

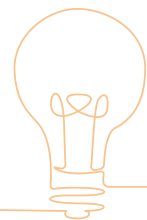
Krig, strømpriser, cyberangrep:

Hvor sårbart er vårt elektriske energisystem?

Onsdag 17. august 2022 kl. 08:00-09:00
på M/S Sandnes

Arendalsuka 2022:
Hvor sårbart er vårt
elektriske energisystem?





Bidragsytere

- Gerd Kjølle, Sjefforsker SINTEF Energi og leder for FME CINELDI
- Anngjerd Pley, Instituttleder NTNU, Institutt for elkraftteknikk
- Stefan Jaehnert, Forskningsleder SINTEF Energi, Energisystemer
- Vegard Viken Kallset, Master of Science SINTEF Energi, Energisystemer
- Erlend Sandø Kiel, Forsker SINTEF Energi, Energisystemer
- Kjetil Obstfelder Uhlen, Professor NTNU, Institutt for elkraftteknikk
- Olav Bjarte Fosso, Professor NTNU, Institutt for elkraftteknikk
- Oddbjørn Gjerde, Forskningsleder SINTEF Energi, Energisystemer

Redaksjon

Anne Steenstrup-Duch,
kommunikasjonssjef,
SINTEF Energi

Annika Bremvåg,
kommunikasjonsansvarlig,
NTNU Energi

NTNU og SINTEF har en viktig rolle i den norske samfunnsdebatten og vi skal bidra til kunnskapsbaserte politiske beslutninger.

Denne kunnskapsoppsummeringen er skrevet av ledende forskere på SINTEF og NTNU, i samarbeid med FME CINELDI, i forbindelse med Arendalsuka 2022.

Den er grunnlaget for anbefalinger og råd gitt i arrangementet:

Krig, strømpriser, cyberangrep:

Hvor sårbart er vårt elektriske

energisystem?



CINELDI
Centre for intelligent electricity distribution

CINELDI er et Forsknings-senter for miljøvennlig energi (FME) finansiert av Norges Forskningsråd og partnerne i senteret. Senteret forsker på fremtidens fleksible, robuste og intelligente elektriske distribusjonssystem (Smart Grid).

www.cineldi.no

Forsyningssikkerheten for elektrisitet utfordres

Vi har tradisjonelt hatt en høy forsyningssikkerhet for elektrisitet i Norge med en tilgjengelighet på 99,98 %¹. Denne vinteren og våren har *energisikkerheten* kommet i søkelyset som følge av strømpriskrise i Norge og energikrise i Europa som følge av krigen i Ukraina. Nylig har myndighetene (NVE² og Statnett) gjort noen vurderinger av *effektsikkerheten* i Norge og Norden ved å se på effektbalansen fram mot 2030². Denne analysen viser at vi går mot en strammere effektbalanse.

Høy grad av elektrifisering er avgjørende for omstillingen til et nullutslippssamfunn. Samfunnet står nå foran en storstilt elektrifisering med raskt økende effektbehov, og tilhørende behov for å bygge ut mer kraftproduksjon og strømmnett. Kraftsystemet/-nettet må settes i stand til å håndtere mye ny fornybar kraftproduksjon (ref. NVEs³ og Statnetts⁴ analyser), nye typer

elektrisk forbruk som datasentre, batterifabriker, elektrifisering av eksisterende industri, samt elektrisk transport. Videre gir høy grad av elektrifisering økte krav til forsyningssikkerhet for elektrisitet.

Klimaendringer stiller ekstra utfordringer til det framtidige kraftsystemet gjennom nye værmønstre, endringer i tilsigsvolum og -fordeling, og mer ekstremvær som kan lede til ekstraordinære hendelser.

Den politiske utviklingen i Europa (og krigen i Ukraina) begrenser tilgangen til energiressurser og medfører en raskere omstilling til fornybare ressurser, mens det på samme tid utfordrer energisikkerheten. I lys av disse utfordringene, blir det enda viktigere fremover å finne ut hvordan forsyningssikkerheten påvirkes og hvordan den kan opprettholdes på veien mot et fullelektrisk samfunn. Med økt grad av elektrifisering er det

også viktig å bedre forstå hvilke konsekvenser ekstraordinære hendelser med omfattende strømbrudd, effekt- og energiknapphet kan gi sammenliknet med det eksisterende kraftsystemet.

