgator.
- Förbättra insatsplanering och kommunikation mellan olika aktörer vid större bränder, för att skydda ledningarna innan elden når dem. I efterdyningen av dessa skogsbränder har bland annat EBR tagit fram en handbok gällande hur elnätsbolag och myndigheter kan samverka på ett bra sätt vid skogsbränder (EBR, 2021). Mer om erfarenheter från skogbranden 2018 finns också att läsa i en rapport av Jenvald och Morin (2019)
- Fortsätta att gräva ned luftledningar.
  - Undersöka vilken påverkan en skogsbrand har för markkabel. Exempelvis utreda påverkan på kabel för olika djup och effekten av olika skyddsbarriärer.
  - Se över behovet av att förändra brandskyddskrav för markförlagda kablar.
- Arbeta med riskanalys och redundans
  - Genomföra en kritikalitetsklassning av lokalnät, regionnät och stamnät för att kunna prioritera åtgärder bättre.
  - Arbeta med alternativa ledningssträckor.
  - Genomföra riskanalyser för sitt eget nät men även för inkommande överliggande nät, inmatningspunkter.

### 3.5 ÅSKA

Åska är idag en av de vanligaste orsakerna till elavbrott i Sverige, men längder på avbrott på grund av åska varierar kraftigt. Under 2017 registrerades åska som felorsak för drygt 30 000 avbrott som var mellan 3 minuter och 24 timmar. När det gäller avbrott längre än 24 timmar orsakade åska ca 20 sådana (Westergaard m.fl., 2019).

#### 3.5.1 Beskrivning av konsekvens

Åska leder främst till överslag och fel på komponenter, men även till bränder. Åsknedslag i elnät kan alltså vara en orsak till att skogsbränder uppstår.

#### 3.5.2 Bedömning av framtida klimat

Förutsättningarna för åska blir mer gynnsamma i ett varmare klimat med fler dagar per år med förutsättningar för mäktiga bymoln, kraftiga regnskurar och åska. Bilden kompliceras av att ett varmare klimat skulle kunna minska mängden iskrystaller i molnen till förmån för fler vattendroppar. Mer gynnsamma storskaliga förutsättningar kan alltså motverkas av mindre gynnsamma lokala mikrofysikaliska egenskaper hos molnen och det är därför svårt att veta om risken

för åska ökar eller minskar i Sverige. I en jämförande studie som tar hänsyn både till storskaliga förändringar och förändringar i molnegenskaper visar De Ridder (2020) att frekvensen av dagar med åska kan komma att öka i Sverige i ett varmare klimat och att åksäsongen förlängs.

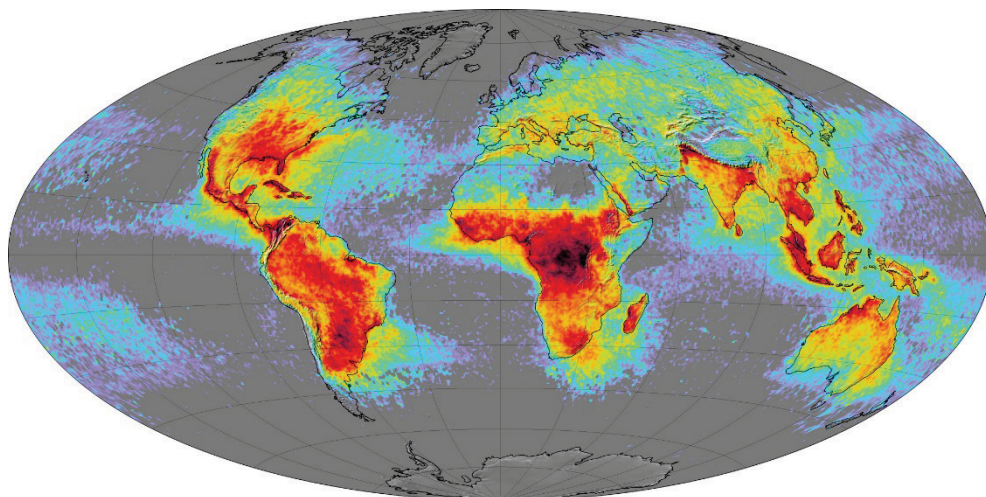
### 3.5.3 Konsekvensbedömning

Även om det finns skeende kopplat till klimatförändringen som påverkar sannolikheten för åska, så ligger övervikten på att väderförhållanden som är gynnsamma för åska ökar. Då åska redan idag är en orsak till en stor mängd elavbrott i elnätet och även är en orsak till att bränder uppstår, så hamnar åska i kategorin agera för alla spänningsnivåer i elnäten.

Även om lokalnät i stor utsträckning saknar redundans och inte är dimensionerade lika kraftigt som stamnätet, bedöms potentiella konsekvenser kopplade till stamnätet ändå som något allvarligare. Orsaken till detta är komplexiteten i elnätet där de olika spänningsnivåerna är sammankopplade med varandra. Ett åsknedslag i stamnätet kan fortplantas ned i region- och lokalnät så att ett fel slutligen kan uppstå där istället. På grund av detta kan exempelvis ett avbrott eller en brand uppstå på en annan plats relativt långt ifrån där själva åsknedslaget inträffade.

### 3.5.4 Åtgärder

Åska är som sagt redan idag en av de vanligaste felorsakerna i elnätet och ett problem är att kopplingen mellan spänningsnivåer gör att konsekvenser av åska kan spridas från stamnät till lokalnät. Trots att åska är en vanlig felorsak i Sverige, så har vi faktiskt en relativt låg åskfrekvens jämfört med många andra länder i världen, se Figur 12. Av denna anledning torde åtgärderna främst handla om att se till att man tar höjd för eventuella förändringar av åskfrekvens och -intensitet vid planering och utbyggnad av elnätet.



Figur 12 Översikt över frekvens på blixtnedslag per år för jorden.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> <https://earthobservatory.nasa.gov/>

Oavsett ovanstående är åska en viktig faktor som påverkar elnätet och inom projektet identifierades ett flertal potentiella åtgärder för att förbättra hanteringen av åska. Förslagen är att:

- Ytterligare studera hur klimatförändringen kan påverka förekomsten av och intensiteten i åskväder.
- Analysera hur åsknedslag påverkar elnätet och hur det kan hanteras.
  - Generellt identifiera var det finns kunskapslapp idag.
  - Undersöka sårbarheten vid åskavbrott i olika delar av ledningsnätet, samt identifiera eventuella åtgärder som bör vidtas.
  - Studera hur man kan minska risken för överslag.
  - Utveckla metoder för att koppla åsknedslag till start av bränder och hur man kan skapa en handlingsplan för insatser, se även förslag till åtgärder under avsnitt 3.4.
  - I högre utsträckning byta ut gammal och känslig utrustning
  - Effektivare felsökningsmetoder som till exempel hur man identifierar spruckna porslinsisolatorer.
- Skapa bättre prognoser och utnyttja prognoser bättre för att bedöma om man ska stänga ner elnätet i förebyggande syfte om kraftiga åskväder är på gång. En del i detta kan vara att utveckla väl fungerande varningssystem online för åska på en nationell nivå och skapa en beredskap kopplat till detta.<sup>11</sup>
- Bygg in mer redundans i systemet för att kunna hantera åsknedslag med efterföljande bränder.
- Ta fram väl fungerande standard för åskskydd i Norden kopplat till den förändring man ser i åskfrekvens och åskintensitet.
  - Se över dimensionering av skydd så att de bättre kan hantera åsknedslag.
  - Se möjligheter att utveckla och/eller använda material som tål åska bättre.

