

23.09.03

Strømafbrydelsen i Østdanmark og Sydsverige 23. september 2003 Endelig hændelsesrapport

4. NOVEMBER 2003



Indhold

1.	Indledning	2
2.	Sammenfatning og det videre arbejde	3
2.1.	Sammenfatning af hændelsesforløbet	3
2.2.	Handlemuligheder	4
2.3.	Det videre arbejde	6
3.	Gennemgang af hændelsesforløbet	7
3.1.	Udgangssituationen 23. september 2003	7
3.2.	Kl. 12.30 - Blok 3 på Oskarshamn kobles ud	8
3.3.	Kl. ca. 12.35 - Kortslutning - Ringhalsblokke kobles fra nettet	8
3.4.	Forløbet fra kl. 12.35 til 12.37	8
3.5.	Dødstart	13
3.6.	Genopbygning	14
3.7.	Bornholm	16
3.8.	Den ikke-leverede energi	16
3.9.	Systemets tilstand ultimo september 2003	17
4.	Særlige emner	17
4.1.	Spændingssætning af transmissionsnettet	17
4.2.	Tilkobling af forbrugere	19
4.3.	Kommunikation til offentligheden	20
4.4.	Jævnstrømsforbindelser	21
	Bilag 1 - Produktion og spænding på Avedøreværkets blok 2	24

Udgivet af Elkraft System
Lautruphøj 7
2570 Ballerup
Tlf. 44 87 32 00
Fax 44 87 32 10
elkraft@elkraft.dk
www.elkraft-system.dk
ISBN 87-986969-5-5
4. november 2003

1. Indledning

Tirsdag den 23. september 2003 blev Østdanmark og Sydsverige ramt af en omfattende strømafbrydelse. I Østdanmark betød strømafbrydelsen, at ca. 2,4 mio. mennesker var uden strøm fra kl. 12.37. De første forbrugere på Sjælland fik strøm igen kl. 13.47, og langt de fleste forbrugere havde igen elektricitet lidt efter kl. 19. Strømafbrydelsen betød, at ca. 1.850 MW forbrug blev afkoblet, og at ca. 8 GWh elektricitet ikke blev leveret i forhold til den planlagte leverance i Østdanmark.

Den 24. september holdt Elkraft System et pressemøde, hvor hændelsesforløbet blev gennemgået. Forløbet er ligeledes beskrevet i en foreløbig hændelsesrapport fra den 2. oktober.

Denne rapport beskriver og vurderer hændelsesforløbet med henblik på at afdække, hvad der kan gøres for at mindske risikoen for lignende situationer i fremtiden. Rapporten er udarbejdet af Elkraft System efter dialog med Svenska Kraftnät, Energi E2, Østkraft og de østdanske netselskaber. Svenska Kraftnät har udarbejdet en tilsvarende rapport om hændelsesforløbet i Sydsverige. Rapporten findes på Svenska Kraftnäts hjemmeside www.svk.se.

2. Sammenfatning og det videre arbejde

2.1. Sammenfatning af hændelsesforløbet

Strømafbrydelsen den 23. september skete som følge af en række fejl i det sydsvenske elsystem. Den primære årsag til strømafbrydelsen var en dobbelt samleskinnefejl på koblingsstationen i Horred i Sydsverige, som medførte et udfald af fire 400 kV ledninger og to blokke på kernekraftværket i Ringhals. Forud var der sket et udfald af kernekraftværket Oskarshamn blok 3. Resultatet var et spændingskollaps i Sydsverige og i Østdanmark.

Inden udfaldene i Sydsverige var både det sydsvenske system og det østdanske system inden for de normale grænser for systemdrift. Udfaldet af Oskarshamn blok 3 kl. 12.30 blev håndteret i overensstemmelse med dimensioneringsreglerne. Den dobbelte samleskinnefejl på Horred koblingsstation og det deraf følgende udfald af fire 400 kV ledninger i det vestlige Sydsverige og Ringhals blok 3 og 4 kl. 12.35 var derimod en hændelse, som elsystemet ikke er dimensioneret til at kunne håndtere.

Umiddelbart efter kortslutningen i Horred var der praktisk talt ingen produktion tilbage i Sydsverige. Forsyningen af området skete et kort øjeblik fra de sjællandske kraftværker via Øresundsforbindelsen og fra de østlige transmissionsforbindelser fra Mellemsverige, indtil transmissionsforbindelserne fra Mellemsverige blev bortkoblet af beskyttelsesrelæer. Øresundsforbindelsen og forbindelsen til Bornholm blev ikke tilsvarende bortkoblet, og Østdanmark forblev sammenkoblet med det sydsvenske elsystem, indtil spændingen i hele området faldt til nul. Hele forløbet fra kortslutning til nulspænding varede ca. 90 sekunder.

