



UDBUD AF SYSTEMGENOPRETTELSESRESERVE

UDBUDSBETINGELSER DK1 2025-2027 BILAG 1

TEKNISKE BETINGELSER

ENERGINET
Elssystemansvar

Energinet
Tonne Kjærvej 65
DK-7000 Fredericia

+45 70 10 22 44
info@Energinet.dk
CVR-nr. 39 31 49 59

Dato:
17. februar 2022

Forfatter:
TBS/LJK

1. Indledning

I tilfælde af spændingsløst transmissionsnet skal elforsyningen retableres ved hjælp af "Systemgenoprettelsesreserver", som defineret nedenfor.

De tekniske betingelser beskriver de tekniske krav, der stilles til Systemgenoprettelsesreserverne.

2. Definition

Systemgenoprettelsesreserve: Reserve, bestående af én eller flere enheder, der tilsammen kan starte fra spændingsløst net og levere tilstrækkelig elektrisk effekt, frekvens- og spændingsregulering samt kortslutningseffekt til at spændingssætte transmissionsnettet.

3. Det tekniske behov

Energinet Systemansvars tekniske behov er to uafhængige systemgenoprettelsesreserver i Vestdanmark (DK1), hvoraf den ene skal være uafhængig af nabo-TSOer.

4. Tekniske krav

4.1 Spændingsniveau

Systemgenoprettelsesreserven skal være tilsluttet direkte i en 150/60 kV-station eller en station på et højere spændingsniveau.

4.2 Energiforsyning

Leverandøren er forpligtet til at sikre lokal energiforsyning til mindst to opstarter af systemgenoprettelsesreserven fra spændingsløst net, med efterfølgende drift på 30 MW i op til 12 timer efter hver opstart. Energiforsyningen skal samlet have en størrelse der sikrer levering af minimum 30 MW i 24 timer. Såfremt det er teknisk muligt, har Energinet Systemansvar ret til at kræve større lokal energiforsyning, dette vil blive særskilt afregnet og indgår ikke i rådighedsbetalingen.

Som alternativ til lokal energiforsyning accepteres anvendelse af energi leveret via det offentlige gasforsyningsnet. Leverandøren skal sikre at systemgenoprettelsesreserven altid kan af-tage og anvende den leverede gas uanset lufttemperaturforhold og ekstern elforsyning.

Systemgenoprettelsesreservens egenforsyning til hjælpesystemer skal være uafhængig af ekstern forsyning, dog undtaget gasforsyning via det kollektive gasforsyningsnet.

Leverandøren er forpligtet til at sikre at systemgenoprettelsesreserven kan forblive i tilstanden "Driftklar varm" i rådighedsperioden fastsat i afsnit 4.8. Tilstanden "Driftklar varm" er defineret i afsnit 4.6.

4.3 Aktiv effekt

Systemgenoprettelsesreserven skal i tilslutningspunktet kunne levere 30 MW regulerbar effekt kontinuert fra 0 MW. Systemgenoprettelsesreserven skal indenfor lastområdet 0 til 30 MW kunne håndtere en momentan forøgelse af effekten på 10 MW og en momentan reduktion i effekten på 20 MW.

4.4 Reaktiv effekt

Systemgenoprettelsesreserven skal i tilslutningspunktet kunne levere kontinuert regulerbar reaktiv effekt der sikrer at det nødvendige transmissionsnet frem til mindst to andre systembærende enheder kan spændingssættes samt at der kan indkobles forbrug og synkroniseres med andre produktionsanlæg. Ud fra det specifikke tilslutningspunkt fastsætter Energinet Systemansvar omfanget af transmissionsnet der skal kunne håndteres og deraf de konkrete krav til systemgenoprettelsesreservens reaktive effekt egenskaber.

Systemgenoprettelsesreserven skal dog som minimum ved 30 MW last kunne afgive 50 Mvar (overmagnetisering) og optage 20 Mvar (undermagnetisering). Systemgenoprettelsesreserven skal ligeledes kunne håndtere en tilsvarende momentan ændring af den reaktive effekt, ændring på +50/-20 Mvar.