For å kunne gjennomføre det grønne skiftet og sikre fremtidig verdiskaping, er det essensielt å sikre en stabil strømforsyning med tilfredsstillende forsyningssikkerhet. Det innebærer å sikre tilstrekkelig tilgang på energi og effekt og en tilfredsstillende leveringspålitelighet.

Med denne bakgrunnen har SINTEF Energi og NTNU utarbeidet følgende tre råd for hvordan vi kan sikre oss at vi har kontroll på forsyningssikkerheten.

1

Forstå det nye risikobildet og identifisere sårbarheter

Framtidens kraftsystem, i et null-utslipps- og fullelektrisk samfunn, medfører et nytt risikobilde som det er viktig å forstå. De nye truslene og sårbarhetene må identifiseres og det må utarbeides strategier og tiltak for å håndtere forsyningssikkerheten i fremtiden. Aktuelle tiltak må veies opp mot hva samfunnet vil akseptere, verdien av forsyningssikkerhet samt utvikling og drift av kraftsystemet med hensyn til kraftproduksjon og kraftnett, og naturinngrep og miljøvern.

2

Analysere og være i forkant av utviklingen

I et kraftsystem og en verden i endring er det essensielt at vi analyserer og følger med på utviklingen i forsyningssikkerheten, for å kunne sikre at vi opprettholder et sterkt og motstandsdyktig kraftsystem. Siden kraftsystemet står foran betydelige endringer frem mot 2050 vil historien ikke kunne si oss like mye som tidligere om hva vi kan forvente, vi vil måtte tenke nytt rundt hvordan motstandsdyktigheten (resiliensen⁵) skal sikres. Et eksempel på dette er om forbrukerne kan bli mer selvforsynte.





Helhetlig vurdering av forsyningssikkerheten er nødvendig

Et komplekst kraftsystem krever at vi, basert på analyser og kunnskap om forventet utvikling, vurderer forsyningssikkerhet i en helhetlig sammenheng. Dette omfatter både energisikkerhet, effektsikkerhet og risikoen for ekstraordinære hendelser⁶ (blackouts) som kan inntreffe i kraftnettet. Vi mangler i dag særlig underlag og modeller for å kunne vurdere de ekstraordinære hendelsene, som karakteriseres ved at de er sjeldne, men har høy konsekvens om de inntreffer.

Hva er forsyningssikkerhet for elektrisk kraft?

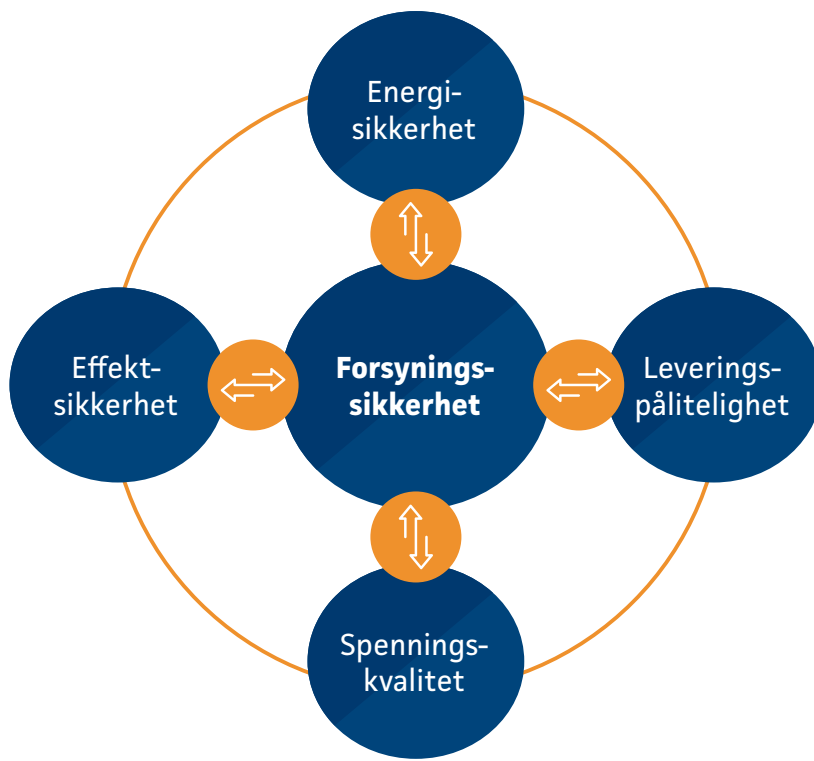
NVE-Reguleringsmyndigheten definerer forsyningssikkerhet⁷ som kraftsystemet sin evne til å kontinuerlig levere elektrisk kraft av en gitt kvalitet til sluttbruker. Den består av fire hovedelement:

