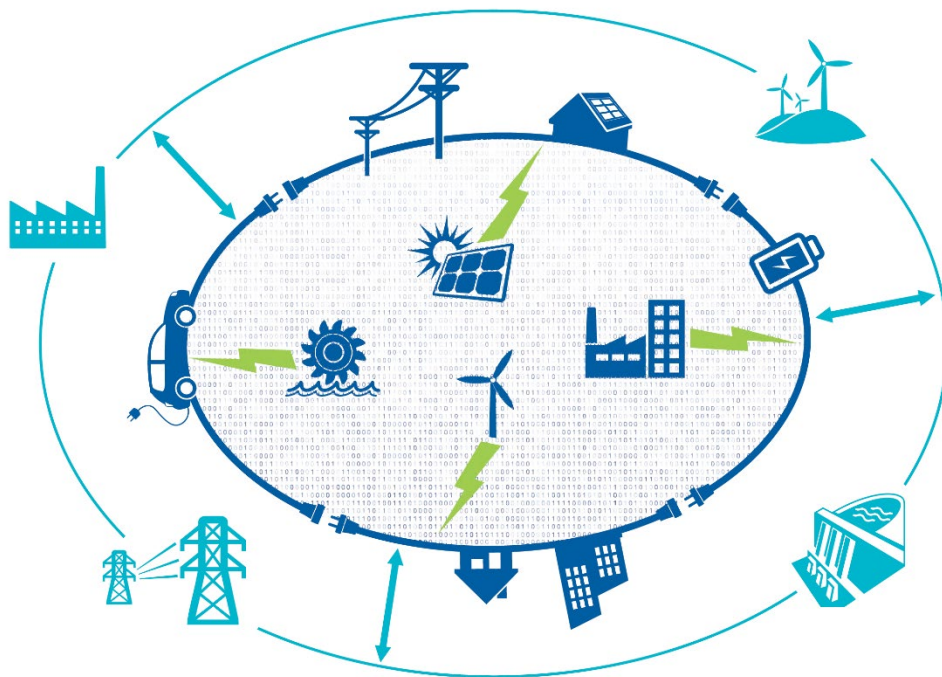


Pilot sluttrapport

TSO/DSO-koordinering via hierarkisk markedsklarering

Authors: Hanne Sæle



CINELDI - Centre for intelligent electricity distribution

SINTEF and NTNU are the main research partners, with grid operators, technology providers, public authorities and international R&D institutes and universities as partners.

The research centre is financed by the Research Council of Norway and the Norwegian partners through the Centre for Environment-friendly Energy Research (FME) scheme. The FME scheme consists of research centres of limited duration that conduct concentrated, focused and long-term research on a high international level to solve specific challenges related to energy and the environment.



Centres for
Environment-friendly
Energy Research

Prosjektnotat

TITTEL			
Resultat og erfaringsnotat for Pilot TSO/DSO-koordinering via hierarkisk markedsklarering (Transmission and Distribution coordination via Hierarchical clearing)			
WORK PACKAGE	VERSJON	DATO	ANTALL SIDER
WP Pilot	1.0	2024-11-27	12
FORFATTER(E)	WP-LEDER	GRADERING	
Hanne Sæle <i>Hanne Sæle</i> <small>Hanne Sæle (Jan 9, 2025 09:35 GMT+1)</small>	Maren Istad <i>Maren Istad</i> <small>Maren Istad (Jan 8, 2025 08:57 GMT+1)</small>	Åpen	

SAMMENDRAG

Prosjektet har demonstrert hvordan hierarkisk TSO-DSO koordinering kan benyttes for å øke bruk av fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnett, for balansering av kraftsystemet, og at dette gjøres uten at det skapes nye problemer i kraftsystemet (f.eks. nye flaskehals oppstår i distribusjonsnett som følge av aktivering av reserver).

I prosjektet har det blitt gjennomført lastflytanalyser, basert på en nettmodell hvor både distribusjonsnett og transmisjonsnett er kombinert. Det har vært noen utfordring knyttet til konvergens av lastflytanalyser basert på disse to ulike nettmodellene, bl.a. på grunn av ulike format og ulike versjoner, men dette har blitt løst i løpet av prosjektet.