Under forløbet forekom store effektpendlinger og spændingsvariationer, som bl.a. påvirkede de store kraftværker tilsluttet transmissionsnettet, i praksis kun de østdanske værker, da de større sydsvenske kraftværker blev bortkoblet inden da. Det resulterede i en skade på Asnæsværkets blok 5, som er det største anlæg på Sjælland. Skaden betød, at blokken ikke var i stand til at hjælpe med genopbygningen af elforsyningen. Blokken er fortsat ude af drift. Også andre kraftværker fik skader, dog i mindre omfang.

De østdanske kraftværker er ved store frekvensfald indrettet til at koble sig fra nettet og gå over i en stabil blok-ø-drift, hvor anlægget holdes i drift uden at levere elektricitet til nettet. Imidlertid var situationen i det østdanske transmissionsnet under spændingskollapset således, at de østdanske kraftværker ikke gik i sikker blok-ø-drift, hvilket forsinkede genopbygningen af forsyningen. Det betød, at såvel elnet som kraftværker i Østdanmark var spændingsløse kort tid efter kortslutningen i Horred.

Efter spændingskollapset blev transmissionsnettet klargjort til spændingssætning, som skete via Øresundsforbindelsen kl. 13.47. Øresundsforbindelsen bidrog derefter i en periode med effekt på ca. 200 MW, som gjorde det muligt at koble de første sjællandske forbrugere på nettet lidt før kl. 14. Indkoblingen af forbrugere skete derefter i takt med, at de østdanske kraftværker blev koblet på nettet, og lidt efter kl. 19 gav Elkraft System tilladelse til, at netselskaberne kunne koble de sidste forbrugere på. Enkelte forbrugere fik dog først elektricitet igen omkring kl. 22 på grund af lokale forhold.

Det blev forsøgt at starte fra dødt net på Kyndbyværket, men det viste sig ikke muligt, da begge dødstarts anlæggene var fejllamte.

Bornholm, som har et kraftværk i Rønne samt et 60 kV kabel til Sydsverige, blev også ramt af spændingskollapset. Østkraft var i stand til inden for 12 minutter at starte fra

dødt net via dieselanlægget i Rønne. Herved kunne 40 pct. af forbruget dækkes, mens øen var i ø-drift. Omkring kl. 16 blev øen forbundet til Sverige, hvorved de resterende forbrugere på Bornholm kunne kobles på. De øvrige blokke på Bornholm var ikke i drift før strømafbrydelsen og nåede på grund af den lange starttid fra koldt anlæg ikke at komme i gang, før forbindelsen til Sverige var genetableret.

Sammenfattende må det konkluderes, at det ikke var muligt, med det nuværende design af elsystemet og de gældende kriterier for systemdrift og beskyttelse af net- og produktionsanlæg, at forhindre strømafbrydelsen, da først kortslutningen mellem de to samleskinner i Horred var sket.

2.2. Handlemuligheder

Der kan peges på følgende forhold, som må vurderes som led i at minimere risikoen for lignende afbrydelser i fremtiden:

1. Den udløsende fejl i dette konkrete hændelsesforløb var et mekanisk svigt i en adskiller. Fejlen sætter mere generelt fokus på konstruktion, eftersyn og forebyggende vedligeholdelse af transmissionssystemet, i særdeleshed i sårbare punkter hvor fejl har store konsekvenser.
2. Afbrydelsen af 400 kV forbindelserne på Sydsveriges vestkyst i kombination med bortfaldet af 3.000 MW elproduktion gav en voldsom overbelastning af den østlige transmissionsforbindelse mellem Syd- og Mellemsverige. Der optrådte som følge heraf et stort spændingsfald i det østlige Sydsverige. Det bør overvejes at inddrage spændingsstyret bortkobling af elforbrug som en aktiv mulighed i håndteringen af sådanne driftsforstyrrelser. Dette gælder specielt i områder med en anstrengt effektsituation som følge af mangel på produktionskapacitet.
3. Umiddelbart inden det endelige spændingssammenbrud udkoblede beskyttelsesrelæerne i det svenske transmissionsnet Sydsverige fra det øvrige Sverige. Det skete, fordi relæerne registrerede fejlen som en fjernliggende kortslutning og reagerede efter en kort planlagt tidsforsinkelse med at afbryde transmissionsforbindelserne. Dette skete både for at beskytte komponenterne i transmissionsnettet mod skader og for at isolere fejlen. Det havde været hensigtsmæssigt, at Sjælland blev koblet fra Sydsverige på samme tidspunkt, som de interne svenske transmissionsledninger blev afbrudt. Dette skete ikke, da relæerne på Øresundsforbindelsen ikke målte tilsvarende ubalance i systemet, og forbindelsen her blev derfor ikke afbrudt, før spændingen var på nul. Afbrydelse af Øresundsforbindelsen på samme tidspunkt som de interne svenske transmissionsforbindelser ville have krævet mere avancerede måle- og styringssystemer, hvor informationer fra flere områder og systemtilstande bliver integreret. Sådanne systemer er endnu ikke færdigudviklede og kræver herudover en sammenhængende vurdering af hele dimensionerings- og systemdriftsstrategien for det nordiske synkrone område, således at der ikke opstår utilsigtede udkoblinger.
4. I lighed med relæerne på Øresundsforbindelsen registrerede relæerne på de østdanske kraftværker ikke den ustabile situation i det sydsvenske elsystem. Kraftværkerne forblev på nettet og medvirkede til at holde spændingen oppe på Sjælland og i det vestlige Sydsverige. Ud fra dette synspunkt var det hensigtsmæssigt, at kraftværkerne ikke koblede sig fra nettet på dette tidspunkt. Imidlertid var produktionen på de sjællandske kraftværker langt fra tilstrækkelig til at opretholde forsyningen i hele det sydsvenske/østdanske område, og de store kraftværker blev i slutningen af for-