### 3.6 FREKVENNS OCH STYRKA PÅ STORMAR

Stormar är idag främst ett problem i lokalnätet då de ger upphov till att träd faller ned på luftledningar. Träd påfall är också den vanligaste orsaken till avbrott som är mellan 3 minuter och 24 timmar, under 2018 inträffade drygt 60 000 sådana fall. Även när det gäller avbrott som är längre än 24 timmar så är det en av de vanligaste felorsakerna (Westergaard, 2018). Som nämnts tidigare har det dock pågått ett arbete sedan lång tid att stormsäkra elnäten.

<sup>11</sup> SMHI har redan idag tjänster kopplat till detta. [www.smhi.se/professionella-tjanster](http://www.smhi.se/professionella-tjanster)



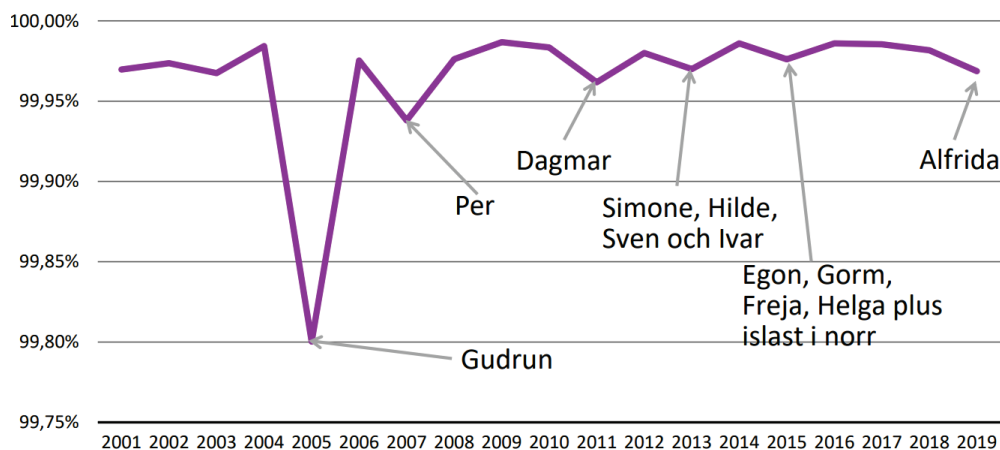
Figur 13: Exempel där träd fallit på en luftledning.

### 3.6.1 Beskrivning av konsekvens

Stormar är redan idag en stor källa till avbrott i elnäten, dock verkar konsekvenser av stormar ha minskat i takt med att man vädersäkrat ledningsnäten, främst genom att nedgrävning av elledningar. Viktiga faktorer som påverkar konsekvenserna är också var stormarna inträffat och hur kraftiga de var. I Figur 14 visas tillgängligheten årsvis för elnäten med de stormar som inträffat under perioden 2001–2019. Nedan visas också exempel på vilka stormar som inträffat, med deras styrka och var de huvudsakligen inträffade<sup>12</sup>:

- *Gudrun 2005*: medelvind 33 m/s och vindby 42 m/s (Blekinge)
- *Per 2007*: medelvind 30 m/s och vindby 40 m/s (Väderöarna)
- *Dagmar 2011*: medelvind 27 m/s och vindby 37 m/s (Jämtland)
- *Ivar 2013*: medelvind 24 m/s och vindby 46 m/s (Västernorrland)
- *Sven 2013*: medelvind 30 m/s och vindby 40 m/s (kust Västra Götaland)
- *Hilde 2013*: medelvind 47 m/s och vindby 56 m/s (Jämtland)
- *Simone 2013*: medelvind 31 m/s och vindby 42 m/s (kust Västra Götaland)
- *Egon 2015*: medelvind 30 m/s och vindby 40 m/s (kust Västra Götaland)
- *Alfrida 2019*: medelvind 29 m/s och vindby 39 m/s (kust Stockholm)

<sup>12</sup> Stormar i Sverige. [www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/stormar-i-sverige-1.5770](http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/stormar-i-sverige-1.5770)



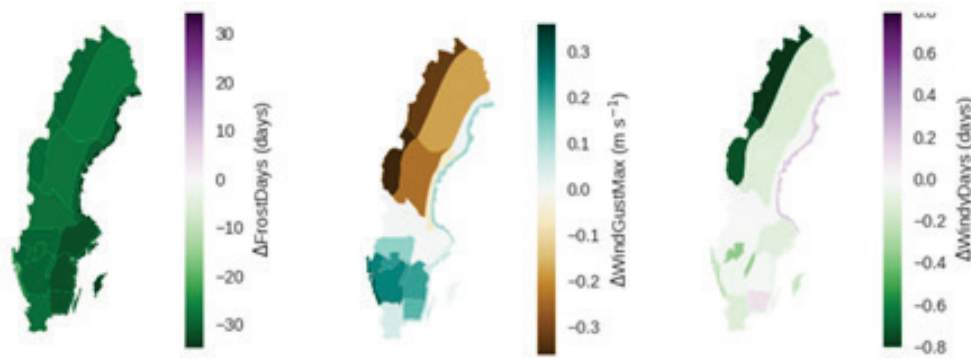
Figur 14: Tillgänglighet för elnäten årsvis och vilka stormar som inträffat respektive år.<sup>13</sup>

### 3.6.2 Bedömning av framtida klimat

Klimatmodellerna ger inga indikationer på ändrad risk för stormar eller höga vindhastigheter. Förväntad förändring av relevanta klimatindex för +2-gradersfallet illustreras i Figur 15. Till exempel förväntas väldigt små ändringar i maximal byvind och antal dagar med höga vindhastigheter. Möjligen syns däremot en viss minskning i vindhastighet i fjällkedjan och en viss ökning längs delar av kusterna, men det påverkar inte förutsättningarna för elnäten. Samtidigt pekar klimatscenerierna på ökade temperaturer med till exempel ett mindre antal frostdagar, vilket innebär en kortare säsong med tjäle (framförallt i norra Sverige). Mer nederbörd leder också generellt till högre halt av markvatten särskilt i norra Sverige. Tillsammans bidrar detta till att öka risken för stormfällning jämfört med idag, och då även vid samma vindhastighet till följd av att träden får försämrade rothållfasthet. Det är också troligt med ändrade förhållanden vid uttag av stormfällad skog på grund av mindre snö och kortare snösäsong, blötare förhållanden till följd av ökad nederbörd och mindre utbredd tjäle.