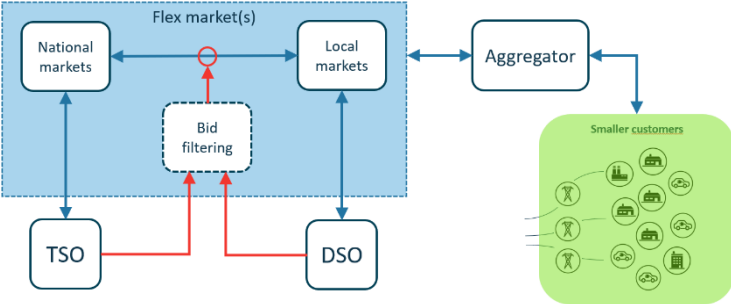
Piloten har vært gjennomført på realistiske case i Trondheims-området, hvor det er laget en nettmodell bestående av både distribusjons- og transmisjonsnett. Prosjektet går ut 2024, og endelige resultater er for tidlig å ha klare, så gjeldende beskrivelse av erfaringer fra pilot fokuserer derfor på markedskonseptet.

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunnsinformasjon om pilotprosjektet.....	3
2	Om Piloten og fysisk pilotområde.....	6
3	Resultater og innovasjoner fra Piloten.....	7
3.1	Innovasjoner fra Piloten.....	10
4	Tekniske/faglige erfaringer fra Piloten.....	11
4.1	Oppsummering	11
5	Kost-/nyttevurderinger basert på resultatene for Piloten.....	12
5.1	Kostnader	12
5.2	Nyttevurderinger	12

1 Bakgrunnsinformasjon om pilotprosjektet

Tabell 1: Bakgrunnsinformasjon

	Fra malen "planlegging av pilotprosjekt"	Viktige endringer i løpet av pilotperioden
Målsetting	Prosjektet skal bidra til økt kunnskap om et alternativt konsept for design av fleksibilitetsmarked, basert på hierarkisk markedsklarering og interaksjon DSO/TSO.	n/a
Problemstilling	<p>Det er et økende behov for å ta i bruk fleksibilitet på ulike nettnivå i kraftsystemet – både for DSO og TSO. Fleksible ressurser lokalisert i distribusjonsnettet vil bidra til økt likviditet og reduserte kostnader, men det krever koordinering mellom DSO og TSO.</p> <p>Gjennom metodikk for hierarkisk klarering skal prosjektet undersøke hvordan fleksible ressurser lokalisert i distribusjonsnettet kan benyttes både av DSO og TSO. Nettbegrensninger knyttet til bruk av fleksibilitet lokalisert i distribusjonsnettet inkluderes i bud inn i reservemarkedene til TSO. Målsettingen er å bidra til et mer effektivt marked for omsetting av fleksibilitet, hvor både nettbegrensninger hos DSO og TSO er hensyntatt.</p> <p>Figur 1 viser et eksempel på hvordan en aggregator kan legge inn fleksibilitetsbud i et felles marked, og at man gjennom budfiltrering (hvor nettbegrensninger knyttet til fleksibilitetsbud blir evaluert), koordinerer hvordan budene sendes videre til nasjonale reservemarkeder og evt. lokale fleksibilitetsmarkeder.</p>  <p>Figur 1 Eksempel på hierarkisk koordinering hvor nettbegrensninger inkluderes i fleksibilitetsbud og videre benyttes for å løse lokale eller nasjonale nettproblemer.</p> <p>Prosjektet vil fokusere på Trondheims-området.</p>	n/a

