



Strategi og veikart for overgangen til et fleksibelt og intelligent strømnett

Tre hovedbudskap for å sette strømnettet i stand til å håndtere de endringene som må til for å lykkes med det grønne skiftet og nå klimamålene i 2030 og 2050

Gerd Kjølle, Susanne Sandell, Oddbjørn Gjerde,
Maren Istad og Magnus Korpås



CINELDI (Centre for Intelligent Electricity Distribution) er et forskningscenter for miljøvennlig energi som har jobbet med å utvikle fremtidens stømnett i perioden 2016-2024.

Dette er en kortversjon av en lengre rapport utarbeidet av senteret →

De viktigste resultatene fra forskningen, utviklingen og piloteringen som er gjort i CINELDI ligger åpent tilgjengelig i CINELDIS kunnskapsbank →



Hovedrapport



CINELDIS kunnskapsbank

Innhold

Hovedbudskapene	3
Hvorfor strategi og veikart for overgangen til fremtidens strømnnett ...	4
Omverdenanalyse	6
Veikart	8
De tre hovedbudskapene	17

Hovedbudskapene for transisjonen av strømnettet 2025-2040

Økt nettkapasitet er nødvendig for raskere elektrifisering av samfunnet. Dette kan oppnås ved å bygge nytt nett og ved å øke utnyttelsen av det eksisterende nettet, noe som også vil redusere kostnader og behovet for areal og naturinngrep.

I CINELDI har vi forsket på, utviklet og pilotert løsninger som bidrar til et fleksibelt og intelligent nett, og vi har vist at **økt nettutnyttelse kan oppnås gjennom digitalisering og automatisering av strømnettet og ved å ta i bruk fleksible ressurser.**

CINELDI har følgende hovedbudskap for å sette strømnettet i stand til å håndtere de endringene som må til for å lykkes med det grønne skiftet og nå klimamålene i 2030 og 2050.

1 Utstrakt digitalisering og automatisering er nødvendig for å gi oversikt over og styring i strømnettet: For at nettet skal kunne utnyttes best mulig, må vi ha oversikt over og kunne styre nettet med aktive tiltak. Dette forutsetter digitalisering og automatisering.

2 Fleksibilitet i forbruk, produksjon, og energilager må tas i bruk for bedre utnyttelse av strømnettet: Fleksibilitet må tas i bruk for raskt å kunne tilknytte så mye forbruk og ny produksjon som mulig, og for bedre utnyttelse av nettet.

3 Forsyningssikkerheten utfordres av ekstremvær, cybertrusler, økte driftspåkjenninger og økt kompleksitet i kraftsystemet, og må håndteres på nye måter i fremtiden: Digitalisering og fleksibilitet gir muligheter for å finne nye måter å håndtere forsyningssikkerheten på.

Hvert av hovedbudskapene, med tilhørende tiltak, blir beskrevet nærmere i de neste kapitlene. **Tiltakene vil kreve et nært samarbeid mellom nettselskaper, teknologileverandører og forskere.** I tillegg må bransjeforeninger, aggregatorer, markedsoperatører, nettkunder, fleksibilitets-tilbydere og andre aktører delta i samarbeidet. Virkemiddelapparatet og regulator må legge til rette for at dette samarbeidet skal være mulig.

Hvorfor strategi og veikart for overgangen til fremtidens strømnett?

Energisystemet er i stor endring som følge av de ambisiøse klimamålene som Norge og Europa har satt for 2030 og 2050. Elektrifisering av industri, transport og andre sektorer er blant de viktigste tiltakene for å nå disse målene, både i Norge, Europa og internasjonalt^{1,2,3,4,5}.

Strømnettet knytter sammen forbruk og kraftproduksjon og er en kritisk tilrettelegger for elektrifiseringen. De store endringene i nettet vil både komme mer lokalt og distribuert pga. sol- og vindkraft, men også mer sentralt som følge av nye store punktlaster.

Dagens regionale og lokale strømnett (distribusjonsnettet) er et aldrende nett som ikke er designet for store mengder fornybar og varierende kraftproduksjon fra sol og vind, ei heller for den økende elektrifiseringen av transport og andre sektorer.

Mange av de nye belastningene og produksjonskildene (solkraft, vindkraft og batterier) vil være tilkoblet systemet ved bruk av omformerløsninger. Dette gir mange muligheter i form av styrbarhet, ikke minst i form av uavhengig regulering av aktiv

og reaktiv effekt. Nye omformer-løsninger kan også bidra med systemtjenester og muliggjøre øydrifts-løsninger.

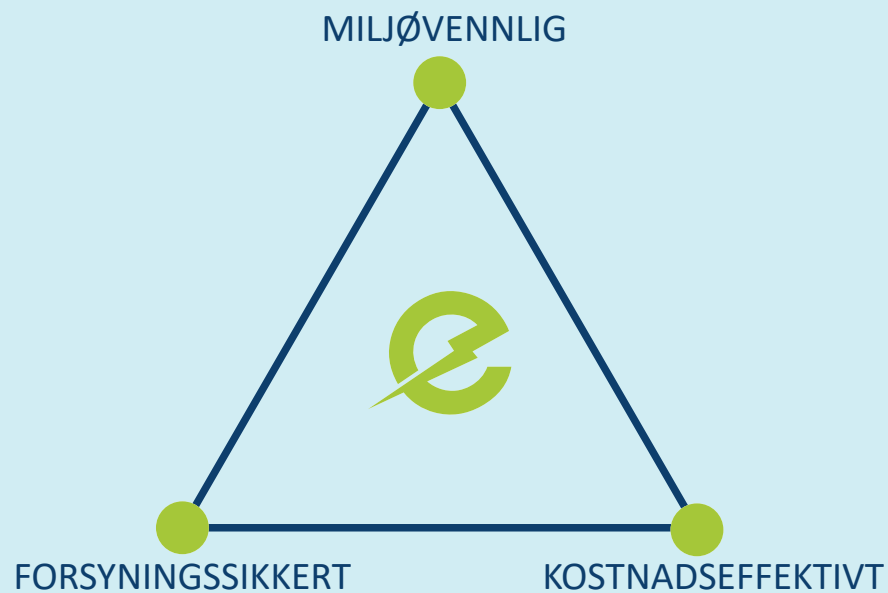
Nye måter for å øke utnyttelsen av strømnettet og redusere behovet for investeringer oppstår ved bruk av nye sensorer, intelligente komponenter og kommunikasjonsløsninger som øker muligheter for å overvåke og styre nettet.

Fremtidens strømnett vil være cyberfysisk og ha betydelig større kompleksitet sammenlignet med dagens nett, særlig i det regionale og lokale strømnettet. Distribuert produksjon, elektrisk transport, elektrisk energilager, fleksible nettkunder og nye IKT-funksjoner, resulterer i nye interaksjoner og dynamikk i bruken av distribusjonsnettet, noe som også påvirker systemdriften i form av endrede flytmønstre og balanseringsbehov.

Offentlige utvalg har rapportert at elektrifisering forutsetter både mer kraftproduksjon og mer nett^{6,7}. Tilstrekkelig nettkapasitet for å tilknytte ny produksjon og nytt forbruk kan skaffes både gjennom å bygge nytt nett og å øke utnyttelsen av

det eksisterende strømnettet. Høyere utnyttelse vil gi raskere nettilknytning og dermed økt verdiskaping i mange ulike sektorer og i samfunnet som helhet. Det gir også mer effektiv bruk av nettet, noe som reduserer behovet for å bygge nytt, og reduserer arealbruk, naturinngrep, materialbruk og kostnader.

Klima- og bærekrafts-målene for fremtiden kan ikke imøtekommes uten at det skjer nødvendige endringer i strømnettet. Det trengs en ny og helhetlig tilnærming til nettutvikling og -drift samtidig som forsynings sikkerheten ivaretas. Denne strategien og veikartet er en hjelp for å få til overgangen til et fleksibelt og intelligent strømnett, med vekt på det regionale og lokale distribusjonsnettet og samspillet med transmisjonsnettet.