Sammantaget, är det troligt med ökad risk för stormfällning i hela landet men framförallt i norra Sverige.

<sup>13</sup> Energiföretagen Sverige. [www.energiforetagen.se](http://www.energiforetagen.se)



Figur 15: Förväntad förändring av utvalda klimatindex som är relevanta för förutsättningarna för stormfällning i +2-gradersfallet. Från vänster till höger, antal dagar med frost, maximal byvind och antal dagar med höga byvindhastigheter (>21 m/s).

### 3.6.3 Konsekvensbedömning

Även om en bedömning av hur klimatförändringen påverkar förekomsten av stormar inte inkluderas inte i själva riskmatrisen, gör andra förhållanden att förekomsten av stormfällning bedöms öka. Baserat på detta torde stormar hamna i gränslandet mellan kategorierna bevaka, förbereda och agera då potentiell konsekvens inte bedöms som alltför hög samtidigt som sannolikheten för att frekvens och styrka på stormar ska förändras är osäker. Samtidigt som det trots det finns en ökad sannolikhet för mer stormfällning.

### 3.6.4 Åtgärder

Det pågår som sagt redan ett stort arbete med att vädersäkra elnäten, inte minst genom att gräva ned en stor andel av det lokala ledningsnätet. En viktig del för att kunna göra en bedömning framåt och vilka åtgärder som kan behöva vidtas är dock att få en bättre uppfattning om klimatförändring kommer att leda till något större förändring i förekomsten av och intensiteten på stormar. En annan viktig del är också att skapa en nätdesign för att bättre hantera avbrott och använda smarta elnät som kan bidra till att snabbt identifiera störningar med tanke på det ökade teknikberoendet och samtidigt ökade krav på leveranssäkerhet (Lexholm, 2016; Burén m.fl., 2020). Till detta bör man också koppla handlingsplaner för att få till stånd ett effektivt agerande.

## 3.7 MOLN

Intresset för förändrad molnighet, eller rättare sagt molnfrekvens är kopplat till att snabba förändringar av solelproduktion kan påverka elkvaliteten främst i lokalnäten.

### 3.7.1 Beskrivning av konsekvens

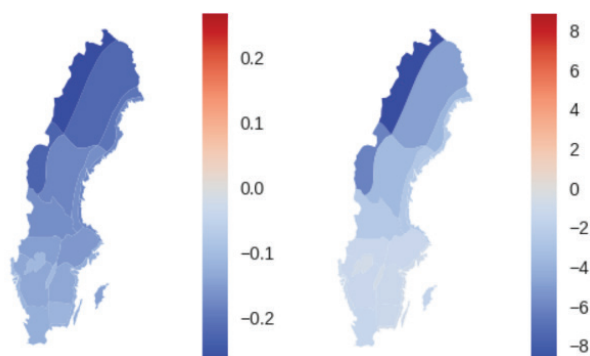
En ökad installation av solceller i Sverige kan få påverkan på elnätet då det kan leda till snabba förändringar i lokal solelproduktion. Detta problem berör främst

lokálnät i områden där det förekommer en stor andel solceller, och om nätet är svagt. Om andelen solceller blir stor på högre spänningsnivåer som regionnät och stamnät torde effekten bli liten, dels då dessa nät är betydligt starkare och då variationen i solelproduktion minskar då det sprids över en större yta (Widén, 2017).

Notera att moln normalt inte innebär att elproduktionen från solceller upphör helt, men de kan gå ned till 10–25% av fullt effekt en solig dag. När det gäller kopplingen till moln, så handlar det främst om snabba till mellansnabba fluktuationer i spänning (Lennerhag, 2014).

### 3.7.2 Bedömning av framtida klimat

Klimatmodellerna pekar på en viss ökning i molnigheten, vilket medför färre soltimmar och mindre mängd infallande kortvågsstrålning för året som helhet. Ändringarna skiljer sig för olika årstider och olika delar av landet. Generellt handlar det om mindre än 5% minskning vid +2 graders global uppvärmning, se Figur 16. Under vintern återfinns den största minskningen i sydöstra delen av landet och under sommarhalvåret är förändringarna störst i norr och i fjällkedjan. Ingen bedömning har gjorts kring huruvida snabba fluktuationer i molnighet väntas ändras.



Figur 16: Förväntad förändring av utvalda klimatindex som är relevanta för ändrad molnighet i +2-gradersfallet. Till vänster visas årlig minskningen i antal soltimmar (timmar per dag). Till höger visas minskning sommardag i inkommande kortvågsstrålning ( $\text{W/m}^2$ ).

### 3.7.3 Konsekvensbedömning

En viss ökning i molnighet och motsvarande minskning i infallande kortvågsstrålning på grund av klimatförändringen är att vänta, men osäkerheten är stor. Ingen bedömning har gjorts rörande snabba fluktuationer i molnighet. Konsekvenserna ligger främst på lokálnät där det installeras en relativt stor andel solceller, men de bedöms inte bli alltför stora. Man betrakta det som att problematiken gällande molnvariation är kopplat till utbyggnaden av solceller snarare än klimatförändringen.

### 3.7.4 Åtgärder

Åtgärder för att hantera molnvariation är främst kopplad till att utbyggnaden av solcellsanläggningar fortsätter och att de har haft en tendens att växa i form av

kluster (Palm, 2016). Av denna anledning finns det nog behov att ta fram underlag för hur solesutbyggnaden ser ut på olika orter, samt hur starkt nätet är på dessa platser. Det finns därmed anledning att utveckla en praktiskt tillämpbar metodik för att bedöma gränser för när problem kan uppstå lokalt, samt behov av kravställning och möjliga åtgärder kopplat till detta. Vad gäller kopplingen till klimatiförändringen handlar det möjligen om att bevaka om den kan bidra till några större förändringar i molnvariation, vilket inte identifierats än så länge.

### 3.8 LÅGPRIORITERADE KONSEKVENSER

Utöver de konsekvenser som nämnts ovan som inkluderats i riskmatrisen har ytterligare ett antal potentiella konsekvenser identifierats, se Tabell 4. Även om vissa av nedanstående konsekvenser bedöms få en liten påverkan på elnätet, så har vi valt att inkludera dem för en kortare beskrivning.