	Fra malen "planlegging av pilotprosjekt"	Viktige endringer i løpet av pilotperioden
Aktiviteter	<p>Delaktiviteter</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Beskrive markedsdesign 2. Konvertere nettmodell fra distribusjons- og transmisjonsnett til en felles modell i Pandapower, som skal brukes i videre analyser (AC OPF) 3. Bygge nettmodell, gjennomføre simuleringer og utvikling av ulike scenarier knyttet til bruk av fleksibilitet på ulike nettnivå 4. Oppsummering av resultater/Resultatspredning <p>N-SIDE er FoU-partner i prosjektet og skal konvertere nettmodeller, gjennomføre lastflytanalyser og utvikle scenarier.</p> <p>Tensio er prosjektpartner, og deltar med kunnskap om distribusjonsnettet og evaluering av tilgjengelig fleksibilitet i det valgte nettområdet. Aktivitet er hovedsakelig knyttet til deltagelse i møter og workshop, datautveksling (nettmodell og AMS-data).</p> <p>Statnett er prosjekteier, og har ansvar for prosjektledelse. Statnett deltar med kunnskap om transmisjonsnettet og evaluering av tilgjengelig fleksibilitet i det valgte nettområdet. Aktivitet er hovedsakelig knyttet til prosjektledelse, deltagelse i møter og workshop, datautveksling (nettmodell).</p>	n/a
Kostnadsestimat	<p>Statnett: 2.356.467 kr (finansiering til N-SIDE i 2024) + ca. 50.000 kr (50 timer)</p> <p>Tensio: ca. 40.000 kr (40 timer)</p> <p>(Kun kostnader for 2024 vil inngå i rapporteringen av egeninnsats til CINELDI, selv om prosjektet startet allerede i 2023.)</p>	n/a
Innovasjonspotensial	<p>Resultatet fra prosjektet vil være evaluering av et nytt markedskonsept basert på hierarkisk klarering knyttet til bruk av fleksibilitet lokalisert i distribusjonsnettet, til nytte for både DSO og TSO.</p> <p>TRL-nivå v/start: 3</p> <p>TRL-nivå v/stopp: 4</p>	n/a
Forventet resultat	<p>Prosjektleveranser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nettmodell i Pandapower som grunnlag for videre analyser 	Pandapower erstattet med matpower og Octave (open

	Fra malen "planlegging av pilotprosjekt"			Viktige endringer i løpet av pilotperioden
	<ul style="list-style-type: none"> • Optimaliseringsmodell for markedsbasert koordinering av bruk av fleksibilitet mellom distribusjons- og transmisjonsnett • Sluttrapport som beskriver <ul style="list-style-type: none"> ○ Nettmodell som er utviklet i prosjektet ○ Scenarier ○ Optimaliseringsmodell ○ Resultater og anbefalinger <p>Sluttrapporten vil være åpen og kan dermed gjøres tilgjengelig for prosjektpartnere i CINELDI. I tillegg kan sluttrapporten presenteres på CINELDI-webinar.</p>			source), pga. problemer med konvergering av nettmodeller
Tidsplan	Milepæl	Frist	Ansvarlig	Forlenget prosjektperiode. Sluttrapport leveres Q4-2024. Webinar ikke planlagt.
	Kombinert Nettmodell	Q2-2024	N-SIDE	
	Sluttrapport	Q3-2024	N-SIDE/Statnett	
	Webinar	Q3-2024	N-SIDE/Statnett	

2 Om Piloten og fysisk pilotområde

Tabell 2: Piloten og pilotområdet

Pilotområdet	Trondheims-området
Måledata og andre data som samles inn og lagres fra Piloten	Nettmodeller for distribusjons- og transmisjonsnettet brukes som grunnlag for lastflytanalyser. Informasjon om store forbrukslaster brukes som grunnlag for å estimere tilgang på fleksibilitet.
Personvern og/eller kraftsensitiv informasjon	Nettmodeller for distribusjons- og transmisjonsnett
Måle- og kommunikasjonsinfrastruktur	n/a
Use-case-beskrivelser og testplaner	Lastflytanalyse for beregning av hvordan fleksibilitet tilknyttet distribusjonsnettet kan bidra til nytte for både DSO og TSO, ved bruk av hierarkisk markedsklarering.
Regulering og forskrifter	n/a
Barrierer og løsninger	Store nettmodeller utarbeidet for ulike formål, og i ulike dataformat, som skal kombineres som grunnlag for felles lastflytanalyse
Hvem skal eventuelt ta resultater fra Piloten i bruk?	DSO og TSO
Hvem er erfaringene relevant for?	DSO og TSO
Hva påvirkes av resultater fra Piloter?	Økt kunnskap om hvordan reserver lokalisert i distribusjonsnettet kan tas i bruk på en koordinert måte, slik at det gir nytteverdi på ulike nettnivå.
Informasjonsdeling mellom aktørene før/underveis/etterpå	Presentasjon 2024-06-06 på webmøte Ekspertgruppe pilot.
Er det laget planer for videreføring? Skalering/fullskala implementering?	Avklares i slutten av 2024.