Energitrilemmaet

Å legge til rette for elektrifiseringen og å nå klimamålene uten at det går på bekostning av forsynings sikkerheten, må balanseres mot kostnadene ved å realisere målene, samt hensynet til natur og miljø. Dette kalles energitrilemmaet fordi de tre delmålene ofte kan være i konflikt med hverandre, eller vanskelige å oppnå samtidig.

I energitrilemmaet er målet å finne en god (samfunnsøkonomisk) balanse mellom forsynings sikkerhet, kostnadseffektivitet og klima/miljø.

← Energitrilemmaet i CINELDIS perspektiv.

Omverdenanalyse: Drivkrefter og scenarier for fremtidens strømnett

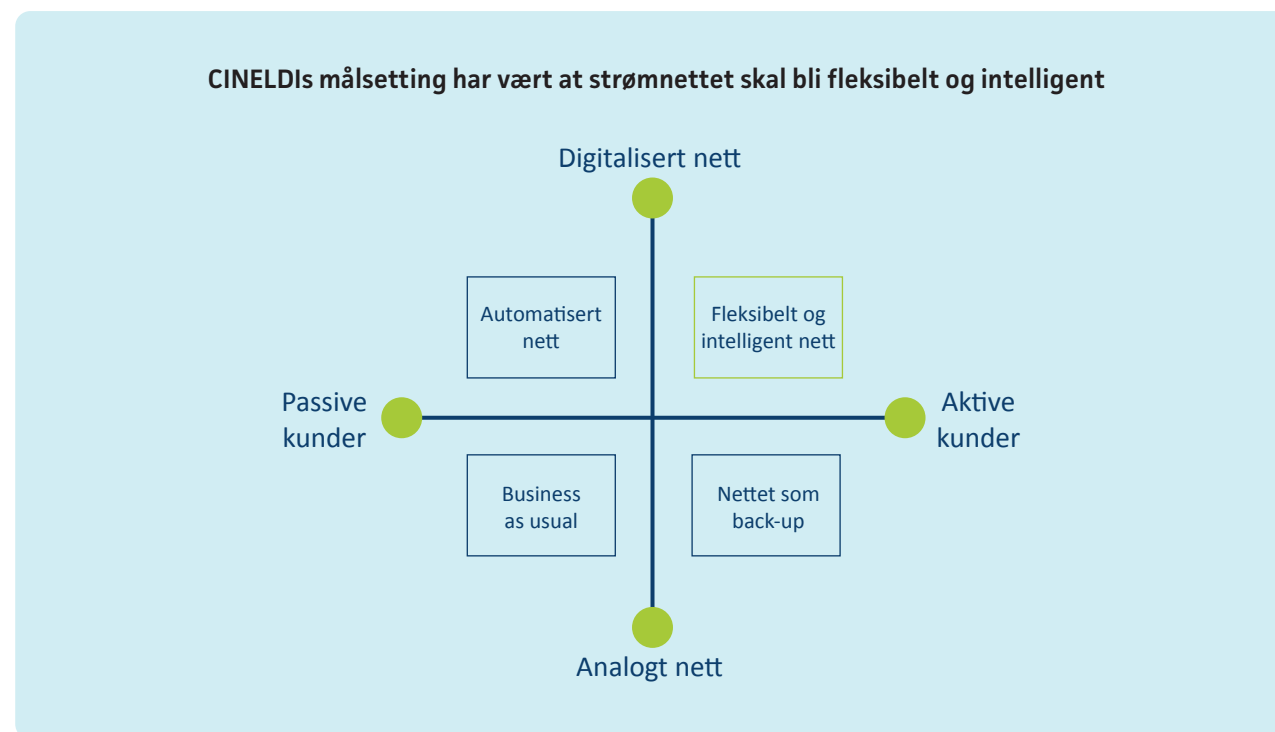
Et viktig formål med å identifisere drivkrefter, slik CINELDI har gjort i en Foresight-prosess, er å øke forståelsen for hvilke krav som stilles til fremtidens strømnett, samt å utvikle gode strategier for overgangen mot et fleksibelt og intelligent strømnett. Drivkrefter er gruppert i megatrender, eksterne drivkrefter og nettrelaterte drivkrefter.

Basert på drivkreftene er det etablert fire hovedscenarier langs to akser:

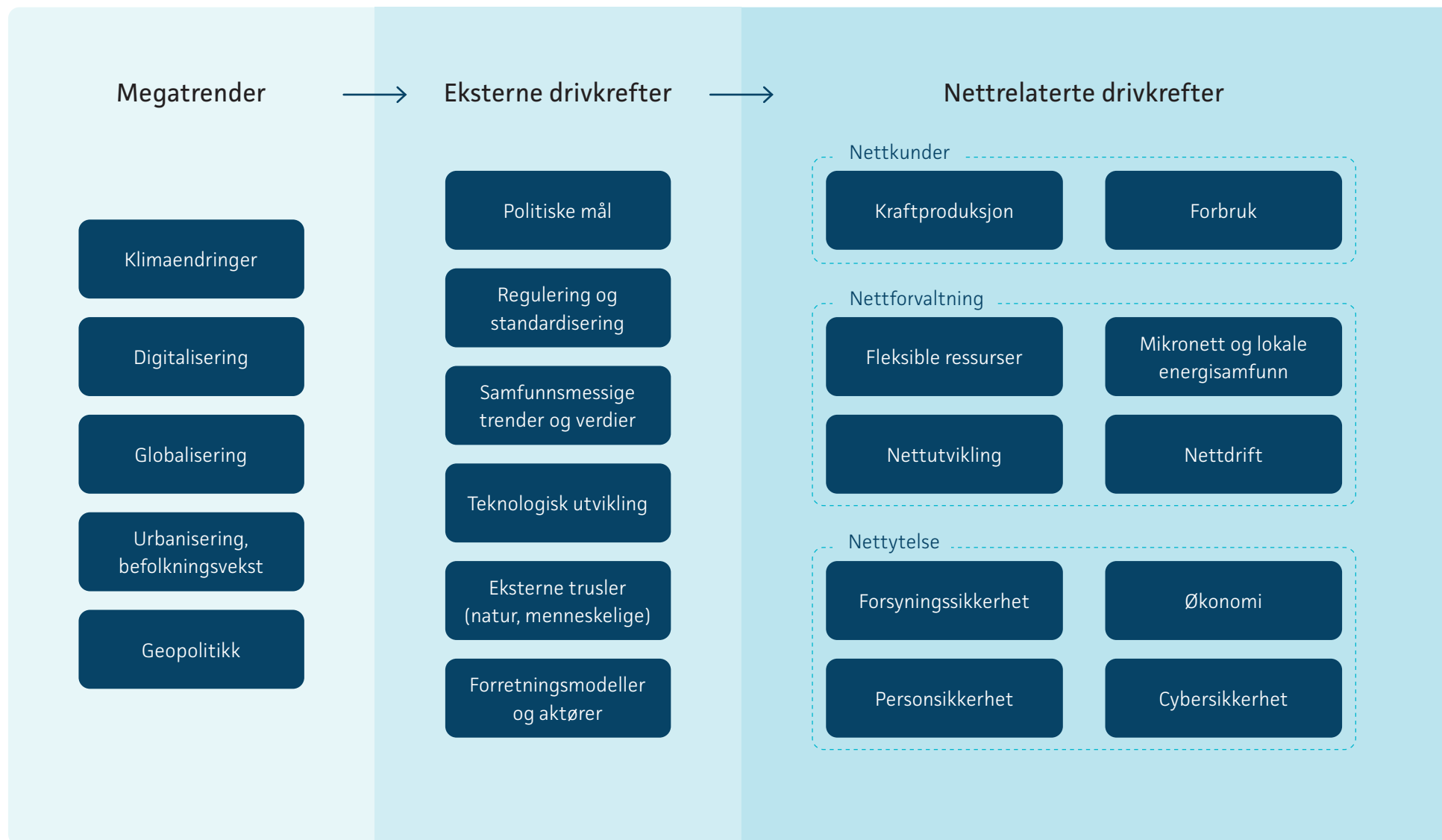
- Kundeaksen: Fremtidens nett er en konsekvens av nettkundenes behov for nett og nett-tjenester som igjen er gitt av hvilke apparater, anlegg, produksjon, energilager, styring mm., og hvilken adferd, fremtidens nettkunder har.
- Nettaksen: I hvilken grad nettselskapene tar i bruk ny teknologi, nye arbeidsprosesser og andre innovasjoner.