**Tabell 4: Lågprioriterade potentiella konsekvenser och klimatindex som påverkar dessa, vilket inte ingår i riskmatrisen.**

| Potentiell konsekvens                                                                                                                                  | Sammanvägt klimatindex                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| En längre växtsäsong kan leda till ökade avbrott och ökat behov av underhåll.                                                                          | Mycket troligt att vegetationsperioden blir längre som ett resultat av tidigare start och senare slut. Något större ökning i söder än i norr. Mellanårsvariationen minskar i sydligaste Sverige där växtsäsongen ibland beräknas sträcka sig över hela året. |
| Förändrad vindriktning vid stark vind kan orsaka stormfällning, men även ge saltstänk på nya ställen som i sin tur kan leda till överslag och avbrott. | Inga tecken på storskalig omläggning av stormbanorna och därmed inte heller på vindriktning i samband med stormar.                                                                                                                                           |
| Ökad nedbörds mängd kan leda till översvämning och ökad risk för elavbrott.                                                                            | Troligt att maximal sjudygnsnederbörd och maximal nederbördsintensitet ökar. Troligt att antal dagar med kraftig nederbörd ökar. Troligt att risken för översvämning i samband med kraftigt regn ökar.                                                       |
| Värmeböljor ger ökade förluster och större nedhäng av luftledning                                                                                      | Mycket troligt med mer intensiva värmeböljor och längre perioder med varma förhållanden.                                                                                                                                                                     |
| Vindhastigheten har en kyleffekt som påverkar överföringskapacitet                                                                                     | Obetydliga förändringar i alla index i alla regioner för alla årstider.                                                                                                                                                                                      |
| Ökad vattentillgång i mark kan leda till vattentråd i kablar och därmed avbrott                                                                        | Troligt att maximal sjudygnsnederbörd ökar något. Troligt att maximal nederbördsintensitet ökar. Troligt att antalet dagar med kraftig nederbörd ökar. Troligt att risken för översvämning i samband med kraftigt regn ökar.                                 |
| En höjd temperatur minskar överföringskapacitet i ledningar                                                                                            | Mycket troligt med ökande medeltemperatur i hela landet under alla säsonger                                                                                                                                                                                  |
| Frekvens på isstormar kan skada ledningar och orsaka avbrott                                                                                           | Oklart, har inte tittat på detta specifikt                                                                                                                                                                                                                   |

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| En höjd havsnivå ökar översvämningsrisk för låglänta anläggningar nära havet | Tidshorisont och klimatpåverkan spelar stor roll i hur stor effekten blir. Störst problem med ökande havsnivåer längst i söder. Troligt att problem med vågor kan förvärras till följd av kortare säsong med havsis även om inte vindklimatet ändras. |
| Ett specialfall av hög vind är tromber och hur det kan påverka elnätet       | Troligt med ökad risk för starka vindar i samband med tromber i samband med kraftiga regn- och åskskurar. Åksäsongen kan bli längre och berör i större utsträckning maj-juni och september.                                                           |

### 3.8.1 Växtsäsong

Längden på växtsäsongen påverkar hur mycket det växer i skog och mark. En ökad växtlighet innebär främst att det växer mer i ledningsgator och att omgivande träd växer sig högre snabbare.

Det är mycket troligt att vegetationsperioden blir längre som ett resultat av tidigare start och senare slut. Ökningen är störst längs kusterna och något större i söder än i norr. Mellanårsvariationen minskar i sydligaste Sverige där växtsäsongen ibland beräknas sträcka sig över hela året.

För samtliga spänningsnivåer torde en längre växtsäsong leda ett ökat behov av underhåll av ledningsgator. En ökad risk för avbrott bedöms dock främst härröra till lokalnätet. Åtgärder kopplat till en längre växtsäsong handlar främst om ökat underhåll i form av att röja ledningsgator och träd nära luftledningar. Som tidigare nämnts så pågår också ett arbete med att gräva ned alltmer luftledning, vilket bör fortsätta där det är ekonomiskt motiverat.

### 3.8.2 Vindriktning

Förändrad vindriktning vid stark vind kan orsaka så kallad stormfällning. Skälet till att en förändrad vindriktning skulle kunna vara ett problem är att trädens rötter är anpassade för en viss vindriktning och mer motståndskraftiga för kraftiga vindar i den dominerande vindriktningen. Om vindriktningen ändras vid hög vind ökar därmed risken för att träd ska fällas. Nya vindriktningar när det blåser mycket kan också ge saltstänk från havet på nya ställen, vilket kan leda till överslag och sedermera avbrott.

Vid analys av klimatförändringens påverkan finns dock inga tecken på storskalig omläggning av stormbanorna och därmed inte heller på huvudsaklig vindriktning i samband med stormar. Då det inte finns några tecken på att vindriktningen kommer att förändras vid starka vindar eller att mängden stormar kommer att öka i någon större utsträckning, så bedöms riskerna med förändrad vindriktning som låg.

Som tidigare nämnts så pågår det arbete för att säkra ledningsnätet mot stormar. I förhållande till förändrad vindriktning torde främsta åtgärden vara att hålla koll hur förhållandena förändras över tid. En viss beredskap bör dock tas fram då en kraftig storm från en annan vindriktning än normalt torde kunna inträffa även om klimatförändringen inte föranlett detta. Man kan också övervaka om det inträffar

tillfällen med starka vindar i nya riktningar för att identifiera förändringar i saltbeläggningar på känsliga elnätsdelar.

### 3.8.3 Översvämning

Översvämning är idag inget stort problem för elnäten, men kan inträffa vid vissa tillfällen. Översvämningar kan leda till elavbrott vid elnätstationer, men även orsaka vattenträd i kablar som i sin tur kan leda till avbrott. När det gäller vattenträd i kablar bedöms detta dock främst som ett problem för äldre kablar. Kvaliteten på nyare kablar är så pass mycket bättre att detta inte torde vara något större problem.

Troligen kommer den maximala sjudygnsnederbörden att öka. Dessutom är det sannolikt så att den maximala nederbördsintensiteten ökar. Det är också troligt att antalet dagar med kraftig nederbörd ökar. Sammantaget innebär det att risken för översvämning i samband med kraftigt regn ökar.

Även om översvämning inte utgör något stort problem för elnätet idag, är samtidigt bedömningen att klimatförändringen kommer leda till att översvämningar kommer att öka. Förslag till åtgärder kopplat till översvämning är att skapa en bättre uppfattning om hur sannolikheten för översvämningar kommer att öka lokalt och försöka ta fram handlingsplaner för hur detta ska hanteras. Se även avsnitt 3.8.7 om höjd havsnivå och strategier för att hantera översvämningar (Pötz, 2014). När det gäller nybyggnation av elnät bör man också beakta framtida risk för översvämning vid känsliga elnätsdelar. Det finns också en del underlag kopplat till översvämning redan idag, exempelvis MSBs översvämingsportal och SMHIs tjänster med vakthavande hydrolog.<sup>14</sup>

### 3.8.4 Värmeböljor

Konsekvenserna av värmeböljor ger främst ökade förluster och nedhäng av luftledningar, men ökar även risken för avbrott i vissa situationer (Nguyen m.fl., 2011). Dessutom kopplar värmeböljor till skogsbränder, då de dels ökar risken för att skogsbränder ska uppstå, dels förvärrar förhållandena om större skogsbränder härjar. Det finns främst studier om värmeböljors påverkan på elnätet gjorda i länder där värmeböljor är betydligt vanligare än i Sverige.