De reaktive effektkrav for det konkrete tilslutningspunkt kan ved henvendelse, oplyses af Energinet Systemansvar.

4.5 Frekvens- og spændingsregulering

Systemgenoprettelsesreserven skal kunne levere frekvens- og spændingsregulering i den krævede periode i afsnit **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**, hvor systemgenoprettelsesreservens levering af effekt er uafhængig af eksterne forhold, fx det aktuelle fjernvarmeaftag. Frekvensreguleringen må gerne ske med benyttelse af lastenheder, f.eks. en elkedel.

Frekvensreguleringen skal være proportionalregulering (statik) og efterleve krav til FSM som beskrevet jf. KOMMISSIONENS FORORDNING (EU) 2016/631 af 14. april 2016 om fastsættelse af netregler om krav til nettilslutning for produktionsanlæg (RfG). Frekvensreguleringen skal være uden dødbånd omkring referencefrekvensen og skal som minimum kunne levere ± 30 MW samt kunne regulere fra 0 MW. Referencefrekvens er 50 Hz og statikken skal kunne indstilles i intervallet 2 til 12 %. Referencefrekvens og referenceeffekt skal kunne ændres af systemgenoprettelsesreservens operatør efter anvisning fra Energinet systemansvars Kontrol-Center El.

Spændingsreguleringen skal efterleve krav til spændingsreguleringstilstand som beskrevet jf. RfG artikel 21.3.d. De konkrete indstillinger for spændingsreguleringen aftales for det konkrete anlæg mellem leverandøren og Energinet Systemansvar. Ved spændingssætning er det tilladt at anvende "soft-energisation" hvor det afgrænsede spændingsløse net kobles sammen med systemgenoprettelsesreserven som herefter langsomt, over nogle sekunder, øger spændingen i nettet. Referencespænding skal kunne ændres af systemgenoprettelsesreservens operatør efter anvisning fra Energinet systemansvars KontrolCenter El.

Systemgenoprettelsesreserven skal kunne opretholde normale driftsforhold for spænding og frekvens i det kollektive elforsyningsnet. Konkret betyder det, at der ved momentan ændring af systemgenoprettelsesreservens belastning for aktiv og reaktiv effekt i den spændingssatte $\emptyset$,

som angivet i afsnit **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** og 4.4 ovenfor, ikke må forekomme hverken temporære eller stationære spændings- eller frekvensafvigelser større end grænserne for "normal produktion".

"Normal produktion" defineres jf. RfG, som det frekvens- og spændingsområde indenfor hvilke produktionsanlæg skal kunne operere tidsmæssigt ubegrænset.

- "Frekvens" jf. artikel 13, stk. 1 litra b Tabel 2.
- "Spænding" jf. artikel 16, stk. 2 Tabel 6.1 (100kV – 300kV) eller Tabel 6.2 (300kV – 400kV).

4.6 Opstartstid

Systemgenoprettelsesreserven skal som udgangspunkt have en opstartstid på maksimalt 2 timer og skal altid yde den hurtigst mulige opstartstid under hensyn til systemgenoprettelsesreservens tekniske formåen i den aktuelle driftstilstand op til en *blackout*-hændelse. Har systemgenoprettelsesreserven ikke kørt i en længere periode, accepteres længere opstartstid, hvis denne skyldes tekniske begrænsninger i systemgenoprettelsesreserven, dog maksimalt 9 timer. Tekniske begrænsninger som kan forlænge opstartstiden udover 2 timer skal på forhånd dokumenteres af leverandøren og accepteres af Energinet Systemansvar.

Opstartstiden er tiden fra Energinet Systemansvars KontrolCenter EI beordrer opstart af systemgenoprettelsesreserven og indtil systemgenoprettelsesreserven er klar til at spændings sætte transmissionsnettet.