Kundeaksen går fra *passive kunder* til *aktive kunder*, mens nettaksen går fra *analogt* til *digitalisert* nett. Scenariene kan brukes til å legge til rette for den utviklingen man ønsker seg og til å motvirke en uønsket utvikling. Veikartene og strategien som

presenteres i de neste kapitlene gir anbefalinger for hva som skal til for å oppnå dette.



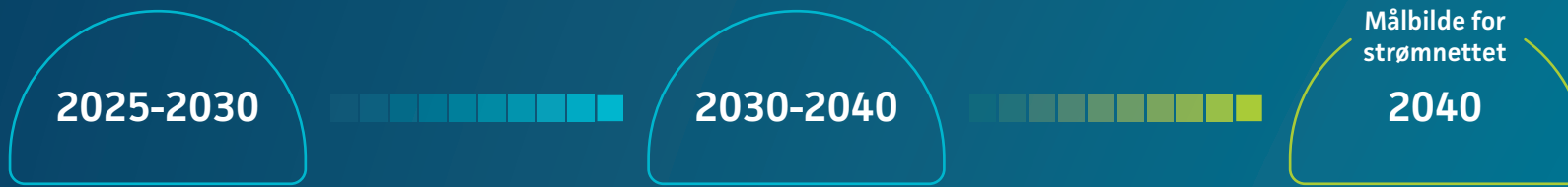
Scenarier for fremtidens elektriske distribusjonsnett



Oversikt over drivkrefter som påvirker strømmettet.



Veikart for
fremtidens
strømnett
(2025 – 2040)



- 1 Utstrakt digitalisering og automatisering er nødvendig for å gi oversikt over og styring i strømmettet
- 2 Fleksibilitet i forbruk, produksjon, og energilager må tas i bruk for bedre utnyttelse av strømmettet
- 3 Forsyningssikkerheten utfordres av ekstremvær, cybertrusler, økte driftspåkjenninger og økt kompleksitet i kraftsystemet, og må håndteres på nye måter i fremtiden

Veikartet er delt inn i de tre temaene som utgjør hovedbudskapene:

Under hvert hovedbudskap er det foreslått tiltak på kort sikt (2025-2030) og lengre sikt (2030-2040). Tiltakene som kan gjennomføres på kort sikt er resultater fra CINELDI og/eller eksisterende metoder eller teknologi som kan tas i bruk direkte – eventuelt med noe (videre)utvikling eller pilotering. Tiltakene som kan gjennomføres på lengre sikt er metoder eller teknologi som ennå ikke er moden for å tas i bruk eller der det mangler kunnskap, og der det må til mer forskning og utvikling først. Et felles målbilde for strømmettet i 2040 står beskrevet lengst til høyre. Det forklarer hva som oppnås dersom tiltakene gjennomføres.

Veikart for hovedbudskap 1

Utstrakt digitalisering og automatisering er nødvendig for å gi oversikt over og styring i strømmettet

2025-2030

Instrumentere, standardisere og samle inn data.

Videreutvikle beslutningsstøtteverktøy, demonstrere og pilotere fremtidens aktive nettdrift.

Videreutvikle og pilotere ny metodikk for nettplanlegging.

Videreutvikle og implementere nye metoder for anleggsforvaltning.

Spre resultater, dele kunnskap og «beste praksis» for verktøy på tvers av bransjen.

Tilpasse reguleringen til behovet for rask tilknytning og økt nettoutnyttelse.



2030-2040

Utvikle og ta i bruk driftsverktøy for risikoanalyse og visualisering.

Utvikle og innføre automatisert nettdrift.

Utvikle og innføre risikobasert planleggingsmetodikk i full skala.

Innføre databasert anleggsforvaltning i full skala.



Målbilde for strømmettet

2040

Nettbransjen bruker et felles etablert dataformat og data med høy kvalitet. Høy grad av interoperabilitet og standardisering.

Automatisert nettdrift med bruk av aktive nett-tiltak.

Bruker risikobaserte metoder og verktøy for planlegging, drift og vedlikehold, som gir robuste beslutninger og et nett som har høy grad av utnyttelse og tåler elektrifiseringen som trengs i samfunnet for å nå klimamålene.

Utbredt digitalisering og automatisering i hele nettvirksomheten: fra planlegging til drift og vedlikehold.



Veikart for hovedbudskap 2

Fleksibilitet i forbruk, kraftproduksjon, og energilager må tas i bruk for bedre utnyttelse av strømmettet

2025-2030

Videreutvikle metoder for kartlegging av tilgjengelig nettkapasitet, både for kort og lang sikt.

Videreutvikle verktøy som viser tilgjengelig fleksibilitet.

Pilotere bruk av fleksibilitet for aktiv nettdrift.

Etablere systematikk for koordinert bruk av fleksibilitet på tvers av nettnivå.

Utvikle modeller for verdien av fleksibilitet og verifisering av levert fleksibilitet.

Utvikle forretningsmodeller for fleksibilitet.

Videreutvikle markedsplasser for handel mellom nettselskap, aggregator og kunde.

Undersøke samfunnsmessige og sosiale konsekvenser av å ta i bruk fleksibilitet i kraftsystemet.

Innføre regulering som tilrettelegger for effektkoordinering, produksjonsdeling og aktivering av fleksibilitet.



2030-2040

Utvikle og innføre standardiserte fleksibilitetsprodukter.

Implementere systematikken i verktøy for å optimalisere fleksibilitetsbruk på tvers av nettnivå.

Implementere fleksibilitetsmodellene i verktøy for nettdrift.

Implementere verktøy som automatisk samhandler med fleksible ressurser.

Iverksette ny standard tilknytningsavtale som gjør kundenes fleksibilitet tilgjengelig.



Målbilde for strømmettet

2040

Nettselskapene bruker verktøy på driftssentralen som ser hvor det er behov for fleksibilitet (på tvers av nettnivå), hvor tilbydere er, og samhandler automatisk med tilbyder/aggregator.

Hele verdikjeden for fleksibilitet er etablert, og strømmettet utnyttes bedre ved hjelp av fleksible ressurser – koordinert og optimalisert på tvers av nettnivå.

Nettselskapene er erfarne kjøpere av fleksibilitet, og bruker en kombinasjon av markedsbaserte og avtalebaserte fleksible ressurser i stor skala.

Alle produkter som bruker (mye) strøm leveres med mulighet for styring via tredjepart. Fremtidens kunde er en fleksibel ressurs, dvs. en aktiv kunde som har evne og vilje til å bidra med fleksibilitet og har en tilknytningsavtale som muliggjør laststyring uten å trenge å ha et bevisst forhold til dette.



Veikart for hovedbudskap 3

Forsyningssikkerheten utfordres av ekstremvær, cybertrusler, økte driftspåkjenninger og økt kompleksitet i kraftsystemet og må håndteres på nye måter i fremtiden

2025-2030

Definere risikobaserte kriterier og prinsipper og forankre risikobasert tilnærming på alle nivå i nettselskapet.

Videreutvikle og teste risikobaserte metoder og kriterier.

Videreutvikle og implementere verktøy for kartlegging av cyberrisiko.

Bygge kunnskapsgrunnlaget for differensiering av forsyningsikkerhet.



2030-2040

Innføre risikobasert planlegging, -drift og -vedlikehold av strømmettet.

Kartlegge og forstå gjensidige avhengigheter mellom energibærere, domener og nettnivåer.

Utvikle metodikk for å håndtere motstandsdyktighet (resiliens).

Bruke digitalisering og fleksibilitet for håndtering og differensiering av forsyningsikkerhet.

Pilotere og innføre nye prinsipper for håndtering av forsyningsikkerhet.



Målbilde for strømmettet

2040

Nettbransjen har god oversikt over risiko knyttet til forsyningsikkerhet

Risikobasert planlegging, drift og vedlikehold er standard i bransjen, og reguleringen tilrettelegger for dette.