- *Energisikkerhet*: tilgang på nok energi for å produsere elektrisitet
- *Effektisikkerhet*: tilgang til kapasitet for å dekke effektbehovet til enhver tid
- *Spenningskvalitet*: kvaliteten på spenningen som leveres til sluttbrukeren
- *Leveringspålitelighet*: tilgjengelighet av elektrisk kraft (kraftsystemets evne til å levere elektrisk kraft til sluttbruker), knyttet til antall og varighet av avbrudd i strømforsyningen.

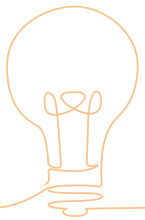
I tillegg inngår *driftssikkerheten* som en del av kraftsystemets evne til å kontinuerlig levere elektrisk kraft⁷. Driftssikkerhet defineres som kraftsystemets evne til å motstå driftsforstyrrelser uten at gitte grenser overskrides. Med gitte grenser siktes det til grenseverdier for frekvens, spenning og termisk overføringskapasitet på kabler og ledninger.

I Norge har vi en høy forsyningssikkerhet, med oppetid på ca. 99,98 %. Det betyr at vi har strømbrudd 2 - 3 timer pr år i gjennomsnitt. Denne tilgjengeligheten er i første rekke gitt av strømmettet. Avbruddsstatistikken¹ viser at strømbrudd i all hovedsak skyldes feil og planlagte utkoplinger i nettet.

Gitt at vi har tilstrekkelig tilgang på energi og effekt, er forsyningssikkerheten primært bestemt av kraftnettet/ infrastrukturen og driften av kraftsystemet, altså driftssikkerheten og leveringspåliteligheten.



Figur 1: Forsynings-sikkerhet for elektrisk kraft



Hvorfor er forsynings-sikkerhet viktig å se på nå?

Kraftverkene (i Norge hovedsakelig vannkraft) har fram til nå forsynt et relativt forutsigbart forbruk, gjennom et relativt statisk og passivt transmisjons- og distribusjonsnett. Det har vært få aktivt styrbare komponenter i nettet og koblingsbildet har vært ganske statisk.

Det europeiske kraftsystemet er i rask endring der fossile energikilder erstattes av nye fornybare energikilder. Vi får stadig mer variasjon i forbruk og mindre forutsigbarhet med økende andel vindkraft også i Norden, og flere utenlandskabler kobler oss tettere til det europeiske systemet. Elektrifiseringen innebærer også at mye av den nye fornybare kraftproduksjonen (hovedsakelig solkraft) kommer lokalt og distribuert. Både sol- og vindkraft kobles til nettet via kraftelektronikk-omformere. Mer kraftelektronikk gir utfordringer for nettdriften - men også muligheter med hensyn til styrbarhet.

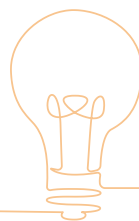
Vi går mot en situasjon der vi må håndtere både det tradisjonelle nettet på land og et fremtidig hav-nett. I tillegg kommer digitaliseringen av kraftsystemet gjennom bruk av sensorer, kommunikasjon og målesystemer, som betyr at IKT-systemene «smelter sammen» med kraftsystemet. Dette gir store muligheter for sikrere drift gjennom overvåking og styring, men også nye trusler og sårbarheter - i form av cyberangrep og avhengighet av kommunikasjonssystemer.

Disse endringene betyr at kompleksiteten og uforutsigbarheten øker, men samtidig får vi også mer styrbarhet og muligheter for å utnytte fleksibilitet i både kraftproduksjon, forbruk og energilager.

Forsyningsikkerhet i et stort sammenkoblet kraftsystem som vi har i Norden og Europa, kan ses på som en balansekunst – med balanseutfordringer i mange dimensjoner.

- Det må være balanse mellom produksjon og forbruk til enhver tid.
- Produksjon og last må også fordeles geografisk slik at nettet ikke overbelastes.
- Det må være tilstrekkelig med reserver og fleksibilitet i systemet slik at nettet tåler forstyrrelser og utfall uten alvorlige konsekvenser for sluttbrukerne.