3 Resultater og innovasjoner fra Piloten

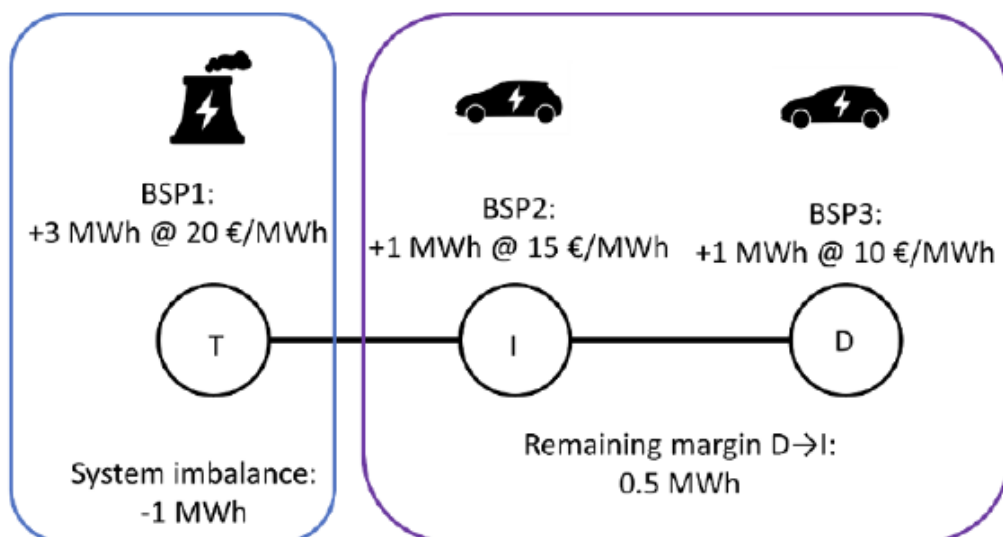
Det er en forventning til at fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnettene vil bidra til mer effektiv drift av både distribusjons- og transmisjonsnett. Prosjektet har hatt som mål å identifisere og evaluere ulike barrierer knyttet til TSO-DSO-koordinering, spesielt med fokus på grensebetingelser, informasjonssikkerhet, komplekse nettbegrensninger og andel fleksible ressurser som involveres.

Med metodikken hierarkisk markedsklarering blir begrensninger i distribusjonsnettene inkludert i bud til TSO sine reservemarkeder. I prosjektet er dette definert som "residual supply function (RSF)". Denne funksjonen sikrer at bud i reservemarkedene som kommer fra ressurser tilknyttet distribusjonsnettene, kan aktiveres av TSO uten at dette skaper nye nettproblemer. Dette gjør at både DSO og TSO kan benytte fleksibiliteten, og totalt vil dette bidra til et mer effektivt reservemarked og bedre utnyttelse av det eksisterende kraftsystemet.

Viktige læringspunkter fra prosjektet er bl.a.:

- Hierarkisk klarering er foreslått som en metode for håndtering av DSO-TSO-koordinering, ved at man begrenser hvor detaljert informasjon systemoperatør (TSO) får (eller trenger å få) om distribusjonsnettene (fra DSO).
- I starten av prosjektet ble mulighetene ved hierarkisk klarering vist gjennom flere eksempler for hvordan fleksibilitet kan aktiveres til ulike formål uten at det skaper konflikter mellom DSO og TSO.
- Det ble erfart utfordringer knyttet til foreslått implementering av TSO-DSO-koordinering, spesielt knyttet til informasjon om driftssituasjonen i nettet, mulighet til å måle status for enkeltressurser, introduksjon av prising av reserver og påvirkning på ubalanseoppjøret og priser i reservemarkedene.

Et forenklet eksempel på bruk av metodikken for hierarkisk klarering er vist i figur 2. Figuren viser hvordan reserver tilknyttet distribusjonsnettene kan bidra inn i balansering av kraftsystemet, uten at dette påvirker driftssikkerheten i distribusjonsnettene.