Et motstandsdyktig og cybersikkert strømmett der forsyningsikkerheten kan differensieres og er ivaretatt også gjennom elektrifiseringen og det grønne skiftet.

Mer samfunnsøkonomisk rasjonell ressursutnyttelse (også på tvers av energibærere).





De **tre** hovedbudskapene

Hovedbudskap 1

Utstrakt digitalisering og automatisering er nødvendig for å gi oversikt over og styring i strømmettet

For at nettet skal kunne utnyttes best mulig, må vi ha oversikt over og kunne styre nettet med aktive tiltak. Dette forutsetter digitalisering og automatisering.

Aktive tiltak i nettet

Aktive tiltak i nettet skiller seg fra passive tiltak som nettutbygging, -forsterkning og reinvestering. Aktive tiltak i nettet innebærer bruk av ressurser som er under driftssentralens kontroll, enten direkte eller indirekte, eksempelvis: omkoblinger, spenningsregulering, selvhelende funksjonalitet og bruk av dynamiske lastgrenser.

Digitalisering og automatisering

Med digitalisering og automatisering menes her ulike teknologier og løsninger for overvåking og styring av strømmettet. Dette omfatter for eksempel:

- Ulike typer sensorer som gir informasjon om nettet i normal- eller feiltilstand
 - Avanserte måle- og styringssystemer (AMS/ Smarte målere)
 - Vern
 - Feilstrømindikatorer
 - Sensorer for overvåking av komponenter (f.eks. sensorer for dynamisk ledningskapasitet)
- Kommunikasjonsløsninger som kreves for å overføre informasjon eller kommandoer
 - 5G eller andre trådløse teknologier
 - Fiberoptikk
- Manuelle eller automatiske styringssystemer
 - Automatisk trinnkobling
 - Selvhelende funksjonalitet
 - Systemvern
 - Styring av fleksible ressurser
 - Optimalisering av topologi
- Driftssentralssystemer
 - Avanserte driftssentralssystemer (ADMS)
 - Nettdrift med aktive tiltak
- Andre algoritmer og beslutningsstøtte.

Ifølge Statnett⁸ forventes årlig forbruk å øke fra 140 til 220 TWh fra i dag til 2050, og kraftproduksjonen må på sikt økes tilsvarende. Behovet for elektrifisering driver denne økningen, og krever at nettselskapene bygger mye nytt strømnnett på alle nettnivå, slik at den nye kraftproduksjonen og det nye forbruket kan tilknyttes. Statnett planlegger å investere 100-150 milliarder kroner i nett de neste ti årene⁹, og nettselskapene planlegger investeringer for 14,5 milliarder kroner i regionalt og lokalt nett bare i 2024¹⁰. Ifølge DNV, vil behovet for nettkapasitet globalt øke med en faktor på 2,5 og det årlige investeringsbehovet vil mer enn dobles innen 2050¹¹.

Nettutbygging kan være langsomme prosesser, og det er viktig å utnytte dagens nett maksimalt for å tilby flest mulig nettilknytninger så raskt som mulig. Tilsvarende ønsker en å få best mulig utnyttelse av det nye strømnettet som bygges, for å oppnå mer kostnadseffektive løsninger og redusere arealbruk og naturinngrep. Ved hjelp av innovative tiltak, muliggjort av digitalisering og automatiseringsløsninger, kan dette gjøres uten å gå på akkord med forsyningssikkerheten¹². Tiltakene omtales

som risikobasert nettplanlegging, drift og vedlikehold, og innebærer at nettselskapet tar en kjent risiko, som er innenfor de grensene selskapet og samfunnet anser som akseptable.

Tilknytning av ny, distribuert og væravhengig fornybar produksjon, sammen med store mengder ny last, øker kompleksiteten i strømnettet betydelig. Strømnettet skal samtidig driftes med mindre marginer. Dette krever bedre oversikt og mer styring, slik at driftsoperatørene får god beslutningsstøtte og i neste omgang det nødvendige underlaget for å automatisere tids- og driftskritiske funksjoner og tiltak.

Den nødvendige teknologien, inkludert sensorer og kommunikasjonsløsninger, er i stor grad allerede tilgjengelig. Forskning og pilotering i CINELDI har bekreftet at basert på mer detaljert informasjon kan overføringskapasiteten på kraftledninger økes i store deler av tiden, mens det også kan være perioder der kapasiteten ikke kan økes eller bør reduseres. CINELDI har videre vist at dagens teknologi gir muligheten til å få god oversikt over spenningsforhold, effektflyt, nett-topologi og feil-

situasjoner som underlag for beslutninger og automatisering av nettdriften. Det er utviklet nye algoritmer som kan bidra til effektivt å detektere og lokalisere feil, det er utviklet og testet metoder og algoritmer som gjør det mulig å drifte nettet på nye måter slik at færre kunder mister strømmen om feil skulle oppstå, samt for selvhelende nett¹³ som minimerer tiden med strømbrudd og gjenoppretter forsyningen automatisk. Det er også vist at digital inspeksjon kan gi muligheter for å effektivisere informasjonsinnhenting og optimalisere vedlikeholdet av strømnettet. Digitalisering muliggjør både datainnsamling, prosessering og prediksjon, som underlag for beslutningsstøtte for planlegging, drift og vedlikehold. Fremover forventes det at nye metoder, inkludert metoder basert på kunstig intelligens (KI), kan supplere og effektivisere flere av disse anvendelsene.

For å komme til praktisk nytte må informasjonen fra alle kilder inkluderes i nettselskapene sine systemer og fremstilles på hensiktsmessige måter, sånn at operatører og nettutviklere kan bruke den som beslutningsstøtte eller som inngangsdata til automatiske løsninger. Videre må økt kompleksitet og cybersikkerhet relatert til styringssystemene håndteres allerede i planleggingsfasen.

Mulighet	Begrunnelse	Barrierer
<p>Med god oversikt og styring kan utnyttelsen av nettet økes uten at risikoen blir for høy.</p> <p>Mye av den nødvendige teknologien, inkludert sensorer, for beslutningsstøtte og automatisering er allerede tilgjengelig, og muliggjør rask respons fra driftssentralen ved feilhendelser.</p> <p>Helautomatisert nettdrift med handlinger basert på prediksjoner fra digital tvilling er en visjon for fremtiden.</p>	<p>Hurtig og økt tilknytning av mer distribuert og variabel produksjon og ny last krever at nettutbygging suppleres av aktiv nettdrift, og dagens nettplanleggings- og nettdriftsmetoder må tilpasses dette.</p> <p>Databasert nettplanlegging og automatisert, databasert drift er nødvendig for å maksimalisere nettutnyttelsen.</p>	<p>Økt digitalisering og automatisering krever systemintegrasjoner som i mange tilfeller mangler i dag. Økt kompleksitet og usikkerhet knyttet til håndtering av cybersikkerhet kan bremse denne integreringen.</p> <p>Endret nettdrift og økt nettutnyttelse som følge av digitalisering og automatisering vil endre risikobildet.</p> <p>Nettselskapene klarer ikke dette alene, og samarbeid mellom ulike aktører er helt nødvendig for å nå målene.</p> <p>Nettselskapene mangler insentiver, metoder og verktøy for å beregne og kommunisere risiko.</p>

Tiltak**Instrumentere, standardisere og samle inn data**

Datakvalitet og tilgjengeligheten av data i de rette kanaler (og deling mellom verktøy og aktører) er forutsetninger for å kunne ta i bruk resultatene fra CINELDI. Eksisterende og nytt nett må instrumenteres, innsamling av (høyoppløselige) måleverdier må etableres, datakvalitet må spesifiseres, dataformat standardiseres og det må legges til rette for datautveksling og interoperabilitet. Digitaliserings- og automatiseringsløsninger må spesifiseres og standardiseres.