Klimatscenarier visar att antalet dagar i följd med höga maxtemperaturer väntas öka kraftigt. I absoluta tal är ökningen störst i södra och sydöstra delarna av landet. Detta betyder att både längden på värmeböljor och intensiteten hos dem ökar i ett allt varmare klimat.

Att luftledningar får ett ökat nedhäng vid höga lufttemperaturer är främst en säkerhetsrisk, men även ett potentiellt problem då överföringsförmågan minskar. I Sverige finns det flera regelverk gällande lägsta höjd på luftledningar (Trafikverket, 2018; Elsäkerhetsverket, 2008). I princip alla komponenter i elnätet påverkas dock negativt av en hög utomhustemperatur. I en fallstudie gällande hur väderförhållanden påverkar överföringskapaciteten visade resultaten att det förekom en väsentlig påverkan. Grundförutsättningarna var en ledningslängd om

<sup>14</sup> <https://gisapp.msb.se/apps/oversvamningsportal/> och [www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/](http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/)

32 km med en statisk kapacitet på 787 A, en omgivningstemperatur på 40 °C, en vindhastighet på 0 m/s och tidpunkten var mitt på dagen. En förändrad utomhustemperatur om  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  påverkade överföringskapaciteten på luftledningen med  $\pm 2\%$ . När det gällde solinstrålning så blev det endast en liten effekt av förbipasserande moln medan kapaciteten ökade med ca 18% mitt på natten. Vindhastighet påverkade dock mest då en 1 m/s ökad vind en ökad kapacitet om 35% eller mer beroende på hur vindriktningen låg till i förhållande till luftledningen (Aivaliotis, 2010). Att vindhastigheten har klart störst påverkan på kapaciteten visas även med modellering, där en ökning i vindhastighet från 0 till 25 m/s ökade kapaciteten för en luftledning med 371% (Xu, 2012). Det konstateras också att vindens riktning i förhållande till ledning har relativt stor betydelse.

Transformatorer är också beroende av kylning och om kylningen inte fungerar sjunker prestanda och transformatorerna kan gå sönder (NCCARF, 2010; Smoyer-Tomic m.fl., 2003; Mossberg Sonnek, 2014). Även jordkabelledningar har problem med värme då de värms upp snabbare än luftledningar, är svårare att reparera och eventuella skador på isolationsmaterialet kan vara svåra att hitta. Ett exempel på problem med jordkabel inträffade vid en värmebölja i New York 2006 och som orsakade problem med elleveranserna i nio dagar (Wiegler m.fl., 2006).

En annan aspekt på en ökning av mängden värmeböljor, är att vi samtidigt ställer högre krav på komfort, vilket leder att vi installerar mer luftkonditionering som ökar överföringsbehovet av el på sommaren. Förslag på åtgärder är i första hand att lära av andra länder som har betydligt varmare klimat än Sverige, där som sagt de flesta studier om värmeböljor genomförts. Direkt kopplat till teknik och elnät bör man se över dimensionering och val av utrustning för att bättre kunna hantera värmeböljor. Kopplat till elsystem torde man också se över om det finns anledning till att genomföra prioritering av elanvändning för att kunna koppla bort behov som inte anses nödvändiga. Detta finns redan idag men fokus ligger på hantering under vintertid (Energimyndigheten, 2018).

### 3.8.5 Medelvindhastighet

Vind har en kyleffekt som påverkar luftledningars överföringskapacitet positivt, vilket även framkom i 3.8.4. I detta avsnitt exkluderas effekterna av stormar utan fokus ligger på effekter av att medelvindhastigheten förändras.

Klimatscenerierna visar inte på några entydiga förändringar i vindhastighet varken för medelvindhastighet eller antal dagar med lugna eller blåsiga förhållanden. Detta gäller för samtliga årstider.

En förändring av medelvindhastigheten skulle främst innebära en mindre förändring i överföringskapacitet för luftledningar. Då det bedöms endast bli obetydliga förändringar i vindhastighet, om än osäkra resultat, så bedöms detta få en liten konsekvens för elnätet. Aktuellt arbete som pågår kopplat till vindhastighet är att Svenska Kraftnät testar tekniker för dynamisk nätkapacitet. Det innebär att man anpassar överföringsbegränsningen utifrån verklig kapacitet vid olika väderförhållanden, som omgivningstemperatur, vindhastighet och solstrålning (Svenska Kraftnät, 2019). Dynamisk ledningskapacitet (DLR, Dynamic Line Rating) är något som har testats i flera länder i Europa och USA. Resultaten

varit positiva, och man har visat på ökad överföringsförmåga jämfört med tidigare statistiska begränsning. Som beskrivs ovan så visade ett test vid hög temperatur att en ökad vindhastighet fick en stor påverkan på överföringsförmågan. Det finns dock risker med implementering som av DLR, men det finns tillämpbart metodik för detta (Tjäder och Etherden, 2015). Bedömningen är att när det gäller förändrad medvind bedöms inga ytterligare åtgärder behöva vidtas.

### 3.8.6 Temperatur

Som beskrivits ovan gällande värmeböljor så påverkar temperatur främst överföringskapacitet för ledningar och annan apparatur, men det leder även utvidgning och därmed nedhäng av luftledningar. Det kan också nämnas i sammanhanget att även jordkabel påverkas av temperatur. I en studie om dynamisk belastbarhet för jordkablar menar man att det finns goda skäl att införa säsongsbaserade strömgränser för kablar. Resultatet indikerar att det kan vara möjligt att öka belastningsförmågan med upp till 10 % under den period på året då lasten traditionellt är som störst (Perez & Lennerhag, 2017). En ökad medeltemperatur torde därmed reducera denna möjlighet något.

Ökande medeltemperatur till följd av fortsatt global uppvärmning är en av de tydligaste klimatförändringssignalerna enligt klimatmodellerna. Ökningen är markant i hela landet för alla årstider men störst i norra Sverige under vinterhalvåret och överstiger väsentligt den globala temperaturhöjningen.

Generellt sett för alla spänningsnivåer torde de relativt små förändringarna i medeltemperatur inte få några dramatiska konsekvenser på överföringsförmågan i ledningarna. Det är snarare vid extremförhållanden som värmeböljor som temperatur som får större konsekvenser, vilket beskrivits ovan. Med detta sagt är det ändå så att överföringskapaciteten reduceras något vid en ökad temperatur. Därför blir nog främsta åtgärden att försöka hålla koll på dimensionering och eventuell ta höjd för förändringar i temperaturer och i hur stor utsträckning det kan påverka elnätet. Arbetet med dynamiska ledningskapacitet som nämnts tidigare är något som har möjlighet att leda till ett effektivare utnyttjande av elnätet och samtidigt minska risker då man nära gränsen för överföringskapacitet.