løbet kraftigt overbelastede. Den ustabile situation på dette tidspunkt i forløbet gjorde det vanskeligt for kraftværkerne at komme over i en stabil blok-ø-drift, ligesom der på dette tidspunkt opstod alvorlige skader på Asnæsværkets blok 5. I lyset heraf ville det have været hensigtsmæssigt, hvis kraftværkerne på et tidligere tidspunkt havde koblet sig fra nettet for at gå i stabil blok-ø-drift, også selv om det ville have fremskyndet et spændingskollaps. Situationen afspejler de modstridende hensyn, som skal gennemtænkes og tilgodeses, når beskyttelsesstrategien skal fastlægges. På den ene side er der brug for kraftværkerne til at holde systemet i drift og til at genetablere driftsstabiliteten, på den anden side skal kraftværkerne, inden det er for sent, koble sig fra nettet for at undgå skader og for at kunne gå i stabil blok-ø-drift. I det konkrete hændelsesforløb var beskyttelsesrelæerne på kraftværkerne ikke i stand til at registrere sammenbruddet i nettet før meget sent i forløbet, bl.a. fordi frekvens, spænding og strøm ikke ændrede sig dramatisk på Sjælland i den første del af forløbet. Der er derfor behov for udvikling af beskyttelsessystemer, som også er i stand til at detektere spændingskollaps i det samlede system. Også her er der behov for at se beskyttelsesstrategierne i sammenhæng med den samlede strategi for regulering af elsystemet.

5. Første trin i genopbygning af elforsyningen er at klargøre transmissionsnettet, så det er parat til at blive spændingssat. Elkraft Systems kontrolrum står for klargøringen, der foregår via netselskabernes kontrolrum. Den 23. september tog klargøringen omkring 40 minutter, hvilket er forventeligt, når det delvist foregår manuelt. Det ville være hensigtsmæssigt at kunne forkorte klargøringstiden bl.a. ved etablering af relæer, som ved nulspænding frakobler underliggende net mv.
6. Spændingssætning af transmissionsnettet skete den 23. september via Øresundsforbindelsen. Forsøget på at spændingssætte fra Kyndby mislykkedes som nævnt, på grund af fejl ved begge dødstarts anlæg. Energi E2 har allerede taget skridt til en bedre overvågning af disse anlægs startpålidelighed. Det må herudover overvejes, hvorledes de sjællandske muligheder for spændingssætning af transmissionsnettet kan forbedres, herunder hvilke muligheder der er for spændingssætning fra kraftværker i blok-ø-drift. Endelig må det vurderes, om det er hensigtsmæssigt at etablere særlige anlæg til spændingssætning fra dødt net.
7. Genopbygningen af elforsyningen skete i takt med, at de sjællandske kraftværker blev koblet på nettet, idet det kun i meget begrænset omfang var muligt at få effekt fra Sverige. Genopbygningen blev på denne måde forholdsvis langstrakt, og den ville være sket hurtigere, såfremt nogle af kraftværkerne var gået i stabil blok-ø-drift, eller Kontek-forbindelsen til Tyskland havde været i drift under strømafbrydelsen. Der var ikke nævneværdige problemer i forhold til netselskabernes tillastning af forbrugere, men Elkraft System vil sammen med netselskaberne og myndighederne gennemgå principperne for genopbygningen med henblik på at sikre den rette prioriteringsrækkefølge ved afkobling og tillastning af forbrugere.
8. Kommunikation mellem Elkraft Systems kontrolrum og de forskellige kontrolrum hos Energi E2, kraftværkerne og netselskaberne fungerede uden store problemer, men strømafbrydelsen afslørede u hensigtsmæssigheder, som bør rettes. Tilsvarende fungerede kommunikationen med offentligheden på selve dagen fornuftigt, mens der var problemer med kommunikationen mellem Elkraft System og netselskaberne med hensyn til information til forbrugerne. Også dette bør justeres.