Videreutvikle beslutningsstøtteverktøy, demonstrere og pilotere fremtidens aktive nettdrift

Videreutvikle og implementere løsninger for dynamisk ledningskapasitet for viktige forbindelser, videreutvikle og teste automatisk spenningsregulering, funksjonalitet for selvhelende nett (i avgrensede nettområder), automatisert beslutningsstøtte for koblinger, og automatisert nettdrift. Metoder som ennå ikke er modne for å testes ut i reelle nett eller drift, kan testes ut i laboratoriet, f.eks. i det nasjonale Smart Grid-laboratoriet på NTNU.

Utvikle og ta i bruk driftsverktøy for risikoanalyse og visualisering

Basert på erfaringer fra demoer og piloter kan det utvikles verktøy som tas i ordinær bruk for risikoanalyse og risikovisualisering i nettdriften. Datadrevne metoder og kunstig intelligens (KI) kan være relevant, sammen med mer tradisjonelle metoder og verktøy, for blant annet å analysere data, kartlegge og analysere risiko og

visualisere resultatene. For å få til utvikling og bruk av de nødvendige verktøyene er det nødvendig med utdanning av relevant kompetanse, særlig innenfor IKT og risikoanalyser i kraftsystemet.

Utvikle og innføre automatisert nettdrift

Innføring av automatisert nettdrift er et overordnet mål i et strømnett preget av hurtige og store variasjoner, høy kompleksitet og mange alternative handlinger. Dette vil bli gjort mulig basert på erfaringer fra piloter og demoer, der de nye metodene testes over tid gjennom å gi beslutningsstøtte til operatørens handlinger og automatisering av enkelttiltak og automatisering i avgrensede nettområder.

Videreutvikle og pilotere ny metodikk for nettplanlegging

Databasert (AMS og andre kilder) og stokastisk lastmodelleringsmetodikk, og planleggingsmetodikk med bruk av både aktive og passive tiltak, må videreutvikles og testes.

Utvikle og innføre risikobasert planleggingsmetodikk i full skala

Basert på erfaringer fra pilotering og testing av risikobasert planleggingsmetodikk, er det et naturlig siktemål å utvikle verktøyene som kreves for å innføre dette i full skala i virksomheten. Også her kan KI være relevant å vurdere som metode, f.eks. for automatisk generering av alternativer og visualisering.

Videreutvikle og implementere nye metoder for anleggsforvaltning

CINELDI og samarbeidsprosjekter har utviklet metoder for smart anleggsforvaltning som viser sammenhengen mellom komponenttilstand og leveringspålitelighet. Disse metodene bør videreutvikles og implementeres i samarbeid mellom nettselskap, teknologileverandører og forskere.

Innføre databasert anleggsforvaltning i full skala

Basert på erfaringer fra pilotering og testing av databasert anleggsforvaltning, er det et naturlig siktemål å utvikle verktøyene som kreves og innføre dette i full skala i virksomheten.

Spre resultater, dele kunnskap og «beste praksis» for verktøy på tvers av bransjen

Bransjeforeninger/-selskaper og møteplasser for nettselskapene må brukes aktivt for å dele erfaringer og etablere beste praksis, slik at utviklingen av nye sentrale verktøy og prosesser i nettselskapene skjer i samarbeid og fører til økt standardisering i bransjen.

Tilpasse reguleringen til behovet for rask tilknytning og økt nettutnyttelse

Det er viktig å sørge for at reguleringer og insentiver hele veien legger til rette for raskest mulig tilknytning av ny produksjon og last, og gir en mest mulig riktig balanse mellom økt nettutnyttelse og nettutbygging.

Hovedbudskap 2

Flexibilitet i forbruk, kraftproduksjon, og energilager må tas i bruk for bedre utnyttelse av strømmettet

Flexibilitet må tas i bruk for raskt å kunne tilknytte så mye forbruk og ny produksjon som mulig, og for bedre utnyttelse av nettet.

Mer forbruk og mer væravhengig produksjon er med på å skape behov for bruk av fleksibilitet og fleksible ressurser i kraftsystemet (se faktaboks). Dette er viktig fordi:

(1) Det må bygges mye nytt nett, men det skjer i mange tilfeller ikke fort nok. Flexibilitet øker utnyttelsesgraden av det strømmettet vi allerede har, slik at strømmettet i mindre grad blir en bremsekloss for det grønne skiftet

(2) Bruk av fleksibilitet og aktive tiltak i nettet er viktige virkemidler i nettplanleggingsprosessen i tillegg til passive tiltak (nettutbygging), og kan brukes for å redusere risikoen for driftsutfordringer i påvente av at nytt nett bygges. Det kan også

bidra til mer samfunnsøkonomisk riktige investeringer.

(3) Med større andel væravhengig (ikke-regulerbar) produksjon må vi ta i bruk fleksibilitet slik at lasten i større grad følger produksjonen, for å balansere forbruk og produksjon i kraftsystemet. Slik kan man unngå problemer med spenning, frekvens og termiske begrensninger i nettet.

Dette betyr at bruk av fleksible ressurser er nødvendig både i dagens situasjon med begrenset nettkapasitet, men også etter at mer nett er bygd. Forskning og pilotering i CINELDI har vist hvordan fleksible ressurser kan forstås, klassifiseres og modelleres, samt hvordan bruk av de fleksible ressursene og aktive tiltak påvirker strømmettet. Det har blitt demonstrert hvordan en kombinasjon av fleksibilitet, aktive og tradisjonelle tiltak (nettutbygging) i nettet kan brukes for å planlegge aktive distribusjonsnett. Dette har deretter vært brukt til å vise når det best mulige investerings-tidspunktet er, og hvordan fleksible ressurser og aktive tiltak kan brukes for å håndtere risikoen for driftsutfordringer. I CINELDI er det forsket mest

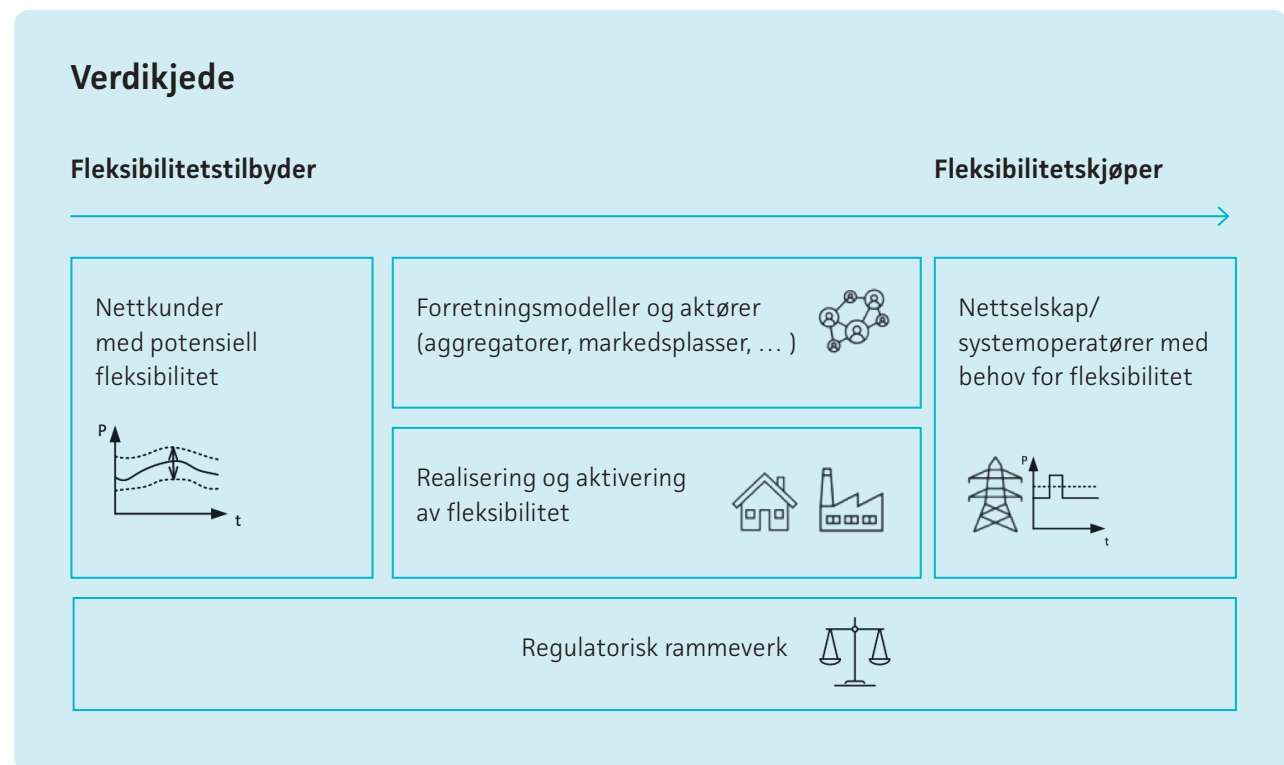
Flexibilitet og fleksible ressurser

Flexibilitet er evne og vilje til modifisering av produksjons- og/eller forbruksmønster, på et individuelt eller aggregert nivå, ofte som en reaksjon på et eksternt signal, for å kunne tilby en tjeneste til kraftsystemet eller opprettholde stabil nettdrift.