Tabel 1 nedenfor angiver de maksimale opstartstider for systemgenoprettelsesreserven i to forskellige driftstilstande op til en *blackout*-hændelse. Driftstilstanden angiver systemgenoprettelsesreservens tilstand op til en *blackout*-hændelse som defineret herunder.

- "Driftsklar varm": i drift, umiddelbart stoppet før hændelsen, eller beordret driftsklar som beskrevet i afsnit 4.8.
- "Driftsklar kold": stoppet i længere tid op til hændelsen.

Tabel 1: Maksimal opstartstid

Tilstand af systemgenoprettelsesreserve	Tid siden sidste kørsel	Maksimal opstartstid
Driftsklar varm	<=8 timer	<2 timer
Driftsklar kold	>8 timer	<9 timer

Hvis systemgenoprettelsesreserven uforudset afkobles fra nettet, efter den er startet og er meldt klar til anvendelse til systemgenoprettelse til Energinet Systemansvar, f.eks. under spændingssætning af transmissionsnettet eller efter sammenkobling med andre netområder, skal systemgenoprettelsesreserven kunne lave hurtig gensynkronisering efter kravene beskrevet i RfG. Kravet er gældende, så længe systemgenoprettelsesreserven leverer systemgenoprettelse til Energinet Systemansvar.

4.7 Information og kommunikation

Systemgenoprettelsesreserven og dennes kontrolrum skal informationsteknisk tilsluttes Energinet Systemansvars KontrolCenter EI i Erritsø i henhold til de for systemgenoprettelsesreserven

til enhver tid gældende tekniske forskrifter og netregler. Systemgenoprettelsesreserven forventes derfor at have ét kontaktpunkt, uanset antallet af enheder, ejerforhold, og driftsmæssige forhold.

Leverandøren forpligter sig til, at systemgenoprettelsesreserven til enhver tid er klar til at håndtere henvendelser fra Energinet Systemansvar og at have uddannet personale til at foretage opstart af systemgenoprettelsesenheden mens transmissionsnettet er spændingsløst og efterfølgende drift imens Energinet Systemansvar spændingssætter transmissionsnettet.

Såfremt systemgenoprettelsesreserven ikke har et døgnbemandet kontrolrum skal Energinet Systemansvars KontrolCenter El kunne beordre opstart af systemgenoprettelsesreserven via sine-telefoni. Beordringen skal kunne foretages til mindst to uafhængige operatører af systemgenoprettelsesreserven. Det er leverandørens ansvar at anskaffe sine-telefoner og tilladelsen til anvendelse af disse.

4.8 Rådighed

Energinet Systemansvar kan, i tilfælde af revision eller havari på anden systemgenoprettelsesreserve eller hvis transmissionsnettet er i tilstanden "Emergency", beordre systemgenoprettelsesreserven i tilstanden "driftsklar varm", som defineret i afsnit 4.6 ovenfor, i en periode på op til fire uger op til to gange per kalenderår, for at sikre en hurtig opstart efter et eventuelt *black-out* i den givne periode.

4.9 Afprøvninger

Aftalen om leverance af systemgenoprettelsesreserve er betinget af at der foretages minimum en godkendt afprøvning af anlægget før leverancestart. Efter leverancestart er leverandøren forpligtet til at afprøve systemgenoprettelsesreservens evne til at levere start fra spændingsløst net ved mindst én prøve per kalenderår. Alle afprøvninger sker ved at elnettet på hele anlægget lægges spændingsløst hvorefter systemgenoprettelsesreservens egenforsyning opstartes fra spændingsløst net, derefter opstart af selve systemgenoprettelsesreserven samt afprøvning af hurtig gensynkronisering. Såfremt Energinet Systemansvar ønsker det, skal der endvidere ske indkobling af en transmissionslinje eller opstart af et større isoleret netområde. Afprøvningen skal udføres i henhold til godkendt afprøvningsbeskrivelse fra Energinet Systemansvar. Den endelige udformning af afprøvningen af systemgenoprettelsesreserven skal aftales med udgangspunkt i systemgenoprettelsesreservens tekniske egenskaber.