Strømafbrydelsen den 23. september understreger, hvor væsentligt det er med tilstrækkelig produktion i nærheden af elforbrugscentrene, i det konkrete tilfælde i Sydsverige. I Østdanmark har Elkraft System valgt at sikre, at der til stadighed er en positiv effektbalance. Afbrydelsen demonstrerede også, hvor vigtigt det er med stærke transmissionsforbindelser. Der er derfor behov for at se på, hvordan nye transmissionsforbindelser kan medvirke til at forstærke forsyningssikkerheden i området.

Strømafbrydelsen giver ligeledes grund til at overveje, om udviklingen af elmarkedet giver ændrede vilkår for systemdriften. Der er således behov for at vurdere og i fornødent omfang justere den samlede pakke af tekniske forskrifter for net og produktionsanlæg samt den nordiske systemdriftsaftale.

2.3. Det videre arbejde

Det videre arbejde med at mindske risikoen for lignende strømafbrydelser i fremtiden foregår primært i et samarbejde mellem Elkraft System, netselskaberne i Østdanmark, de østdanske elproducenter, de øvrige systemansvarlige i Norden samt de danske myndigheder, herunder især Energistyrelsen. I dette samarbejde vil bl.a. ovennævnte punkter blive taget op. Desuden vil behovet for en forsknings- og udviklingsindsats blive vurderet.

Specielt kan fremhæves:

- I det nordiske samarbejde mellem de systemansvarlige selskaber, Nordel, har man besluttet at gennemgå de driftsmæssige og planlægningsmæssige forskrifter og aftaler i sammenhæng for at vurdere, om de er tidssvarende.
- I en arbejdsgruppe ledet af Energistyrelsen analyseres i øjeblikket rammerne for forsyningssikkerheden, herunder en Storebæltsforbindelse. I arbejdsgruppen deltager begge de danske systemansvarlige selskaber.
- Der er iværksat en gennemgang af det østdanske transmissionsnet blandt andet med henblik på at identificere og eventuelt forstærke sårbare punkter.
- Elkraft System vil i samarbejde med netselskaberne se på håndteringen af transmissionsnettet og vil forbedre beredskabet i forhold til større driftsforstyrrelser i elsystemet, herunder prioriteringen af afkobling og tillastning af forbrugere.
- Elkraft System vil endvidere sammen med elproducenterne, herunder især Energi E2, se på det samlede regime vedr. systemdrift og beskyttelsessystemer. Som et væsentligt element indgår de krav og forventninger, som stilles til de centrale kraftværkers muligheder for blok-ø-drift, spændingssætning af net og egenbeskyttelse over for fejl. Opgaven hænger tæt sammen med arbejdet i nordisk regi.
- I Elkraft System vil beredskabet i forhold til større driftsforstyrrelser blive gennemgået i lyset af erfaringerne fra den 23. september. Bl.a. vil det blive sikret, at Elkraft Systems hjemmeside kan fungere effektivt, også under strømsvigt, som rammer Elkraft Systems bygninger.

- En generel status for arbejde med forsyningssikkerheden vil blive givet i den kommende systemplan fra Elkraft System. En status for arbejdet omkring beskyttelsessystemerne i transmissionsnettet og på kraftværkerne vil blive givet i næste års transmissionsplan. Endelig skal opgaverne ses i sammenhæng med myndighedernes generelle arbejde med det danske beredskab.

3. Gennemgang af hændelsesforløbet

3.1. Udgangssituationen 23. september 2003

Udgangssituationen var præget af vedligeholdsarbejder i transmissionsnettet og på kraftværkerne, hvilket er normalt for årstiden:

- o Jævnstrømsforbindelsen fra Sjælland til Tyskland (Kontek) var ude af drift på grund af planlagt vedligehold. Hertil kommer, at flere 132 kV ledninger og en 400 kV ledning i Østdanmark var ude af drift af forskellige årsager. Ingen af disse ledninger havde nogen betydning for hændelsesforløbet.
- o I Østdanmark var Asnæsværkets blok 4 i mølpose. Avedøreværkets blok 1 var til revision, og Amagerværkets blok 1 var havareret.
- o Begge jævnstrømsforbindelser fra Sydsverige til kontinentet (Swepol Link og Baltic Cable) var ude af drift på grund af planlagt vedligehold.
- o I det svenske transmissionsnet var to 400 kV ledninger udkoblet af hensyn til revision og vedligeholdsarbejder. Det drejer sig om ledningen Strömma-Horred-Breared på den svenske vestkyst og ledningen Hallsberg-Kimstad, der forbinder Mellem- og Sydsverige.
- o Hvad angår svenske kraftværker, var Barsebäck blok 2 og Oskarshamn blok 1 og 2 ude af drift på grund af forlænget vedligehold. Endvidere var Karlshamn-værket ude af drift.