Fleksible ressurser er produksjons-, og/eller forbruksressurser, og/eller energilager, hvor injisert eller forbrukt effekt kan modifiseres på et individuelt eller aggregert nivå, etter avtale med nettselskapet og/eller en tredjepart (f.eks. en aggregator) slik at de inngår i og kan gjøre nytte i systemdriften.

på forbrukerfleksibilitet i bygg og i husholdninger, batterier og elbillading.

Til tross for at fleksibilitet kan løse utfordringer i både nettplanlegging og -drift, er den ikke tatt i bruk i utstrakt grad i Norge i dag. Det er identifisert at nye arbeidsprosesser, avtaler, markedsløsninger og standardisering er viktige forutsetninger for at fleksibilitet skal bli brukt i stor skala. For å sikre at fleksibilitet blir tatt i bruk i kraftsystemet, er det behov for et helhetlig perspektiv på verdikjeden for fleksibilitet. Denne verdikjeden omfatter nettkunder som kan bidra med fleksibilitet, nettselskap (DSO/TSO) som ønsker å kjøpe fleksibilitet, aktører og teknologi for realisering og aktivering av fleksibilitet, og regulatorisk rammeverk som legger til rette for at fleksibilitet blir tatt i bruk. Det trengs forretningsmodeller som dekker hele verdikjeden, og som sikrer lønnsomhet for alle involverte aktører. I tillegg trengs digitalisering og automatisering (se Hovedbudskap 1).



Verdikjeden for fleksibilitet.

2 Flexibilitet

Mulighet	Begrunnelse	Barrierer
<p>Flexibele ressurser øker utnyttelsen av eksisterende strømnett, slik at nytt forbruk kan tilknyttes i påvente av at mer nett bygges. Dette forutsetter at fleksibilitet og aktive tiltak er med i nettplanleggingsprosessen, for å bidra til å bygge riktig mengde nett til riktig tid, og ha kontroll på risikoen under ledetiden. Samtidig vil en økende andel ikke-regulerbar produksjon gi økende behov for fleksibilitet for å balansere kraftsystemet.</p> <p>Flexibele ressurser kan forbedre systemstabilitet og bidra til å unngå driftsutfordringer som flaskehals og spenningsproblemer. Flexibilitet kan også bistå under kritiske driftssituasjoner.</p> <p>En realistisk modellering av fleksibilitet i nettplanleggingsprosessen i sammenheng med bruk av fleksibilitet i driftsfasen kan bidra til færre utkoblinger og av kortere varighet.</p> <p>Aggregering av fleksible ressurser gjennom aggregatorer kan gi større potensiale for å samhandle koordinert mot de behov som finnes i nettet.</p> <p>For å sikre best mulig nytte for kraftsystemet må markedsløsninger og avtaler/kontrakter optimaliseres ut fra hvilket formål fleksibiliteten skal brukes til, og av hvem.</p>	<p>På veien mot fornybarsamfunnet, med økt andel kraftproduksjon basert på sol og vind, og utslippsreduksjon gjennom elektrifisering (f.eks. av transport og industri), er det behov for rask tilknytning av nytt forbruk og mer fornybar produksjon til strømnettet. Dette krever økt nettkapasitet, men det kan ta lang tid å bygge nett.</p> <p>Bedre utnyttelse av strømnettet er med på å optimalisere ressursbruken, både mht. infrastrukturen i seg selv, men også mht. arealene som beslaglegges og naturinngrep. Slik unngår man å bygge ned mer natur enn nødvendig, og samtidig så blir nettselskapenes drift mer kostnadseffektiv.</p> <p>Flexibilitet og aktive tiltak i nettet bør bli naturlige virkemidler i nettplanleggingen fordi de bidrar til at man kan utsette nettinvesteringer i påvente av bedre informasjon om lastutviklingen, og fordi de kan brukes til å kontrollere driftsrisikoen frem til nettforsterkningen er på plass.</p>	<p>Nåværende arbeidsprosesser og verktøy hos nettselskapene er ikke godt nok tilrettelagt for planlegging og drift med fleksibilitet. I tillegg er det utfordringer knyttet til manglende observerbarhet både mellom tilgrensende og overliggende nett, samt kartlegging og aktivering av fleksibilitet. Standardiserte fleksibilitetsprodukter finnes i liten grad for distribusjonsnettet, og verdien av fleksibilitet er ikke godt nok etablert.</p> <p>Ved å ta i bruk fleksibilitet involveres flere aktører, noe som vil endre dagens aktørbilde og deres oppgaver knyttet til planlegging og drift av strømnettet.</p> <p>Kundeaksept for deling av personsensitive data (om strømbruk) til tredjepartsaktører.</p> <p>Manglende lønnsomhet ved bruk av fleksibilitet.</p> <p>Manglende markedsplasser/-løsninger for bruk av fleksibilitet.</p> <p>Cyber-risiko knyttet til aktivering av fleksible ressurser kan gå ut over forsyningssikkerheten.</p> <p>Flexibilitet i planlegging må henge sammen med fleksibilitet i drift: Det trengs oversikt over hvilke aktive tiltak som er bundet opp i planleggingen, og hvilke som er tilgjengelige i drift.</p>

Tiltak

Videreutvikle metoder for kartlegging av tilgjengelig nettkapasitet, både for kort og lang sikt

For at nettselskapet skal bruke fleksibilitet og andre aktive tiltak må de først vite hva behovet er, både over året, men også i driftsplanleggingsperspektiv (de neste 48 timene). Lastprognoser og -modellering, og bruk av sensorer for å kartlegge tilgjengelig nettkapasitet, er viktige brikker for å vite hvor det blir nødvendig å ta i bruk fleksible ressurser for å løse problemer i nettet.

Utvikle og innføre standardiserte fleksibilitetsprodukter

Det er nødvendig å standardisere avtalene som gjør kunders fleksibilitet tilgjengelig for nettselskapene. Dette kan oppnås ved å definere et begrenset sett med fleksibilitetsprodukter og utvikle standard-avtaler om fleksibilitetstjenester for ulike bruksområder.

Videreutvikle verktøy som viser tilgjengelig fleksibilitet

Nettselskapet trenger oversikt over tilgjengelig fleksibilitet, både type, størrelse og lokasjon. Det er behov for å videreutvikle eksisterende prototyper som illustrerer nytteverdi og konsekvenser ved alternative valg.

Pilotere bruk av fleksibilitet for aktiv nettdrift

Nettselskaper deltar i piloter og bruker fleksibilitet stadig oftere til aktiv drift av nettet og for å håndtere for eksempel flaskehals, fremfor å bruke tradisjonelle

virkemidler. I pilotene bør det legges vekt på standardisering og utvikling av skalerbare løsninger som kan tas i bruk andre steder enn der det er testet/pilotert.

Etablere systematikk for koordinert bruk av fleksibilitet på tvers av nettnivå

Dersom bruken av fleksibilitet skal optimeres med hensyn til tilgrensende og overliggende nett, må det koordineres mellom DSO-DSO og DSO-TSO. Det er behov for å definere en systematikk eller et rammeverk for hvordan dette skal gjøres.