Forsyningsikkerhet blir stadig viktigere når vi står foran en stortilt elektrifisering for å bli et nullutslippssamfunn mot 2050. Alt blir avhengig av elektrisitet: digitalisering av samfunnet, elektrifisering av transport, industri og andre sektorer for å nevne noe.



Vi står i et trilemma mellom forsyningssikkerhet, klima/miljø og økonomi/konkurranseskraft

Et bærekraftig energisystem for det fremtidige nullutslippssamfunnet må være miljøvennlig, kostnadseffektivt og forsyningssikkert.

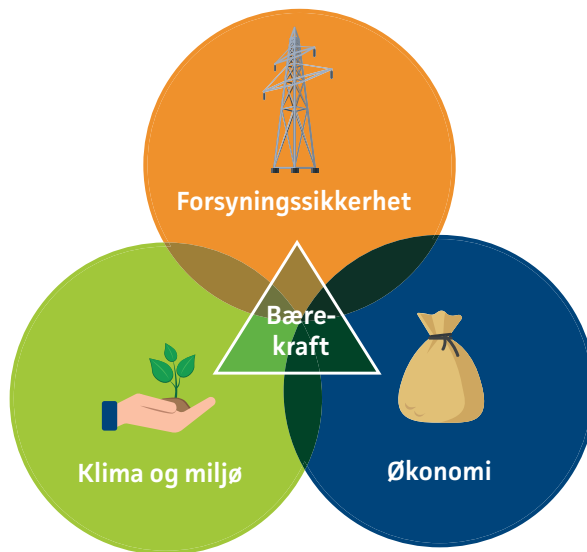
En elektrisitetsforsyning der målet er å oppnå en høy grad av forsyningssikkerhet til en akseptabel kostnad, og samtidig å sikre at energi- og klimamålene kan nås, kalles ofte energitrimmaet⁸ siden dette er tre delmål som ofte kan være i konflikt med hverandre eller er vanskelig å nå samtidig. For kraftsystemet må vi finne en best mulig (samfunnsøkonomisk) balanse mellom forsyningssikkerhet, kostnadseffektivitet og miljø.

I overgangen til fremtidens digitaliserte kraftsystem søkes det på den ene siden å ivareta *forsyningssikkerheten*, og på den andre siden *cybersikkerheten*. *Kostnadseffektivitet* oppnås gjennom å finne samfunnsøkonomisk riktige løsninger (i tråd med Energiloven),

noe som innebærer at det søkes å redusere totale systemkostnader (summen av drifts- og investeringskostnader) og å øke samfunnsnyttens sammenliknet med dagens praksis. Dette er nødvendig for på den ene siden å gi økt konkurranseskraft og på den andre siden å holde kostnadene nede på et akseptabelt nivå for samfunnet.

Klima og miljø i denne sammenhengen dreier seg om å bidra til å nå nasjonale energi- og klimamål mot lavutslippssamfunnet, som å legge til rette for økt distribuert kraftproduksjon fra fornybare kilder (sol, vind, vann), elektrifisering av transport og andre sektorer, og en mer effektiv effekt- og energibruk.

Kostnadene med å opprettholde en tilstrekkelig forsyningssikkerhet må hele tiden veies opp mot nytteverdien.