Disse forhold var taget i betragtning ved driftsplanlægningen, således at systemet inden driftsforstyrrelserne var i driftssikker tilstand.

Umiddelbart før strømafbrudelsen producerede kraftværkerne i Østdanmark ca. 1.800 MW, mens produktionen på vindmøllerne var ca. 450 MW. Dette dækkede et forbrug i Østdanmark på ca. 1.850 MW og en markedsbestemt eksport til Sverige på ca. 400 MW.

I Østdanmark var den samlede driftsklare kapacitet på dette tidspunkt i alt ca. 3.300 MW, som ud over forbrug og eksport også dækkede reserver på 775 MW. I Østdanmark var der således rigelig produktionskapacitet til at klare et vilkårligt dimensionerende¹ udfald.

I Sydsverige var forbruget før strømafbrudelsen 3.000 MW. Svenska Kraftnäts vurdering er tilsvarende, at driftssikkerheden i Sverige var normal, og at nettet var lavt belastet med store marginer til de fastsatte grænser.

¹ Når driften af elsystemet planlægges, tages der hensyn til, at elsystemet efter en rimelig tid kan bringes tilbage til en driftssikker tilstand efter udfald af ét vilkårligt net- eller produktionsanlæg (n-1). En driftssikker tilstand betyder her, at næste fejl kan tåles. Dette dimensioneringskriterium er det samme, som danner basis for Nordels systemdriftsaftale.

3.2. Kl. 12.30 - Blok 3 på Oskarshamn kobles ud

Problemer med en ventil i fødevandskredsløbet på Oskarshamn blok 3 betød, at blokken måtte nedreguleres, hvilket endte med et hurtigt stop. Hermed forsvandt ca. 1.200 MW elproduktion.

Som konsekvens af den uventede mangel på produktion faldt frekvensen i det synkrone Nordelnet. Den faldende frekvens aktiverede de momentane driftsforstyrrelsesreserver, hvorved frekvensfaldet blev stoppet, og frekvensen blev stabiliseret på ca. 49,9 Hz, hvilket er en helt normal konsekvens af et større bortfald af produktion. Der blev ikke registreret unormale spændinger i det østdanske elsystem.

Systemet er dimensioneret til at kunne tåle et udfald af et kraftværk ved automatisk at øge produktionen på andre kraftværker. Dette skal ske inden for 15 minutter. Det skete også – produktionen fra andre værker blev øget (aktivering af momentan driftsforstyrrelsesreserve) i Nordsverige, Norge, Finland og Danmark. Systemet reagerede således, som det skulle, på at Oskarshamn blok 3 lukkede.

3.3. Kl. ca. 12.35 - Kortslutning - Ringhalsblokke kobles fra nettet

Næste hændelse skete allerede fem minutter efter den første hændelse: I en 400 kV koblingsstation (Horred) i det sydsvenske transmissionsnet skete der en dobbelt samleskinnefejl som følge af mekanisk svigt i en adskiller. Det bevirkede, at fire 400 kV transmissionsledninger blev koblet ud. To af de udkoblede ledninger udgjorde en vigtig forbindelse mellem Syd- og Mellemsverige. De to andre udkoblede ledninger forbandt Ringhals blok 3 og 4 med transmissionsnettet, hvorfor blokkene mistede forbindelsen til elsystemet. Da disse fire forbindelser blev afbrudt, steg overførslen af energi på de resterende forbindelser. Det lykkedes for Ringhals blok 4 at gå i blok-ø-drift. Frakoblingen af Ringhalsblokkene betød, at systemet mistede yderligere ca. 1.800 MW produktion.

En femte 400 kV ledning til stationen forblev indkoblet, men den havde ikke forbindelse til andre ledninger i stationen og var derfor virkningsløs i det videre forløb.

Presset på de resterende forbindelser mellem Syd- og Mellemsverige, der transporterer energi i nord-sydgående retning, steg. Dette blev forværret, da der skete yderligere opregulering på kraftværkerne i Nordsverige, Norge og Finland.

Spændingen begyndte at falde som konsekvens heraf. Den faldt meget i Sydsverige og en del mindre i Østdanmark, bl.a. fordi kraftværkerne i Østdanmark hjalp med at holde spændingen oppe lokalt. Spændingsfaldet blev forstærket af, at transmissionsnettet var blevet alvorligt svækket ved udkoblingen af 400 kV ledningerne i den fejlramte koblingsstation.

3.4. Forløbet fra kl. 12.35 til 12.37

I perioden mellem 12.35 og 12.37 skete der en række hændelser i elsystemet. Det startede som nævnt med, at der kl. 12.35 skete en dobbelt samleskinnefejl i en 400 kV koblingsstation (Horred) i det sydsvenske transmissionsnet. Det sluttede med, at spændingen faldt til nul kl. 12.37, og Østdanmark og Sydsverige var uden forsyning.