Implementere systematikken i verktøy for å optimalisere fleksibilitetsbruk på tvers av nettnivå

Når en systematikk for fleksibilitetskoordinering er på plass, må denne implementeres i relevante driftsverktøy slik at koordinert fleksibilitetsbruk foregår i praksis. Som en del av optimaliseringsmetodikken bør det brukes risikobasert tilnærming til å avgjøre hvor løsningen skal være kjøp av fleksibilitet.

Utvikle modeller for verdien av fleksibilitet og verifisering av levert fleksibilitet

Det bør forskes på fleksibilitetens rolle i å opprettholde forsyningsikkerhet, verdien av fleksibilitet og verifisering av levert fleksibilitet og deretter **Implementere fleksibilitetsmodellene i verktøy for nettdrift**

Utvikle forretningsmodeller for fleksibilitet

Sikrer lønnsomhet for alle aktører i verdikjeden for fleksibilitet.

Videreutvikle markedsplasser for handel mellom nettselskap, aggregator og kunde

Implementere verktøy som automatisk samhandler med fleksible ressurser

På sikt kan fleksibilitetshandlene og aktiveringen automatiseres fra driftssentralen.

Undersøke samfunnsmessige og sosiale konsekvenser av å ta i bruk fleksibilitet i kraftsystemet (kontinuerlig)

Dersom tilknytningsavtaler og regulering skal gå i retning av at laststyring skal bli mer vanlig, så bør det forskes på sosial aksept av disse endringene for å sørge for at kraftsystemet ikke øker sosiale forskjeller.

Innføre regulering som tilrettelegger for effektkoordinering, produksjonsdeling og aktivering av fleksibilitet

For eksempel effektkoordinering og produksjonsdeling blant sluttbrukere i lokale energisamfunn, og utvikling av insentiver for å aktivere fleksibilitet i pressede nettområder (utover «tilknytning med vilkår»).

Iverksette ny standard tilknytningsavtale som gjør kundenes fleksibilitet tilgjengelig

Nettselskapene bør gå bort fra dagens standard tilknytningsavtaler og etablere en ny standard som gjør det enklere å ta i bruk eksisterende fleksibilitet i nettet- også for de eksisterende kundene.

Hovedbudskap 3

Forsynings sikkerheten utfordres av ekstremvær, cybertrusler, økte driftspåkjenninger og økt kompleksitet i kraftsystemet og må håndteres på nye måter i fremtiden.

Digitalisering og fleksibilitet gir muligheter for å finne nye måter å håndtere forsynings sikkerheten på.

Forsynings sikkerhet defineres som kraftsystemets evne til å kontinuerlig levere elektrisk kraft av en gitt kvalitet til sluttbruker. Den består av fire hovedelementer:

- *Energisikkerhet*: tilgang på nok energi for å produsere elektrisitet
- *Effektsikkerhet*: tilgang til kapasitet for å dekke effektbehovet til enhver tid
- *Spenningskvalitet*: kvaliteten på spenningen som leveres til sluttbrukeren
- *Leverings pålitelighet*: tilgjengelighet av elektrisk kraft, knyttet til antall strøbrudd og varighet av strøbrudd.

I tillegg inngår *driftssikkerhet*, som er kraftsystemets evne til å motstå driftsforstyrrelser uten at gitte grenser overskrides, samt *cybersikkerhet*.

Forsynings sikkerheten påvirkes også av interaksjoner mellom disse elementene.

Norge har i dag svært høy forsynings sikkerhet for elektrisk kraft^{14,15}. Leverings påliteligheten er på ca. 99,98 %, noe som betyr at norske sluttbrukere i gjennomsnitt opplever strøbrudd i 2-3 timer pr år. Gjennom forskningen i CINELDI knyttet til elektrifisering, digitalisering og fleksibilitet, har det blitt stadig tydeligere at det kommer endringer som vil påvirke forsynings sikkerheten. Energirilemmaet har havnet i søkelyset ettersom vektleggingen av klima og miljø har økt, og ikke minst etter energikrisen i Europa i kjølvannet av Russland sitt angrep på Ukraina, hvor forsynings sikkerhet har kommet høyere opp på agendaen. Vi må unngå en situasjon hvor forsynings sikkerhets hensyn forsinker viktige samfunns mål innenfor elektrifisering og klima.

I CINELDI er det identifisert nye problemstillinger og forsknings behov knyttet til forsynings sikkerhet i fremtidens strømnett, og det er gjennomført innledende forskning knyttet til cybersikkerhet og innvirkningen på forsynings sikkerhet. I tillegg er det gjennomført en studie av hvordan fleksible ressurser kan innvirke på forsynings sikkerhet, og det er utviklet metoder og diskutert prinsipper for

automatisk gjenoppretting av forsyning etter feil i nettet (selvhelende funksjonalitet).

Et strømnnett med høy forsyningssikkerhet, og som er robust og motstandsdyktig, er avgjørende for det grønne skiftet og økt bærekraftig verdiskaping i samfunnet. Elektrifiseringen av samfunnet fremheves som ett av de viktigste tiltakene for å redusere klimagassutslipp og nå målene om nullutslippssamfunnet i 2050. Digitaliseringen av strømnettet og bruk av fleksibilitet gir økt utnyttelse av nettet og raskere elektrifisering, men dette kan svekke forsyningssikkerheten og endre risikobildet, blant annet gjennom økt sannsynlighet for å overskride systemgrenser, reduserte marginer og økt kompleksitet.

Større variasjon i kraftproduksjon og forbruk vil gi større påkjenning på nett og komponenter, risikoen for feil på komponentene kan øke, og levetidene kan bli reduserte. Ny fornybar kraftproduksjon tilkobles med omformere, og omformerteknologier kan gi økte muligheter for styring, men kraftelektronikken kan samtidig gi stabilitetsutfordringer i nettet.

Dagens statiske systemgrenser er konservative, og det er behov for å utvikle nye løsninger for overvåking og risikohåndtering av nettet, som gjør det mulig å etablere mer dynamiske grenser slik at nettutnyttelsen øker. Det er nødvendig å skaffe oversikt over reell risiko for å kunne ha kontroll. Dette vil kunne legges til rette for risikobasert planlegging, drift og vedlikehold av nettet.

Forsyningssikkerheten utfordres både av økte driftspåkjenninger, økte værpåkjenninger og mer ekstremvær, og av cybertrusler. Nye sårbarheter oppstår som følge av digitaliseringen av strømnettet og utviklingen mot et cyber-fysisk system, av økende kompleksitet og ved at samfunnet blir mer avhengig av elektrisitet. Det er derfor viktig å forstå hvordan forsyningssikkerheten for elektrisitet og det cyberfysiske strømnettets motstandsdyktighet påvirkes av storstilt elektrifisering, nye trusler og sårbarheter, og hvordan den kan opprettholdes på veien mot nullutslippssamfunnet.

For å håndtere høyere nettutnyttelse, større innslag av digitaliserte og automatiserte løsninger, og bruk av fleksibilitet, trengs ny kunnskap om

forsyningssikkerheten i fremtiden. I dette ligger også behovet for ny kunnskap om nye måter å håndtere forsyningssikkerheten på gjennom bruk av ny teknologi og fleksibilitet, og om hvordan det kan oppleves rettferdig og aksepteres i samfunnet. Det vil også kreve nye metoder og arbeidsprosesser for å håndtere forsyningssikkerheten i daglig nettdrift med nye roller og ansvar mellom systemoperatører, og i samspill med nettkundene (kraftprodusenter, sluttbrukere, og fleksibilitetstilbydere).