Figur 2: Energitrimmaet

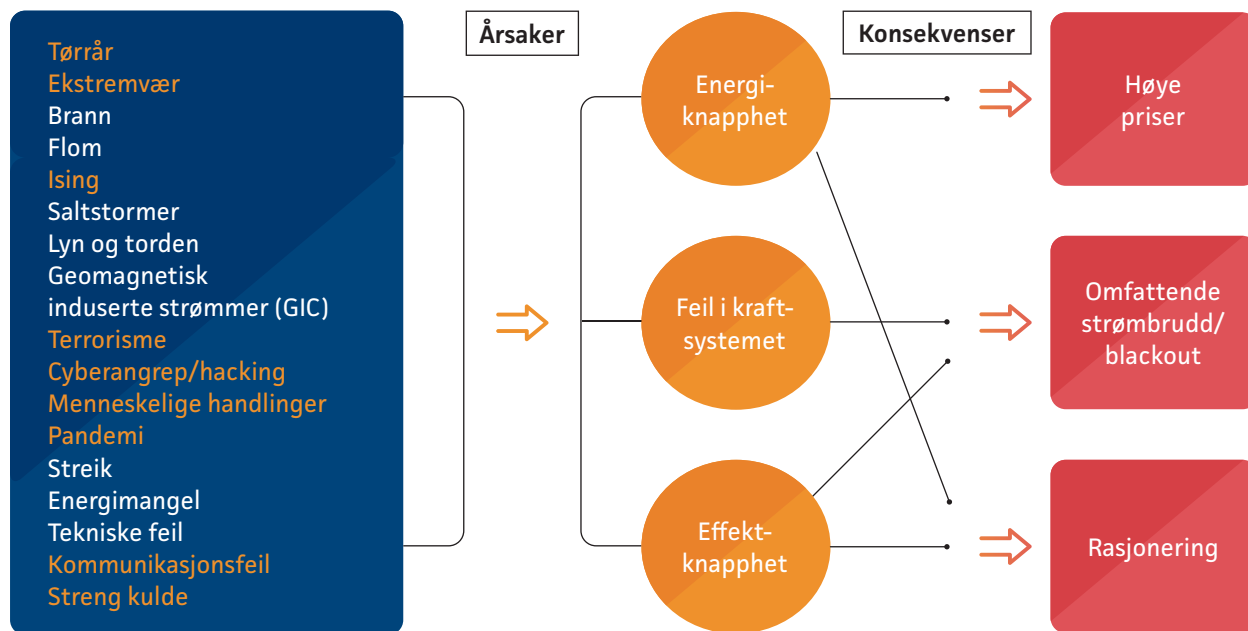
Hva har tidligere sårbarhetsanalyser vist?

SINTEF Energi gjennomførte i 2004 en kvantitativ sårbarhetsanalyse^{9,10} av det nordiske kraftsystemet, finansiert av Nordisk Ministerråd. Denne hadde sin bakgrunn i en anstrengt kraftsituasjon og høye kraftpriser vinteren 2003 og ekstraordinære hendelser

(blackouts) høsten 2003 i Sverige/ Danmark, USA/Canada og Italia.

Analysen omhandlet energiknapphet, effektknapphet og feil i kraftsystemet som kan lede til omfattende strømbrudd (blackouts), for stadium 2005 og 2010. Konsekvenser av energiknapphet ble målt i form av ekstremt høye kraftpriser og/eller

rasjonering, mens konsekvenser av effektknapphet ble målt i form av rasjonering/ blackout. Risiko for blackouts (feil som leder til omfattende strømbrudd) ble vurdert for større geografiske områder innen de nordiske land og konsekvenser ble klassifisert ut fra størrelse på avbrutt effekt og varigheten av hendelsen. Analysen viste at det var middels risiko



Figur 3: Trusler som fører til uønskede hendelser og ulike konsekvenser på et pan-nordisk nivå (basert på¹¹).

for energiknapphet, lav risiko for effekt-knapphet (men noe økende mot 2010), og middels risiko for blackouts (i Finland, Sør-Sverige og Sør-Norge/Oslo).

I 2009 ble det gjennomført en kvalitativ risiko- og sårbarhetsanalyse¹¹ av det nordiske kraftsystemet som grunnlag for beredskapsplanlegging, krisehåndtering og øvelser på et aggregert nordisk nivå. Denne analysen kan ses på som et supplement til den nordiske sårbarhetsanalysen beskrevet ovenfor. Analysen var finansiert av det europeiske programmet *Critical Infrastructure Protection* (EPCIP) og utført i samarbeid mellom systemoperatørene og energimyndighetene i Finland, Sverige, Norge og Danmark, 4C Strategies og SINTEF Energi. Målet var å styrke den nordiske elektrisitetsinfrastrukturen mot ekstraordinære trusler, inkludert antagonistiske trusler (terror, cyber).

Den kvalitative analysen avdekket trusler, sårbarheter og mulige risikoområder med konsekvenser på et pan-nordisk nivå. Truslene ble

kategorisert i fire grupper, og de viktigste er vist i gult i figur 3.

Det ble identifisert sårbarheter på et pan-nordisk nivå knyttet til følgende forhold: Reparasjons-

personell og kapasitet, internett, snikende kriser, kommunikasjonssystemer, mangel på et felles bilde/-forståelse av situasjonen, og utilstrekkelig redundans i systemet.