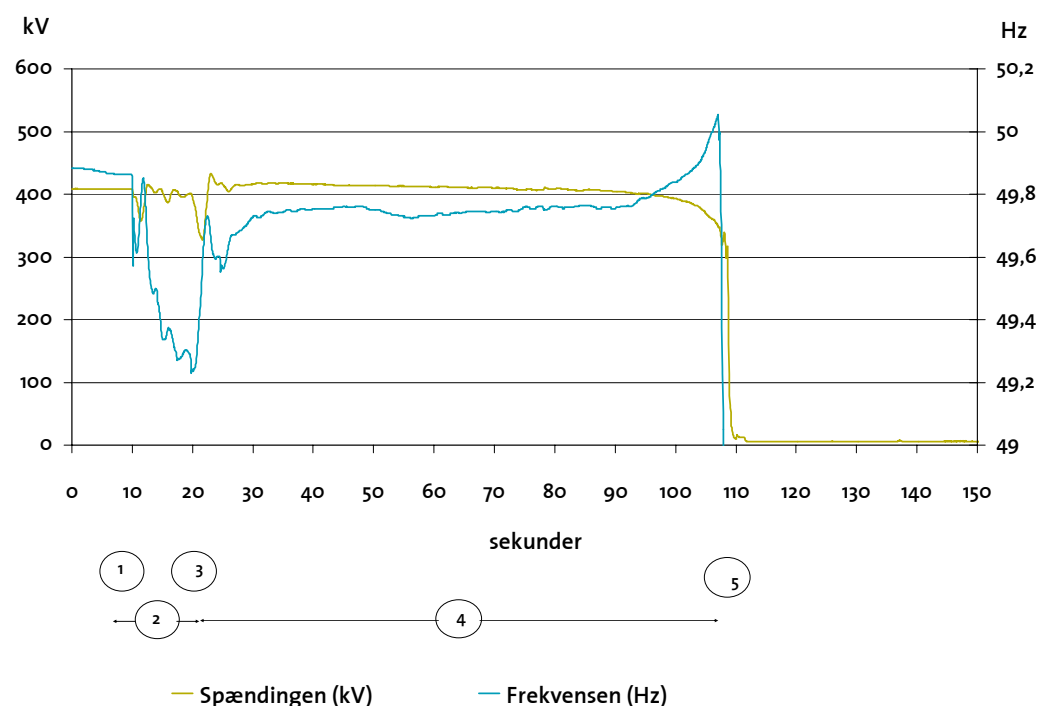
For at få et fuldstændigt billede af hændelsesforløbet er det nødvendigt at betragte udviklingen i spænding (kV), frekvens (Hz), effekt (MW) og reaktiv effekt (Mvar). Forløbet kan opdeles i fem faser (se figur 1). Disse er gennemgået nedenfor.

Fase 1 og 2: Kortvarigt spændingsdyk og frekvenssvingninger

Det fremgår af figur 1a, at frekvensen før fejlen i Horred koblingsstation var ca. 49,9 Hz, og spændingen i Söderåsen knap 410 kV.

Fejlen i Horred og udkoblingen af Ringhalsblokkene og de fire 400 kV ledninger i Sverige (fase 1) betød, at spændingen dykkede kortvarigt. Samtidigt begyndte frekvensen at falde.

Under faldet svingede frekvensen op og ned i ca. 10 sekunder (fase 2), fordi de østdanske kraftværker svingede mod kraftværkerne i Norge, Sverige og Finland. Svingningerne, som ofte kaldes pendlinger, blev hurtigt dæmpet til relativt små frekvenssvingninger, som ikke gav anledning til udkobling af Øresundsforbindelsen.



Figur 1a. Variationer i spændingen (kV) og frekvensen (Hz) under fejlforløbet fra kl. ca. 12.35 til kl. 12.37. Værdierne er målt ved Söderåsen på 400 kV forbindelsen over Øresund.