### 3.8.7 Havsnivå

En höjd havsnivå ökar främst översvämningssrisken för låglänta anläggningar nära havet. Det är dock framförallt i kombination med kraftigt vind och vågbildning som konsekvenserna kan bli stora. En stigande havsnivå kan också leda till jordskred vid kusterna och i älvmyrningar.

Den globala havsnivån fortsätter att stiga till följd av den globala uppvärmningen. Ändrade lokala havsnivåer styrs av både den globala havsnivåhöjningen och regionala effekter där landhöjning är viktig för Sveriges kuster. Tidshorisont och framtida klimatpåverkan spelar en mycket stor roll i hur stor effekten blir. Störst problem med ökande havsnivåer finns längs i söder där landhöjningen är liten. Även om vind- och stormklimatet inte väntas ändras är det troligt att problem med vågor i vissa situationer kan förvärras till följd av kortare säsong med havsis.

Det finns idag en relativt god medvetenhet vad gäller den fysiska planeringen så att man tar viss höjd för översvämningssrisk. Det framgår i Plan- och bygglagen (2010:900) i 3:e kapitlet och 5:e paragrafen att det i kommunernas översiktsplaner ska framgå *"kommunens syn på risken för skador på den byggda miljön som kan följa av översvämning, ras, skred och erosion som är klimatrelaterade samt på hur sådana risker kan minska eller upphöra"*.<sup>15</sup>

Föreslagna åtgärder är främst att analysera vilka stationer eller ledningar som ligger i riskzonen nu och hur läget för dem kan förändras framgent. Dessutom kan man vidareutveckla varningssystem för höga havsnivåer med tillhörande åtgärdsplaner.<sup>16</sup> Vid nybyggnation av elnät bör också hänsyn tas till en höjd havsnivå i södra Sverige. Exempelvis genom att bygga stationer på lite högre belägna platser, eller bygga med vattentäta fasader.

Det finns en del internationella exempel, främst Holland, att lära av där man arbetar med byggnadsdesign som man menar ska tåla översvämningar på ett betydligt bättre sätt än dagens design. I en rapport från STOWA beskriver man ett koncept där man arbetar med 3 nivåer (Pötz, 2014).

- *Förebyggande*, genom att bygga vallar som gör att vattnet ska få det svårare att byggnader.
- *Hållbar fysisk planering*, vilket omfattar ett sekundära vallar eller andra strukturer som förhindrar att vattnet når in i byggnaden.
- *Katastrofhantering* som kan innebära att man åstadkommer en bättre koordination mellan olika aktörer som ska hantera akuta situationer. Det inbegriper även praktiska delar som att bygga tillfälliga vallar eller sätta in pumpar för att få bort vatten.

### 3.8.8 Tromber

Tromber är ett specialfall av höga vindhastigheter, som inte är särskilt vanligt förekommande i Sverige idag, vilka skulle kunna påverka elnätet på liknande sätt som stormar.

Det är troligt att risken för starka vindar i samband med tromber i samband med kraftiga bymoln och regn- eller åskskurar ökar. I ett varmare klimat med mer vattenånga i atmosfären förlängs säsongen med den största aktiviteten och berör i högre grad även maj-juni och september. Till skillnad från åska så är inte höga vindhastigheter på samma sätt beroende av mikrofysikaliska egenskaper hos molnen (jämför avsnitt 3.7). Det betyder att risken för tromber antagligen ökar mer än risken för åska.

Då tromber är ovanliga och storleken på dem är betydligt mindre än en storm så bedöms potentiella konsekvenser som relativt små. Den främsta föreslagna åtgärden blir att hålla koll på utvecklingen gällande förekomst och styrkan av

<sup>15</sup> [www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900\\_sfs-2010-900](http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900)

<sup>16</sup> SMHI inför ett nytt varningssystem i april med tanken att vara mer relevant. [www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/fornyade-vadervarningar-1.167835](http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/fornyade-vadervarningar-1.167835)

tromber i Sverige som idag är ett mycket litet problem för elnäten. Till detta kan man också ta fram en generell konsekvensanalys för om en större tromb inträffar och hur en insatsplan bör se ut.

## 4 Strategi för anpassning och åtgärder

**Vi har konstaterat att många av de potentiella konvenser som identifierats i detta arbete redan idag är problem som tillhör vardagen för elnätsbolag. Av denna anledning finns också många rutiner etablerade. Dessutom finns det en hel del pågående forskning och utveckling inom dessa områden. Vi ger här förslag på åtgärder som vi finner särskilt lämpliga att fokusera på med klimatförändring i fokus och de ökade konsekvenser som detta kan leda till.**

Vi börjar med att sammanfatta de risker som vi bedömer som störst för elnätet, se Tabell 5, utifrån den genomgång av alla de potentiella konsekvenser som identifierats kopplat till en förändring av klimatet. Som framgår av tabellen har vi slagit samma några av de potentiella konsekvenser som tidigare beskrivits separat i rapporten. Anledningen är att vi i arbetet med dessa har konstaterat att vissa har en nära koppling till varandra, både vad gäller klimatförändringar som påverkar, potentiella konsekvenser och förslag på åtgärder för att hantera dessa.

Ökad nedisning och en ökad mängd blötsnö ligger nära varandra gällande klimatindex då det är samma typ av principer som gör att sannolikheten för is- och snöproblematiken (speciellt blötsnö) kommer att öka, speciellt i norra delarna av Sverige. Konsekvenserna hör också ihop i stor utsträckning då både is och blötsnö leder till ökad belastning på luftledningar, isolatorer och omgivande skog som riskerar att falla ned på luftledningar. På liknande sätt är det med skogsbrand och värmeböljor, eftersom klimatförändringen leder till ökad temperatur och längre värmeböljor också bidrar till ökad sannolikhet för skogsbränder under torra år. Konsekvenserna hänger också ihop starkt då en värmebölja leder till sämre prestanda för elnätskomponenter, vilket kan förvärras vid en skogsbrand som innebär stark värmealstring och rökutveckling.

**Tabell 5: Översikt över de risker som bedöms som störst vid en klimatförändring.**

| Potentiell konsekvens                                                                                                   | Sammanvägt klimatindex                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ökad nedisning och snömängd kan leda till nedhäng av ledningar, problem med isolatorer och träd som faller på ledningar | Mycket troligt att Götaland får varmare vintrar med färre dagar nära noll, vilket minskar risken för isbildning. För Norrland också mycket troligt att ett varmare klimat ger fler vinterdagar med temperaturer nära noll i stället för klart under, vilket ökar risken för isbildning och blötsnö. Osäkert i Svealand som ligger på gränsen mellan minskad och ökad risk. |
| Skogsbränder och värmeböljor kan leda till långa avbrott, nedhäng av ledningar och sämre prestanda på elnätsutrustning  | Troligt att risken för skogsbränder ökar under torra år främst till följd av varmare somrar och längre värmeböljor.                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Åska är idag en vanlig felorsak och leder främst till överslag och bränder                                              | Troligt att totala antalet åskdagar per år ökar och att åksäsongen blir längre.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

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 bedömds viktigast enligt ovan, vilket kan utgöra en grund för en strategi i att hantera konsekvenserna av klimatförändringen för elnäten.