Hvordan har utviklingen vært i senere tid?

Både kraftsystemet og omgivelsene har endret seg etter disse sårbarhetsanalysene, og enda større endringer ventes fremover. NVEs rapport² om norsk og nordisk kraftbalanse mot 2030 viser at vi kan gå mot en strammere effektbalanse og dermed svekket effektsikkerhet.

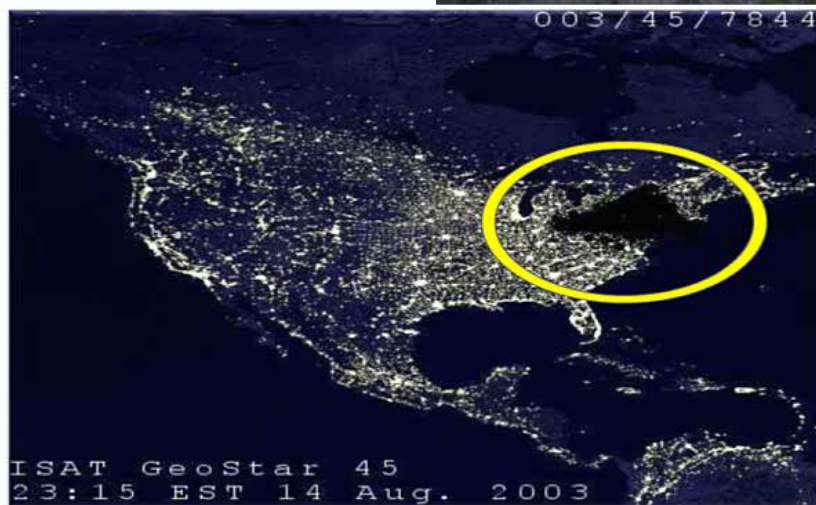
Statnett sier i en pressemelding¹² 24. mai. 2022 at «Dersom det blir lavere tilsig enn normalt det kommende halve året og en kald og tørr vinter, viser Statnetts beregninger behov for betydelig nettoimport til Norge for å ha tilstrekkelig energisikkerhet fram til snøsmeltingen starter våren 2023.»

Leveringspåliteligheten (tilgjengeligheten av elektrisk kraft) er fortsatt høy (ref. NVEs avbruddsstatistikk). Ekstraordinære hendelser med omfattende strømbrudd skjer av og til, som Nyttårsorkanen i Norge i 1992 og Stormen Dagmar i romjula 2011. Slike hendelser forårsaket av ekstremvær har historisk skjedd ca. hvert 20. år. Også tekniske og organisatoriske

feil har historisk forårsaket/ bidratt til ekstraordinære hendelser, gjerne av typen «liten tue kan velte stort lass» der en relativt liten feil gir stor samfunnsmessig konsekvens (f.eks. på tvers av infrastrukturer).

Så langt har det ikke vært noen store hendelser som skyldes cybertrusler (utover angrepet i Ukraina i 2015). Men cybersikkerhet må tas hånd om i takt med digitaliseringen i kraftsystemet, om ikke vil digitaliseringen settes i fare.

Blackout i nord-øst USA og Canada.





Stormen Dagmar i romjula 2011 førte til store skader på kraftnettet.



Foto: Tussa Kraft

Kan vi fortsette å ta forsyningssikkerheten for gitt? Vet vi nok om risiko og sårbarhet for forsyningssikkerheten i det norske kraftsystemet?

Samfunnet står overfor en storstilt elektrifisering for å nå nullutslipps-samfunnet i 2050. Mer fornybar kraftproduksjon (variabel, ikke-regulerbar) og høyere utnyttelse av strømmettet, et mer væravhengig kraftsystem og samtidighet i været i Norden (og Nord-Europa), og behov for fleksibilitet og dermed mer overvåking og styring (digitalisering), vil sette kraftsystemet på prøve.

Samtidig forventer vi at nye typer trusler og sårbarheter oppstår:

- Økende driftspåkjenninger (aldrende strømmett, ny drift).
- Cybertrusler, gjensidige avhengigheter og økt kompleksitet.
- Samtidig: økende klimapåkjenninger gir økte værpåkjenninger («våtere, varmere og litt villere» – forsterkes).