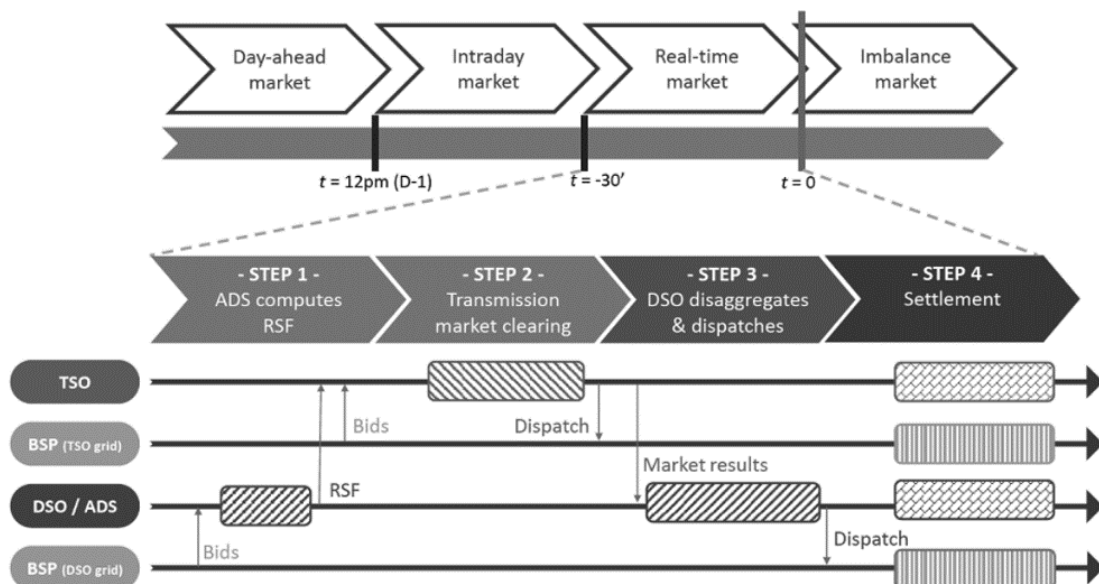
Figur 2 Forenklet eksempel på bruk av hierarkisk klarering for TSO-DSO-koordinering av bruk av reserver

Venstre del av figuren (blå boks) representerer transmisjonsnettets driftet av TSO, mens høyre del av figuren (lilla boks) representerer distribusjonsnettets driftet av DSO. Systemet har tre noder og to linjer. I transmisjonsnettets har BSP1 (Balancing Service Provider) tilgjengelig en reserve på 3 MWh for oppregulering, til en marginalpris på 20 €/MWh. Linja i distribusjonsnettets (fra D til I) har tilgjengelig overføringskapasitet på 0,5 MWh. Ubalansen for kraftsystemet er -1 MWh i dette eksemplet, dvs. det mangler energi og det er behov for oppregulering. I distribusjonsnettets er det tilgjengelige reserver hos BSP2 og BSP3 på 1 MWh for oppregulering begge steder. For BSP2 er marginalprisen 15 €/MWh, mens marginalprisen for BSP3 er 10 €/MWh.

Hvis den rimeligste reserven brukes for å håndtere ubalansen, skal 1 MWh oppreguleres fra BSP3, men dette vil overskride kapasiteten på linja mellom D og I. I stedet oppreguleres 0,5 MWh fra BSP3, og resterende 0,5 MWh oppreguleres fra BSP2. Siden det bare deler av budene fra BSP2 og BSP3 som aktiveres, er det kun marginalprisen som begrenser dem i å aktivere hele budet. En høyere pris enn marginalprisen vil gi dem incentiver til å aktivere mer enn hva som trengs for å jevne ut ubalansen i kraftsystemet. Markedsprisen i node I blir da 15 €/MWh (marginalprisen til BSP2), mens prisen i node D blir 10 €/MWh (marginalprisen til BSP3).

Motivasjonen bak metodikken for hierarkisk TSO-DSO koordinering er å kunne tilby reserver tilknyttet distribusjonsnettets inn i reservemarkedene til TSO. Dette gjøres ved at tilgjengelige reserver i distribusjonsnettets og tekniske begrensninger i distribusjonsnettets samles inn i et bud til TSO, for deretter å disaggregeres slik at de faktiske reservene aktiveres.