- 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. Exempel är att:
  - Isbildning och blötsnö som det bedöms bli en ökning av främst i norra Sverige, där kan det finnas en del att lära av länder som Norge, Kanada och Island.
  - Skogsbränder och värmeböljor som bedöms öka främst i södra Sverige finns det antagligen många länder att lära av, som har betydligt större problem med detta än Sverige. Samma sak gäller för åska, där förhållandena är betydligt värre i andra delar av världen, se Figur 11.
- För det andra bör man ytterligare höja kunskapen gällande klimatförändringsindex då många av dessa är regionala, till exempel bedöms isförhållanden förvärras i norra Sverige och minska i söder men stora lokala variationer kan förekomma, se exempelvis Figur 7. För att göra detta behöver regional klimatmodellering med hög upplösning och förbättrad beskrivning av markförhållanden genomföras.
- För det tredje är det viktigt att kartlägga och förstå konsekvenserna för elnätet, prioritera dessa och initiera arbete med möjliga åtgärder kopplat till detta, vilket vi har påbörjat i denna studie.
- För det fjärde bör man följa utvecklingen gällande klimatförändringen och dess konsekvenser för elnätet. Kopplat till ovanstående punkter är det viktigt att hantera kunskapsluckor som identifieras och bli medveten om vilket behov av forskning och utveckling som finns.
- Slutligen är det viktigt att i hela hantering identifiera ansvariga aktörer och försöka forma effektiva samarbeten mellan involverade aktörer.

Ytterligare förslag på hantering ges i respektive avsnitt.

## 5 Slutsatser och diskussion

**Vi kan i denna studie konstatera att de flesta konsekvenserna av klimatförändringen är negativa för elnätet. Det finns dock vissa geografiska skillnader, exempelvis förväntas snö- och isproblem öka i norra Sverige medan förekomsten förväntas minska i södra Sverige. De flesta identifierade konsekvenserna existerar redan idag i olika utsträckning och därför pågår redan arbete för att hantera dessa väderrelaterade problem.**

Nedan ges en sammanfattning av resultaten av det arbete som genomförts i denna studie.

- De viktigaste väder- och klimatpåverkande faktorerna för elnätet i Sverige är is- och snöförhållanden, temperatur, åska och kraftiga vindar. Vi har konstaterat att redan idag påverkar dessa faktorer elnätet i olika utsträckning, och att det finns en hel del åtgärder som redan vidtas av elnätsbolagen. Inte minst genom den satsning som gjorts på att gräva ned och isolera en allt större andel av lokalnätens luftledningar. Bara under perioden 2013–2019 har mängden markförlagd kabel ökat med ca 51 000 km i lokalnäten för att minska konsekvenserna av framförallt stormar. Konsekvenserna av stormar ser också ut att ha minskat till följd av detta, men samtidigt beror stormskador i stor utsträckning på var de inträffar och hur kraftiga de är.
- Klimatförändringen påverkar främst elnätet negativt, men det finns också ganska stora geografiska skillnader mellan norr och söder. Exempelvis bedöms risken kopplad till is och snö (blötsnö) öka i norra Sverige medan den minskar i södra Sverige. Samtidigt bedöms risken för bränder öka under torra år med störst sannolikhet i södra Sverige.
- Den konsekvens som bedöms få störst påverkan på elnätet, lokalnät och regionnät, är ökad risk för skogsbränder i söder. Medan det klimatindex som bedöms troligast att förändras är ökad risk för nedisning och snö i norr, där konsekvensen bedöms som störst för lokalnätet.
- I analysen har vi försökt beskriva klimatförändringsindex och konsekvenser av dessa separat för varje identifierad konsekvens. Vi kan dock konstatera att de i stor utsträckning hänger ihop. Exempelvis så kan konsekvenserna av is- och snöpåbyggnad på ledningar och träd förvärras vid höga vindhastigheter. Likaså kan konsekvenserna av skogsbränder bli väsentligt mycket värre om det samtidigt förekommer starka vindar. På detta sätt är det för många av de väderfenomen och konsekvenser som identifierats, dvs. att samverkan av olika väderfenomen kan förvärra konsekvenserna för elnätet kraftigt.
- En aspekt på konsekvenserna av klimatförändringen är att vissa väderfenomen är betydligt värre i andra delar av världen än vad Sverige har idag och troligen kommer att ha inom de närmste 50 åren. Exempel på

detta är åska, som vi visade i Figur 12, eller värmeböljor som är betydligt vanligare och orsakar större problem i exempelvis delar av Australien och USA än i Sverige. Med detta perspektiv kan vi konstatera att det med hjälp av klimatanpassning går att hantera många konsekvenser av många klimatiförändringen, men att det oavsett detta kan få stora konsekvenser.

- Isbildning och snö är en typ av fenomen där Sverige är ett av de länder i världen som har störst påverkan på elnätet, vilket naturligtvis är kopplat till att vi befinner oss i de kallare delarna av världen.
- Vi konstaterade ovan att det skett ett rejält arbete för att vädersäkra elnäten, med fokus på lokalnät, främst genom att gräva ned luftledningarna och i viss utsträckning byta till isolerade luftledningar. Värt att notera är att kabel är dyrare än luftledning, vilket gör att det krävs en viss befolkningstäthet för att det ska vara ekonomiskt försvarbart. Ytterligare en aspekt på kabel är att även den påverkas av förändrade temperaturer, vilket är något man bör vara uppmärksam på.

Arbetets syfte att bedöma hur klimatiförändringen kommer att påverka elnäten i framtiden är förknippat med osäkerheter. Detta gäller sannolikheten för att olika klimatindex kommer att förändras i en viss utsträckning, dels för att indexen bygger på modellresultat, dels för att det beror på hur vi fortsätter att släppa ut klimatpåverkande gaser i atmosfären. Det gäller även osäkerheter kring hur stor konsekvensen av en viss klimatiförändringsaspekt kommer att bli på elnäten, eftersom det beror på hur mycket åtgärder som vidtas för att hantera dessa aspekter. Dessutom kommer antagligen utvecklingen av energisystemet i övrigt att påverkas, till exempel hur elbehovet förändras och hur elproduktionsmixen kommer att se ut om ett antal år.