Alt i alt gjør dette at vi må stille oss spørsmålet om vi vil få nye typer sjeldne og store hendelser, som følge av økt kompleksitet, avhengigheter og økt usikkerhet i kraftsystemet og rammebetingelsene rundt, og en ny og kanskje sterkere interaksjon mellom de ulike elementene av forsyningssikkerhet: energisikkerheten, effektsikkerheten og leveringspåliteligheten (ekstraordinære hendelser/ blackouts).

Tabell 1 viser resultatet fra sårbarhetsanalysen i 2004 og en kvalitativ vurdering av utviklingen i risiko for henholdsvis ekstraordinære hendelser med omfattende strømbrudd (blackouts), energiknapphet og effektknapphet.

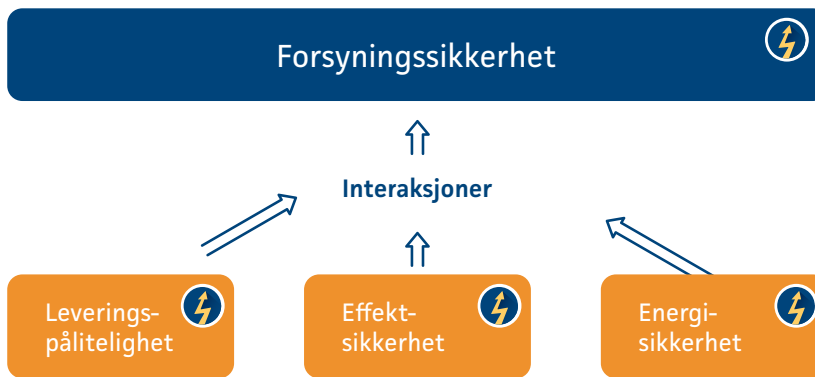
Det er grunn til å tro at risikoen for både ekstraordinære hendelser, energi- og effektknapphet er økende i dagens i situasjon, gitt at ulike omstendigheter inntreffer. Dette er indikert med oppover-pil i tabellen og figuren til høyre.

NVE peker på at det allerede i dag er utfordring med effektbalansen for det nordiske kraftsystemet og

at vi kan forvente effektknapphet i Norge mot 2030. En del av den nye etterspørselen kan være fleksibel og forskyves i tid, slik at effekttoppene kan reduseres, f.eks. lading av elbiler, elektrisk oppvarming og kjøling osv. Men så langt er det ikke gode nok insentiver til å utnytte all forbrukerfleksibilitet, og det avhenger av samfunnsmessig aksept. Effektknapphet kan også oppstå på forskjellige geografiske nivå pga. kapasitetsutfordringer i kraftnettet.

Statnett har allerede pekt på at usikkerhet i Europa kan føre til svekket forsyningssikkerhet vinteren 2023¹².

Hvordan forsyningssikkerheten, risiko og sårbarhet utvikler seg videre framover mot 2030 og 2050 vil være svært avhengig av utviklingen langs mange dimensjoner og sammenhenger, og av mange ulike avveininger som må tas på veien. Noen utviklingstrekk vil kunne bedre forsyningssikkerheten og redusere risiko for knapphetssituasjoner og ekstraordinære hendelser, mens andre vil kunne forverre situasjonen.



Vi kan altså påvirke risikoen på denne tidshorisonten gitt at vi gjør de rette grepene, derfor er risiko indikert med spørsmålstegn i tabellen. Akkurat nå vil det kreve at vi skaffer oss ny kunnskap og gjør nye analyser.

Figur 4: Forsyningssikkerheten påvirkes av interaksjonen mellom de ulike elementene

Elektrifisering (økning i eksisterende samt nye typer forbruk) og integrasjon av fornybar, distribuert kraftproduksjon, mer væravhengig og varierende produksjon gir økt behov for å ta i bruk fleksibilitet. Digitalisering av kraftsystemet er nødvendig, men har ikke kommet så veldig langt. Samlet sett er det en mer utfordrende drift og systemet presses til grensene sine. Det gir økte driftspåkjenninger og nye sårbarheter, og økende behov for reserver.

Risiko	Ekstraordinære hendelser (blackouts)	Energi-knapphet	Effekt-knapphet
2004	Middels	Middels	Lav
2022			
2030–2050			

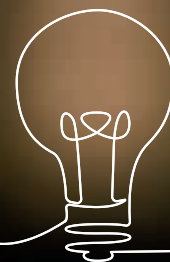
Tabell 1: Hva er utviklingen i risiko for ekstraordinære hendelser, energiknapphet og effektknapphet?