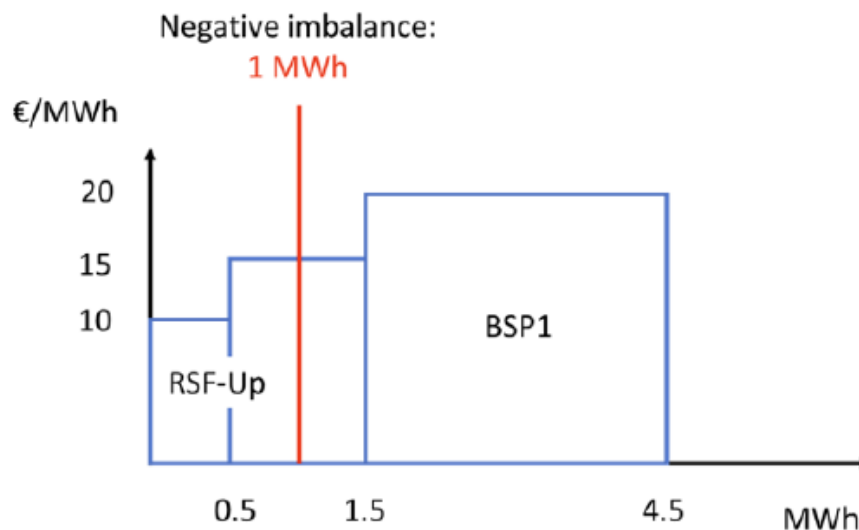
Figur 3 viser et eksempel på hierarkisk TSO-DSO-koordinering, hvor nettbegrensninger er inkludert i fleksibilitetsbud til reservemarkedene. Gjennom ADS (Aggregation – Disaggregation System) bygges bud til reservemarkedene opp ved å aggregere flere mindre bud fra distribusjonsnettets¹. Bud som aktiveres med utgangspunkt i behov fra reservemarkedene, blir deretter delt opp (disaggregert) slik at aktivering kan skje uten å skape nye utfordringer for distribusjonsnettets.



Figur 3 Sekvensdiagram for hierarkisk TSO-DSO-koordinering

¹ "Hierarchical Coordination of Transmission and Distribution System Operations in European Balancing Markets", Ilyes Mezghani, Nicolas Stevens, Graduate Student Member, IEEE, Anthony Papavasiliou, Senior Member, IEEE, and Dimitris I. Chatzigiannis, <https://ap-rg.eu/wp-content/uploads/2022/09/J41.pdf>

Aggregeringsfunksjonen gir informasjon om hva som er lavest kostnad for aktivering av et gitt reservebehov. I det forenklede eksemplet, er dette 0.5 MWh hos BSP3 som har lavest kostnad. Dette er vist i Figur 4 som "RSF-Up", hvor 0.5 MWh aktiveres til en pris på 10 €/MWh (BSP3). For å dekke hele ubalansen, er det behov for å aktivere 0,5 MWh til 15 €/MWh fra BSP2. Markedet klareres til en pris på 15 €/MWh for et volum på 1 MWh.



Figur 4 Tilbud på og prissetting av oppregulering ved hierarkisk TSO-DSO koordinering

Den optimale løsningen i dette eksemplet er aktivering av 0,5 MWh fra BSP3 og 0,5 MWh fra BSP2. Metodikken for hierarkisk markedsklarering beregner pris og volum på fleksibilitet basert på en begrenset mengde data, siden beregningen gjøres på et aggregert nivå (i grensesnittet mellom DSO og TSO), og ikke for den enkelte ressursen tilknyttet distribusjonsnettet.

I resultatene fra prosjektet beskrives ulike forenklede eksempler for nytten ved metodikken for hierarkisk TSO-DSO koordinering, som grunnlag for lastflytanalyser i en større nettmodell satt sammen av både distribusjons- og transmisjonsnett.

3.1 Innovasjoner fra Piloten

Tabell 3 Beskrivelse av innovasjoner i forskningsrådets kategorier

Forskningsrådets kategorier	Beskrivelse	Antall
Ferdigstilte nye/bedre metoder/modeller/ prototyper	Metodikk for hierarkisk TSO/DSO koordinering som muliggjør økt bruk av reserver tilknyttet distribusjonsnett, er demonstrert i prosjektet.	1
Bedrifter utenfor FMEen som har innført nye/forbedrede metoder eller modeller eller teknologi		0
Bedrifter innenfor FMEen som har innført nye/forbedrede arbeidsprosesser		0
Bedrifter innenfor FMEen som har innført nye/ forbedrede metoder eller modeller eller teknologi		0
Inngåtte lisensieringskontrakter		0
Registrerte patenter		0
Ferdigstilte nye/forbedrede produkter		0
Ferdigstilte nye/forbedrede prosesser		0
Ferdigstilte nye/forbedrede tjenester		0
Nye foretak som følge av FME'en		0
Nye forretningsområder i eksisterende bedrifter		0