## 6 Referenser

- Aivaliotis S.K. (2010) Dynamic Line Ratings for Optimal and Reliable Power, The Valley Group - a Nexans Company
- Choobineh M.; Ansari B.; Mohaghegh S. (2015) Vulnerability assessment of the power grid against progressing wildfires. Fire Safety Journal Volume 73, April 2015, Pages 20-28
- Bjyrkjedal Ø.; Tallhaug L.; Harsveit K. (2012) Icing map for Sweden. Kjeller Vindteknikk. KVT/ ØB/2012/R076.
- Burén C.; Cronsioe A.; Lundbergh B.; Widegren K. (2020) Framtidssäkring av smarta elnätsindikatorer.
- De Ridder (2020) Lightning in Scandinavia — Historical and Future conditions in a High-resolution Regional Climate Model. Masters Thesis, Meteorologiska Institutionen, Stockholms Universitet, [www.misu.su.se/research/publications/master-theses](http://www.misu.su.se/research/publications/master-theses)
- EBR (2021) Skogsbränder – Samverkan mellan elnät 3 och myndigheter. EBR handbok TU58 på remiss.
- Elsäkerhetsverket (2008) Elsäkerhetsverkets föreskrifter och allmänna råd om hur elektriska starkströmsanläggningar ska vara utförda. ELSÄK-FS 2008:0031
- Energimarknadsinspektionen (2020) Leveranssäkerhet i Sveriges elnät 2019 - Statistik och analys av elavbrott. Ei R2020:08
- Energimyndigheten (2018) Styrel – Handbok för styrels planeringsomgång 2019–2021. ET 2018:10
- Farzaneh M. editor (2008) Atmospheric Icing of Power Networks. Springer link
- 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.
- Jenvald J.; Morin N. (2019) Skogsbranden 2018 – erfarenheter ut ett dammsäkerhetsperspektiv. Energiforsk rapport 2019:614.

- Jacob D.; Petersen J.; Eggert B. (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>
- Johannesson C.; Johansson K.; Tegstedt F. (2020) Livscykelanalys av ledningsstolpar. *Energiforsk Rapport 2020:693*
- Kjellström E.; Strandberg G.; Lin C. (2021) Förändringar i klimatet med påverkan på energisektorn i Sverige. *Energiforsk rapport kommande*.
- Lennerhag O.; Bollen M.; Ackeby S.; Rönnberg S. (2014) Spänningsvariationer och intermittent produktion. *Elforsk rapport 2014:42*
- Lexholm M. (2016) Nätutbyggnad och automatiker för ökad tillgänglighet. *Energiforsk rapport 2016:274*
- McEvoy D.; Ahmed I.; Mullett J. (2011) The impact of the 2009 heat wave on Melbourne's critical infrastructure. *Local Environment* Vol. 17, No. 8, September 2012, 783–796.
- Molarius R.; Wessberg N.; Keränen J.; Schabel J. (2008) 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.
- Mossberg Sonnek K.; Lindgren J.; Carlsson-Kanyama A. (2014) Hur värme påverkar tekniska system Möjliga konsekvenser av en värmebölja på elförsörjning och järnvägstransporter. *Myndigheten för samhällsskydd och beredskap*
- NCCARF (2010) Impact and adaptation responses of infrastructure and communities to heatwaves: the southern Australian experience of 2009. National Climate Change Adaptation Research Facility, Cold Coast, Australia.
- Nguyen M.; Wang X.; Chen D. (2011) An investigation of extreme heatwave events and their effects on building and infrastructure. CSIRO Climate Adaptation Flagship Working Paper No. 9. [www.csiro.au/resources/CAF-working-papers.html](http://www.csiro.au/resources/CAF-working-papers.html).
- Palm A. (2016). Local factors driving the diffusion of solar photovoltaics in Sweden: A case study of five municipalities in an early market. *Energy Research & Social Science* 14 (2016) 1–12.
- Perez A.; Lennerhag O. (2017). Dynamisk belastbarhet för jordkablar. *Energiforsk Rapport 2017:427*
- Pötz H. (2014). Multi-level safety: water resilient urban and building design 12 2014.
- SBF (2017) Regler för brandskydd på arbetsfordon och -maskiner. SBF 127:16
- Sjöström J.; Granström A. (2020) Skogsbränder och gräsbränder i Sverige-Trender och mönster under senare decennier. In Karlstad, Sweden.

- Smoyer-Tomic K.E.; Kuhn R.; Hudson A. (2003) Heat Wave Hazards: An Overview of Heat Wave, Impacts in Canada. *Natural Hazards* 28: 463–485, 2003
- Solangi A.R. (2018) Icing Effects on Power Lines and Anti-icing and De-icing Methods
- Svenska Kraftnät (2019) En statusuppdatering om läget i kraftsystemet – Systemutvecklingsplan 2020–2029.
- Tjäder J.; Etherden N. (2015) Bedömning av risker vid implementering av dynamisk belastbarhet. *Energiforsk rapport* 2015:140
- Trafikverket (2018) Trafikverkets föreskrift om placering av ledningar och konstruktioner på en landsvägs vägområde.
- Westergaard T.; Seratelius M.; Dalheim M. (2019). Tillsyn avseende leveranssäkerheten i elnäten. Ei PM2019:02. [www.ei.se](http://www.ei.se)
- Wiegler L. (2006) New York feels the heat (power system restoring). *Engineering & Technology*, Vol. 1(6), 26–27.
- Widén J.; Elfving G.; Jansson E.; Munkhammar J.; Lingfors D. (2017) Characterization of extensive city-scale solar power generation. *Energiforsk* 2017:388.
- WMO (2020) State of the Global Climate 2020 - Provisional report  
[https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21804#.YBv1fCV7muV](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21804#.YBv1fCV7muV)
- Xu B. (2012) Predictive Power Dispatch for the Integration of High Renewable Shares Incorporating Dynamic Line Rating. Swiss Federal Institute of Technology Zürich.

# KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS INVERKAN PÅ ELNÄTET

Här beskrivs klimatförändringens potentiella konsekvenser för elnäten och forskarna ger förslag på åtgärder för att hantera de problem som påverkar elnäten i Sverige. De viktigaste konsekvenserna av klimatförändringen är is- och snöförhållanden, temperatur, åska och kraftiga vindar.

De flesta konsekvenserna är negativa, men det är geografiska skillnader. Exempelvis förväntas problem med snö och is minska i södra Sverige medan vissa problem med blötsnö och isbildning kan öka i norra Sverige. I söder är den allvarligaste förändringen en ökad risk för skogsbränder, medan det bedöms vara oförändrat i norr.

Rapporten beskriver olika konsekvenser separat, men till stor del hänger de ihop. Konsekvenserna av is- och snöpåbyggnad på ledningar och träd förvärras exempelvis vid höga vindhastigheter. På samma sätt blir följderna av en skogsbrand mycket värre om det blåser hårt.

Några förslag på åtgärder är att lära av andra, till exempel länder där man kommit längre, men även av andra branscher som har liknande utmatningar. Det är också bra att öka kunskapen om klimatförändringens lokala variationer, att fördjupa arbetet i att förstå konsekvenserna för elnätet och att identifiera ansvariga aktörer och inleda effektiva samarbeten.

## 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](http://www.energiforsk.se)