= Økt risiko = Ukjent risiko

Dette er bakgrunnen for rådene som gis innledningsvis i dette dokumentet:

1. Vi må forstå det nye risikobildet og identifisere sårbarheter.
2. Vi må analysere kraftsystemet og omgivelsene og være i forkant av utviklingen.
3. En helhetlig vurdering av forsynings sikkerheten er nødvendig.

Disse tre punktene må vies betydelig oppmerksomhet i årene som kommer for at forsynings sikkerheten skal kunne opprettholdes i en situasjon karakterisert av et større og mer dynamisk forbruk, nye energikilder og komponenter i en infrastruktur med høy utnyttelsesgrad.



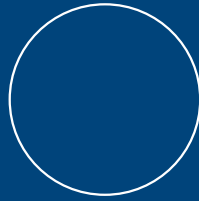


Referanser

- 1 NVE, <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/nytt-fra-rme/nyheter-reguleringsmyndigheten-for-energi/rme-legger-frem-statistikk-over-strombrudd-i-2021/>
- 2 NVE-rapport nr. 20/2022, Norsk og nordisk effektbalanse fram mot 2030, https://publikasjoner.nve.no/rapport/2022/rapport2022_20.pdf, mai 2022
- 3 NVE-rapport nr. 29/2021, Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2021-2040, <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>, oktober 2021
- 4 Statnett Nettutviklingsplan 2021, <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemedlinger/nyhetsarkiv-2021/nettutviklingsplan-for-det-gronne-taktskiftet/>, september 2021
- 5 «Resilience is an expression for the ability of a system to maintain its function if a threat leads to an unwanted event and the ability of the system to resume its activities after the event occurred», I. B. Sperstad, G. H. Kjølle, and O. Gjerde, 'A Comprehensive Framework for Vulnerability Analysis of Extraordinary Events in Power Systems', Reliability Engineering and System Safety, vol. 196, p. 106788, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.106788>. Begrepet resiliens brukes mer og mer internasjonalt når det er snakk om hva kraftsystemet (og andre kritiske infrastrukturer) kan tåle av ulike påkjenninger. Kraftsystemet/ kraftforsyningen er et sosio-teknisk system der en rekke tekniske, økonomiske, menneskelige og organisatoriske, og samfunnsmessige faktorer spiller inn. Begrepet resiliens defineres på mange ulike måter internasjonalt.
- 6 Med ekstraordinære hendelser menes hendelser i kraftsystemet som fører til omfattende strømbrudd og som gir stor samfunnsmessig konsekvens, og har en lav sannsynlighet for å inntreffe. Internasjonalt kalles dette også wide-area interruptions, blackouts eller High Impact Low Probability (HILP) events.
- 7 Definisjoner knyttet til forsyningssikkerhet: NVE-RME, Driften av kraftsystemet 2021, RME-rapport nr. 3-2022: https://www.nve.no/media/14186/rme_rapport2022_03.pdf
- 8 Et trilemma er en avveining mellom tre målsettinger, der satsing på én av dem vil gå på bekostning av de to andre. Målet kan være å søke å oppnå alle tre målsettingene innenfor preferanser og interesser hos de aktuelle aktørene. I World Energy Council (WEC) brukes en energitriemla-indeks til å beskrive ulike lands evne til å fremskaffe bærekraftig energi, langs dimensjonene energisikkerhet, energi-rettferdighet (tilgjengelighet og til overkommelig pris), og miljømessig bærekraft (<https://trilemma.worldenergy.org/#!/energy-index>).
- 9 G. Doorman, G. Kjølle, K. Uhlen, E. S. Huse, N. Flatabø, Vulnerability analysis of the Nordic Power System, Report to the Nordic Council of Ministers, SINTEF Energi, TR A5968
- 10 G. Doorman, K. Uhlen, G. Kjølle, E. Huse.: Vulnerability Analysis of the Nordic Power System, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 1, February 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2005.857849
- 11 NordSecurEl, Risk and Vulnerability Assessments for Contingency Planning and Training in the Nordic Electricity System, Energimyndigheten, Sverige, 2009
- 12 Pressemelding Statnett 24. mai 2022: <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemedlinger/nyhetsarkiv-2022/usikkerhet-i-europa-kan-pavirke-norsk-forsyningssikkerhet/>



 NTNU



 SINTEF