4 Tekniske/faglige erfaringer fra Piloten

I prosjektet har det blitt gjennomført lastflytanalyser for å analysere hvordan fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnett, kan håndteres i balanseringen av kraftsystemet uten at dette skaper nye utfordringer. Metodikken for hierarkisk TSO-DSO koordinering ble vist med enkle eksempler i starten av prosjektet. Når metodikken skulle benyttes for en fullskala nettmodell hvor både distribusjons- og transmisjonsnett skulle kobles sammen, ble det utfordringer bl.a. knyttet til ulike format/versjoner på nettmodellene og håndtering av store datasett.

Nyttige erfaringer fra prosjektet er:

- *Kompatibilitet*: Kompatibilitet både mellom versjoner av verktøy (f.eks. PSS/e) og nettmodeller er nødvendig
- *Datakvalitet nettmodeller*: Korrekte modeller er viktig for å sikre konvergens i lastflyt. Grundig testing og validering opp mot referansemodeller er viktig for å sikre pålitelige resultater.
- *Pålitelige konvergering*: Direkte konvergering fra et format til et annet format er mer pålitelig enn konvergering mellom flere ulike format.
- *Support*: Kvalitetssikring av nettmodeller og resultater krever samhandling med netteiere
- *Risikohåndtering*: Risiko bør identifiseres og håndteres tidlig i prosessen med konvertering mellom format. Det er viktig å velge den mest pålitelige metoden for å sikre konsistente og korrekte resultater.
- *Spesialløsninger*: Vær forberedt på at det kan bli behov for spesialløsninger for å få gjennomført analyser (f.eks. at Matpower kjøres fra Python, og ikke fra Matlab).

4.1 Oppsummering

Prosjektet har demonstrert hvordan hierarkisk TSO-DSO koordinering kan benyttes for å øke bruk av fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnett for balansering av kraftsystemet uten at det skapes nye problemer i kraftsystemet (f.eks. nye flaskehals oppstår i distribusjonsnett som følge av aktivering av reserver).

I prosjektet har det blitt gjennomført lastflytanalyser, basert på en nettmodell hvor både distribusjonsnett og transmisjonsnett er kombinert. Det har vært noen utfordring knyttet til konvergens av lastflytanalyser basert på disse to ulike nettmodellene, bl.a på grunn av ulike format og ulike versjoner, men dette har blitt løst i løpet av prosjektet.

5 Kost-/nyttevurderinger basert på resultatene for Piloten

5.1 Kostnader

Totalt prosjektbudsjett

- Statnett:
 - Total finansiering: 3.874.377 kr
 - CINELDI-andel: 2.356.467 kr (finansiering til N-SIDE i 2024)
 - Egeninnsats: ca. 50.000 kr (50 timer)
- Tensio: ca. 40.000 kr (40 timer)

(Kun kostnader for 2024 vil inngå i rapporteringen av egeninnsats til CINELDI, selv om prosjektet startet allerede i 2023.)

5.2 Nyttevurderinger

Metodikken for hierarkisk TSO-DSO koordinering bidrar til at fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnettet kan brukes til balansering av kraftsystemet – uten at dette skaper nye problemer i distribusjonsnettet. Dette kan bidra til økt tilgang på og bruk av fleksibilitet i kraftsystemet - til nytte for både DSO og TSO.

Nytteverdier fra prosjektet er bl.a. knyttet til:

- Økt tilgang på fleksible ressurser for TSO og DSO – både de som er tilknyttet transmisjonsnettet, men også de som er tilknyttet distribusjonsnettet
- Kunder får økt nytte av å tilby reserver, siden en fleksibel ressurs kan brukes til flere formål (flere kjøpere av reservetjenesten)

FME CINELDI

Host: SINTEF Energy Research in cooperation with NTNU
Visiting address: Sem Sælands vei 11, N-7034 Trondheim
Post address: P.O.Box 4761 Torgarden, N-7465 Trondheim
Telephone: +47 454 56 000*
E-mail: cineldi@sintef.no
Enterprise/VAT No: NO 939 350 675 MVA
<http://www.cineldi.no>