Energinet Systemansvar har ret til at sende op til fire personer til at overvære hver afprøvning. Leverandøren skal, senest en måned før afprøvning, sende en invitation til Energinet Systemansvar med information om dato og tidspunkt for afprøvningen. Endelig bekræftelse til alle deltagere sendes derefter, når Energinet Systemansvars KontrolCenter El har bekræftet tidspunktet for afprøvning.

Udover den ovennævnte afprøvning skal der aftales et antal mindre afprøvninger af systemgenoprettelsesreservens egenforsyning efter testplanen defineret jf. Kommissionens forordning (EU) 2017/2196 om fastsættelse af en netregel for nødsituationer og systemgenoprettelse. Leverandøren er berettiget til at fordele de af leverandøren planlagte afprøvninger med minimum 30 dages mellemrum. Alle afprøvninger skal som udgangspunkt aftales med Energinet Systemansvars KontrolCenter El senest 10 arbejdsdage før prøvens afholdelse.

Ved afprøvning af systemgenoprettelsesreservens egenforsyning skal egenforsyningen som minimum bringes op på en belastning svarende til den forventede last under opstart af hele systemgenoprettelsesreserven efter et *blackout*.

Efter hver afprøvning udarbejder leverandøren en rapport eller anden dokumentation for, at afprøvningen er gennemført. I tilfælde af en fejlet afprøvning skal dette fremgå af rapporten sammen med en beskrivelse af korrigerende tiltag og en ny dato for afholdelse af en afprøvning til erstatning for den fejlede afprøvning. Rapporten fremsendes til Energinet Systemansvar via e-mail senest to uger efter afprøvningen.

Udover de ovennævnte afprøvninger skal systemgenoprettelsesreserven for hver 2 kalender-måneder have en samlet drift tilsvarende minimum 60 MWh produktion. Dette kan fx opnås ved leverance til det normale kollektive elforsyningsnet.

Alle omkostninger til de ovenfor nævnte afprøvninger skal være indeholdt i den faste betaling.

5. Krav til simuleringsmodeller og studier

Dette afsnit beskriver de generelle krav Energinet Systemansvar stiller til simuleringsmodeller af anlæg der skal levere systemgenoprettelsesydelser.

Leverandøren skal fremsende en fuldt funktionel simuleringsmodel af systemgenoprettelsesreserven til Energinet Systemansvar. Simuleringsmodellen skal indeholde samtlige egenskaber, som i tilstrækkelig grad beskriver spændings- og frekvensregulering, transformere, relæbeskyttelse, anlægs- og beskyttelsesindstillinger, forbrug og egenforsyning. Såfremt Energinet Systemansvars simuleringer viser, at systemgenoprettelsesreserven ikke kan levere de nødvendige egenskaber til spændingssætning mv., vil anlægget ikke blive godkendt til at levere systemgenoprettelsesreserve.

5.1 Generelle krav til EMT-modeller til systemgenoprettelsesstudier

Til systemgenoprettelsesstudier, kræver Energinet, at der leveres en detaljeret EMT-model (Elektromagnetisk Transient) af det udførende anlæg. Formålet med anvendelsen af EMT-modeller, i modsætning til RMS-modeller, er at kunne simulere transienter i forbindelse med spændingssætning af el-systemets komponenter. Dette kunne eksempelvis være *inrush* strømme i forbindelse med spændingssætning af transformere, som vil kunne trippe anlægsbeskyttelse og afbryde systemgenoprettelsesproceduren. Derudover er der for systemgenoprettelse tale om drift af anlæg i svage net, hvorved den øgede nøjagtighed ved EMT-simulering kræves.

Overordnet set, er det anlægsejerens ansvar at sikre, at den leverede EMT-model er valid for systemgenoprettelsesstudier, og at alle detaljer, anlægsejeren vurderer relevante for denne specifikke type studier, er inkluderet.