Mulighet	Begrunnelse	Barrierer
<p>For å lykkes med det grønne skiftet, må forsyningssikkerheten ivaretas. Ny teknologi og fleksibilitet kan gi muligheter for nye måter å håndtere forsyningssikkerhet på i fremtiden.</p> <p>Det er mulig å ivareta forsyningssikkerheten og få kontroll på risiko, knyttet til de endringene som skjer i omgivelsene/ omverdenen mht. klima-/ værpåkjenninger, i utviklingen av det cyber-fysiske systemet og som følge av elektrifiseringen.</p> <p>Dette vil legge til rette for risikobasert planlegging, drift og vedlikehold av det cyber-fysiske strømmettet.</p> <p>Mulighet for en mer samfunnsøkonomisk riktig forsyningssikkerhet i fremtidens strømmett, og mer riktige totale samfunnsøkonomiske kostnader (summen av investerings-, drift- og vedlikeholds, avbrudds- og tapskostnader).</p>	<p>Forsyningssikkerheten må balanseres mot kostnadene ved å realisere klimamålene og hensynet til natur og miljø. Vi mangler i dag kunnskap om konsekvensene for forsyningssikkerhet av endringene i kraftsystemet som følge av elektrifisering, økte værpåkjenninger, digitalisering og økt kompleksitet.</p> <p>Et robust og motstandsdyktig strømmett er nødvendig, og vi trenger å ta i bruk nye muligheter som ny teknologi (digitalisering og automatisering) og fleksibilitet gir til å håndtere forsyningssikkerhet på nye måter. Det trengs også ny kunnskap for dette.</p>	<p>Mangel på data og indikatorer for å finne faktisk tilstand på komponenter og system og tilhørende risiko knyttet til forsyningssikkerhet. Manglende definisjoner og modeller for hvordan risikoen kan måles og kvantifiseres.</p> <p>Manglende muligheter for å differensiere forsyningssikkerhet utover tilknytning med vilkår. Samfunnsmessig aksept for å øke risiko/ redusere forsyningssikkerhet.</p> <p>Systemfunksjonalitet knyttet til selvhelende nettfunksjonalitet, og nye vern mm. for feilhåndtering, er ikke tilstrekkelig etablert.</p> <p>Mangler oversikt og koordinering mellom TSO og DSO for forsyningssikkerhet og rolleavklaring mellom ulike aktører (inkl. sluttbrukerne selv) for å håndtere forsyningssikkerhet.</p>

Tiltak

Definere risikobaserte kriterier og prinsipper og forankre risikobasert tilnærming på alle nivå i nettselskapet

Den risikobaserte tilnærmingen til planlegging, drift og vedlikehold av nettet vil bare fungere dersom denne forankres på alle nivå i et nettselskap. Dersom nettet planlegges etter risikobaserte kriterier, må driftsmiljøet være innforstått med dette. For at nettet skal kunne driftes risikobasert, må dette være forankret i nettselskapets ledelse.

Videreutvikle og teste risikobaserte metoder og kriterier

Utvikle risikoforståelse, -indikatorer og -metoder, teste risikobasert nettdrift på digital tvilling og sammenligne med faktisk (ordinær) drift, pilotere risikobasert nettdrift i avgrensede deler av nettet - men bygge nytt nett der etterspørselen krever det.

Innføre risikobasert planlegging, drift og vedlikehold av strømnettet

Den risikobaserte tilnærmingen er viktig i alle kjerneprosessene i et nettselskap. Når risikobaserte metoder og kriterier er etablert, legger det til rette for risikobasert planlegging, drift og vedlikehold.

Videreutvikle og implementere verktøy for kartlegging av cyberrisiko

I CINELDI er det utviklet metode for kartlegging av cyberrisiko i nettplanleggingsfasen, og hvordan dette påvirker forsyningsikkerheten. Metoden bør tas i bruk og utvides til å gjelde for alle kjerneprosessene i et nettselskap, inkl. drift og vedlikehold.

Kartlegge og forstå gjensidige avhengigheter mellom energibærere, domener og nettnivåer

Strømnettet utvikles mot et cyber-fysisk system og blir tettere integrert med andre energibærere og sektorer. Det er viktig å få kartlagt og forstå de gjensidige avhengighetene og nye trusler og sårbarheter som oppstår. Energibærere kan være f.eks. el/hydrogen/fjernvarme og med domener menes f.eks. cybersikkerhet/IKT.

Utvikle metodikk for å håndtere motstandsdyktighet (resiliens)

Motstandsdyktighet (resiliens) er en motsats til sårbarhet, og blir stadig viktigere i et kraftsystem og strømnett som er i endring og utsettes for nye påkjenninger, bl.a. som følge av økt utnyttelse av nettet. Motstandsdyktigheten er en del av forsyningsikkerheten, men det mangler metoder og verktøy for å håndtere dette f.eks. som en del av leveringspålitelighet og gjenoppretting av forsyningen.

Bygge kunnskapsgrunnlaget for differensiering av forsyningsikkerhet

Etablere nødvendig kunnskap og metoder, etablere prinsipper for forsyningsikkerhet, roller og samfunnsaksept. Langsiktig kompetansebyggende forskning (forskningsentre for miljøvennlig energi (FME), kompetansebyggende prosjekter for næringslivet (KSP)) for å skaffe ny kunnskap om tilstand, risiko og nye måter å håndtere forsyningsikkerhet på, og om verdsetting og samfunnsmessig aksept knyttet f.eks. til differensiering av forsyningsikkerhet.

Bruke digitalisering og fleksibilitet for håndtering og differensiering av forsyningsikkerhet

Ta i bruk nye muligheter (ny teknologi/ digitalisering, fleksibilitet og mikronett/ lokale energisamfunn (LEC)) for håndtering og differensiering av forsyningsikkerhet. Få fram kunnskap om samfunnsaksept.

Definere ansvar og roller i verdikjeden, mellom nettnivåer (TSO/DSO) og sluttbrukere**Pilotere og innføre nye prinsipper for håndtering av forsyningsikkerhet**

Bruke piloter som læringsarena for å håndtere forsyningsikkerhet, redusere barrierer, bidra til innovasjon og standardisering, eksempelvis pilotering av lokale energisamfunn i samspill med distribusjonsnett (mht. tjenester for netbstøtte, forsyningsikkerhet, økonomisk/ insentiver, mm.), husholdninger og industrielle energisamfunn.

Referanser

- 1 Electrification, IEA, 2023: <https://www.iea.org/energy-system/electricity/electrification>
- 2 Net Zero Roadmap, IEA, 2023: <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>
- 3 Klimakur 2030, Miljødirektoratet
- 4 Electricity Grids and Secure Energy Transitions, IEA, 2023: <https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions>
- 5 Grids for Speed, Eurelectric, 2024: <https://powersummit2024.eurelectric.org/grids-for-speed>
- 6 Mer av alt raskere, NOU 2023:3, Energikommisjonens rapport: <https://www.regjeringen.no/contentassets/5f15fcec3143d1bf9cade7da6afe6e/no/pdfs/nou202320230003000dddpdfs.pdf>
- 7 Nett i tide, NOU 2022:6, Strømnettutvalgets rapport: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2022-6/id2918464>
- 8 Langsiktig markedsanalyse, Statnett (2023)
- 9 Statnett. (2023). Systemutviklingsplan 2023. Statnett. <https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/sup/systemutviklingsplan-2023.pdf>
- 10 Europower. (2023). *Boom i nettselskapene: Investerer mer enn noen gang*. Europower. <https://www.europower.no/nett/boom-i-nettselskapene-investerer-mer-enn-noen-gang/2-1-1589617>
- 11 DNV New Power Systems (2024), <https://www.dnv.com/publications/new-power-systems-report>
- 12 Forsyningssikkerhet: Kraftsystemets evne til å kontinuerlig levere strøm av en gitt kvalitet til sluttbrukere <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/forsyningssikkerhet>
- 13 Selvhelende nettfunksjonalitet: teknologi og prosesser for automatisk feillokalisering og -isolering, og automatisk gjenoppretting av strømforsyningen til intakte deler av distribusjonsnettet.
- 14 Driften av kraftsystemet 2023, NVE, https://publikasjoner.nve.no/rme_rapport/2024/rme_rapport2024_04.pdf
- 15 Hvor sårbart er vårt elektriske energisystem? SINTEF og NTNU, Arendalsuka 2022, https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/arendalsuka/2022/forsyningssikkerhet_lr.pdf

Strategien og veikartet gir et grunnlag for å navigere i komplekse problemstillinger som gjelder transisjonen av kraftsystemet for det grønne skiftet, der tett samarbeid mellom de ulike aktørene er nøkkelen til fremtidens strømnett. Uten dette samarbeidet vil transisjonen antagelig ikke lykkes.

Partnere