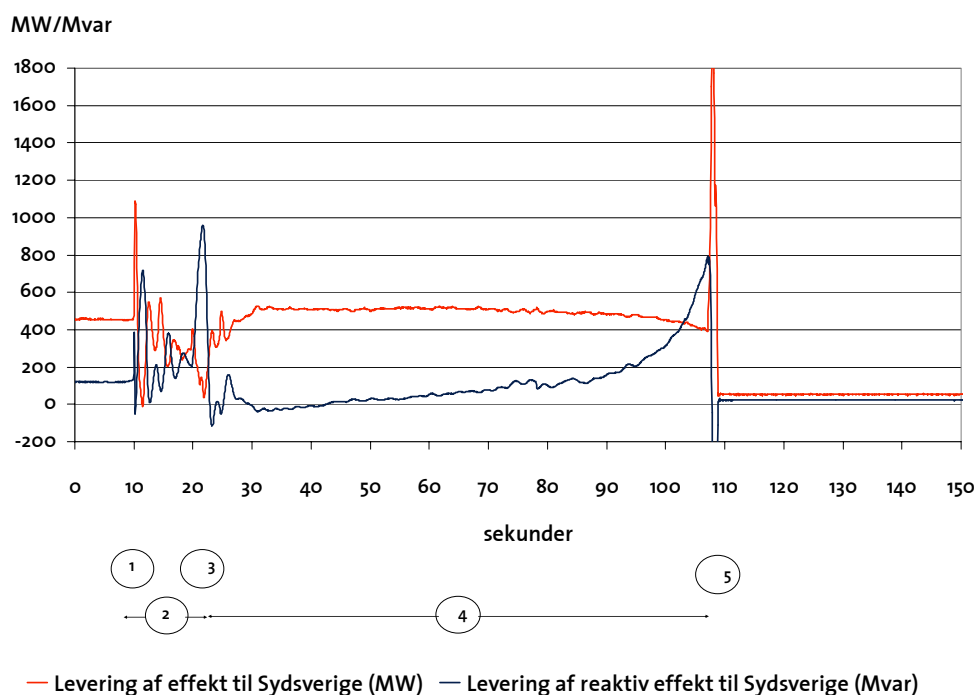
Frekvensen bliver i normale situationer holdt på 50 Hz og er ens overalt i det nordiske synkrone system. Udsving i frekvensen håndteres på forskellig måde afhængig af størrelsen af udsvinget. Ved mindre udsving i denne balance anvendes frekvensreguleringsreserver og driftsforstyrrelsesreserver, hvor aktivering sker ved, at anlæggene automatisk op- og nedregulerer elproduktionen. Ved større frekvensfald sker der desuden en automatisk bortkobling af forbrugere.

Produktionen af **effekt (MW)** på anlæggene aktiveres bl.a. på basis af udsvinget i frekvensen.

Spændingen i det overordnede transmissionsnet er 400 kV eller 132 kV. Spændingen kan variere, afhængigt af lokale forbrugs-, produktions- eller transmissionsforhold. Der kan derfor være forskel på målinger af spændingen i forskellige punkter. I Söderåsen tilstræbes spændingen i 400 kV nettet holdt på ca. 415 kV. Spændingen reguleres med reaktiv effekt.

Produktionen af **reaktiv effekt (Mvar)** kan foregå på centrale værker samt i et vist omfang på netkomponenter. Produktionen aktiveres på basis af udsving i spændingen. Spændingen varierer i et sammenhængende elsystem, og derfor er der behov for, at produktionen af reaktiv effekt sker jævnt fordelt i systemet. Øgning af den reaktive effekt, f.eks. i situationer med driftsforstyrrelser, skal derfor ske lokalt og tæt på driftsforstyrrelsen for at have den største effekt.

Svingningerne i frekvensen blev modsvaret af svingninger i den effekt (MW) og den reaktive effekt (Mvar), som de østdanske kraftværker leverede via Øresundsforbindelsen (se figur 1b).



Figur 1b. Variationer i levering af effekt (MW) og reaktiv effekt (Mvar) til Sydsverige under fejlforløbet fra kl. ca. 12.35 til kl. 12.37. Værdierne er målt ved Söderåsen på 400 kV forbindelsen over Øresund.

Fase 3: Lille spændingsdyk i Østdanmark – stort spændingsdyk i Sydøstsvrige

Ca. 10 sekunder efter fejlen i Horred steg frekvensen hurtigt til godt 49,7 Hz. Samtidigt forekom endnu et kortvarigt spændingsdyk i Østdanmark (målt ved Øresundsforbindelsen). Spændingsdykket skyldtes, at et antal 130 kV ledninger og en 220 kV ledning i Sverige blev udkoblet, formodentligt på grund af store overbelastninger som følge af udkoblingen af 400 kV ledningerne i Horred koblingsstation.

For Sydsverige betød udkoblingen af 130 kV ledningerne og 220 kV ledningen, at spændingen i et stort område i det sydøstlige Sverige blev halveret. Mangel på kapacitet til at regulere spændingen i Sydsverige og svækkelsen af transmissionsnettet gjorde det umuligt at genoprette spændingen. Som konsekvens af den meget lave spænding i dette område faldt elforbruget i området kraftigt - ikke som følge af udkobling af forbrug, men fordi forbrugerne selv holdt op med at bruge effekt, da spændingen blev for lav (dette gælder primært motorer o.l.). Dette fald i elforbruget var årsagen til, at frekvensen hurtigt steg til 49,7 Hz.



Figur 2. Nettets koblingstilstand ca. 10 sekunder efter kortslutningen i Horred. De udkoblede transmissionsledninger i det svenske stamnet er vist stiplet. Det ses, at kun to 400 kV ledninger på østkysten forbinder Sydsverige med Mellemsverige. Spændingsfaldet hen over disse ledninger bliver meget stort på grund af ledningernes længde kombineret med de store strømme i ledningerne.