Simuleringsmodellen skal følge modelkravene for EMT modeller fra RfG's Bilag 1.B, som er offentligt tilgængelige på Energinets hjemmeside¹. Dog er der i det følgende fremhævet krav til detaljer der gør sig særligt gældende for systemgenoprettelse.

De fremhævede krav er:

¹ <https://energinet.dk/El/Nettilslutning-og-drift/Regler-for-nye-anlaeg#Nyproduktionsanlaeg>

1. En funktionel PSCAD simuleringsmodel skal leveres for systemgenoprettelsesreserven forbundet til en simpel modelrepræsentation af det kollektive elforsyningsnet, f.eks. en Théveninækvivalent model.
2. EMT-modellen skal udvikles og leveres til PSCAD/EMTDC i softwareversionen fastsat af den systemansvarlige virksomhed.
 - a. Som udgangspunkt anvendes PSCAD v. 4. 6 eller nyere.
 - b. Compiler version skal være Intel Fortran v. 12 eller 15 (32 bit), samt Visual Studio version 2010 eller 2015.
1. Det er anlægsejerens ansvar at sikre, at den leverede EMT model indeholder alle relevante regulerings-, kontrol og beskyttelsesfunktioner.
2. Simuleringsmodellen skal leveres med en brugervejledning med beskrivelse af modelbegrænsninger, -antagelser og anvendelse, samt en verifikationsrapport for EMT-modellens validitet ved fx idriftsættelse. Bemærk at denne verifikationsrapport er forskellig fra den i Punkt 11 beskrevne rapport, som udføres efter systemgenoprettelsesafprøvning på anlægget.
3. En detaljeret beskrivelse af modelbegrænsninger skal leveres, med beskrivelse af alle de af produktionsanlæggets funktioner, der ikke er inkluderet i EMT-modellen eller består af en forenklet repræsentation, som ville kunne antages at have betydning for produktionsanlæggets transiente og dynamiske elektriske egenskaber og performance.
4. Alle for systemgenoprettelsesstudier relevante funktionsindstillinger i anlæggets reguleringsystem, der kan ændres enten lokalt eller ved fjernkontrol, skal være tilgængelige parametre i simuleringsmodellen. Omfanget af leverancen godkendes af den systemansvarlige virksomhed.
5. Hvis anlægget har særlige funktioner, som eksempel et reguleringsregime for særligt svagt net (som fx ved systemgenoprettelse) eller "soft-energisation" funktionalitet, skal disse funktioner inkluderes i EMT-modellen.
 - a. En relevant modelteknisk beskrivelse af de særlige funktioner og disses begrænsninger skal inkluderes i EMT-modellens brugervejledning.
6. For produktionsenheder med en nettilsluttet konverter og såfremt det højest mulige tidsskridt er lavere end 10 mikrosekunder, skal anlægsejer yderligere levere en average model repræsentation af halvledernes skiftninger således at denne model kan simuleres ved tidsskridt på 10 mikrosekunder eller højere. Denne average model skal lave et gennemsnit med skiftefrekvensen for anlægget, således at hurtige reguleringsløjfer bevares og det udelukkende er skiftedynamikken der udelades. Denne average model repræsentation skal stadig kunne korrekt repræsentere de dynamikker der er imellem DC-siden og AC-siden af anlægget.
7. For produktionsenheder med mekanisk drivtøgt skal EMT-modellen indeholde en mekanisk svingningsmassemodel for produktionsanlæggets drivtøgt inklusive dokumentation af inertikonstanter, egenfrekvenser samt fjeder- og dæmpningskonstanter, såfremt dette er relevant for repræsentationen af produktionsanlæggets stationære og dynamiske egenskaber.
8. For produktionsenheder med en nettilsluttet konverter skal denne modelleres på transistor niveau for korrekt repræsentation ved transiente studier (gælder ikke ved average modeller leveret grundet et maksimal tidsskridt under 10 mikrosekunder).
9. Netkomponenter og øvrige dele, som indgår i anlægsinfrastrukturen, skal implementeres i EMT-modellen i et omfang og et detaljeringsniveau, der er gyldig for systemgenoprettelsesstudier. Dette inkluderer opsamlingskabler, transformere, filtre m.m. Omfanget af leverancen godkendes af den systemansvarlige virksomhed.

10. EMT-modellen skal være anvendelig for EMT-simuleringer af balancerede samt ubalancerede fejl.
11. EMT-modellens stationære og dynamiske respons skal valideres igennem en verifikationsrapport, hvor modelrespons skal sammenlignes med målinger foretaget på det virkelige anlæg under udførsel af systemgenoprettelsesafprøvning, som aftales med Energinet Systemansvar.

5.2 Generelle evalueringskriterier og krav til systemgenoprettelsesstudier

Den leverede anlægsspecifikke EMT-model, som opfylder kravene listet under Afsnit 5.1, vil af Energinet Systemansvar blive anvendt til gennemførsel af et systemgenoprettelsesstudie, hvor anlæggets evne til at spændingssætte en del af det kollektive el-transmissionsnet påvises, og siden eftervises i en afprøvning. I dette systemgenoprettelsesstudie vil der indgå flere hovedkomponenter, som skal spændingssættes, uden indikationer for særlige risici, såsom komponentbeskadigelser eller ustabilitet hvor systemgenoprettelsesreserven udkobler. Det er tilladt at anvende "soft-energisation" hvor det afgrænsede spændingsløse net kobles sammen med systemgenoprettelsesreserven og herefter langsomt, over få sekunder, øger spændingen i nettet.

Disse hovedkomponenter vil være:

1. Transformere med rating op til 600 MVA på 150/400 kV eller 132/400 kV spændingsniveau
2. Lange højspændingskabler (132/150/400 kV)
3. Luftledninger (132/150/400 kV)
4. Kompenseringsenheder, såsom shunt-reaktorer, typisk mellem 50 Mvar og 150 Mvar

Derudover vil der i systemgenoprettelsesstudiet indgå mindst én systembærende enhed, som det pågældende anlæg skal spændingssætte frem til, og synkroniseres med. Dette kunne fx være et HVDC-VSC anlæg, synkronkompensator eller synkrongenerator på et kraftværk. Dette inkluderer den nødvendige aktive effekt til opstart og drift af den systembærende enhed og de deraf forventede lastspring.

Systemgenoprettelsesstudiet godkendes hvis:

1. Alle netkomponenter kan spændingssættes uden påvist risiko for temporære overspændinger (TOV), og at spændinger holdes inden for Energinets normal-spændingsområde defineret i netdimensioneringskriterierne².
2. De reaktive effekttræk fra anlægget ikke overstiger anlæggets kapacitet, og dermed risikerer aktivering af begrænser-funktioner som kan lede til ustabilitet og trip.
3. De aktive effekttræk fra anlægget ikke overstiger anlæggets kapacitet, og dermed risikerer aktivering af begrænser-funktioner som kan lede til ustabilitet og trip.
4. Transiente strømme ved fx spændingssætninger af transformer, ikke leder til trip af anlæggets beskyttelsesfunktioner.
5. Anlægget kan opnå og holde et stabilt arbejds punkt i alle faser af systemgenoprettelsesproceduren, uden udæmpede oscillationer eller ugunstige interaktioner i spænding, samt aktiv- og reaktiveffekt.
6. Anlægsbeskyttelsen reagerer korrekt og sikrer at der ved påtrykning af kortslutninger udvalgte steder i det spændingssatte net, ikke er risiko for komponentbe-

² <https://energinet.dk/El/Eltransmissionsnett/Forudsætninger>

skadigelse. Manglende selektivitet accepteres i det omfang det ikke vurderes muligt at indstille beskyttelsen til selektivitet under hensyn til den normale drift af anlægget. Dette skal aftales med og godkendes af den systemansvarlige virksomhed.