Spændingsdykket fik de østdanske kraftværker til at øge leveringen af reaktiv effekt (Mvar) for at opretholde 400 kV spændingen. Det var især Asnæsværkets blok 5 og Avedøreværkets blok 2, der øgede leverancen, fordi de er koblet direkte til 400 kV nettet. På figur 1b ses, at den mængde reaktiv effekt (Mvar), som blev leveret fra Sjælland til Sverige kortvarigt steg fra ca. 300 Mvar til godt 900 Mvar. Selvom dette var en kraftig stigning, var den dog ikke så stor, at beskyttelsessystemerne på de østdanske kraftværker blev aktiveret. Stigningen medførte heller ikke overbelastning af Øresundsforbindelsen.

Fase 4: Langsomt spændingsfald i Østdanmark

Herefter skete der i løbet af ca. 80 sekunder et langsomt spændingsfald i Østdanmark (målt på Øresundsforbindelsen). I det sydøstlige Sverige var spændingsfaldet væsentligt større.

Årsagen til, at der på det tidspunkt kun var et mindre spændingsfald i Sydvestsverige (målt på Øresundsforbindelsen) var, at den elektriske forbindelse mellem Sydvest- og Sydøstsverige var så lang, at spændingsfaldet kun i begrænset omfang kunne brede sig. Ud over den lange afstand var den elektriske forbindelse også blevet svækket ved udfaldet af 400 kV linierne til koblingsstationen i Horred.

Fase 4: Afstandsrelæerne

I Sverige betød kombinationen af den faldende spænding og et stærkt øget flow fra nord til syd gennem det svækkede net, at de såkaldte afstandsrelæer på forbindelserne mellem Syd- og Mellemsverige registrerede situationen som en fjerntliggende kortslutning. Relæerne blev aktiveret, og efter nogen tid blev en række 400 kV ledninger mellem Syd- og Mellemsverige udkoblet. Herefter var der ikke længere elektrisk forbindelse mellem de to områder.

På Øresundsforbindelsen koblede afstandsrelæerne ikke ud, som det skete mellem Syd- og Mellemsverige. Dette skyldtes, at spændingen i den svenske ende af forbindelsen stadig var relativt høj frem til det tidspunkt, hvor afstandsrelæerne på forbindelserne mellem Syd- og Mellemsverige aktiveredes.

Relæbeskyttelsen på Øresundsforbindelserne og i det østdanske transmissionsnet i øvrigt fungerede i overensstemmelse med dimensioneringsprincipperne.

Efter at forbindelserne mellem Syd- og Mellemsverige var koblet ud, dannede Sydsverige, Bornholm samt Sjælland, Møn, Lolland og Falster et sammenhængende delområde uden forbindelse til det øvrige nordiske elsystem. Delområdet havde et stort produktionsunderskud.

Fase 5: De østdanske værker koblede ud – og spændingen faldt til nul

På dette tidspunkt, ca. 90 sekunder efter fejlen i Horred koblingsstation, faldt spændingen til nul på ca. 1-2 sekunder, og hele delområdet var uden forsyning. I starten af fase 5 var de sjællandske kraftværker stadig koblet til transmissionsnettet, og de leverede under kraftig opbremsning meget store effekter. Dette gjaldt specielt Asnæsværkets blok 5 og Avedøreværkets blok 2, som begge blev kraftigt overbelastede, inden de blev frakoblet af blokkenes anlægsbeskyttelse.

Efter spændingen var faldet til nul, blev Østdanmark automatisk koblet fra Sydsverige via nulspændingsrelæer på Øresundsforbindelsen.

Spændingskollapset resulterede i en skade på Asnæsværkets blok 5 (maskintransformeren blev beskadiget) og Avedøreværkets blok 2, som er de to største anlæg på Sjælland. Skaden på Asnæsværkets blok 5 betød, at blokken ikke var i stand til at hjælpe med genopbygningen af elforsyningen. Avedøreværkets blok 2 blev anvendt under genopbygningen, men havarede fem dage efter, sandsynligvis som følge af påvirkningerne under spændingskollapset. Efter en uges tid kom blokken tilbage i drift. Bilag 1 viser forløbet af effekten leveret af Avedøreværkets blok 2 og spændingen målt ved Avedøreværkets blok 2 i perioden fra kl. ca. 12.35 til kl. 12.37.

3.5. Dødstart

Få minutter efter nettet blev spændingsløst kl. 12.37, gik forberedelserne til spændingssætningen i gang. Nettet blev klargjort² til spændingssætning fra Kyndbyværket eller via Øresundsforbindelsen, når forholdene i det svenske net tillod dette. Begge muligheder blev holdt åbne for at kunne udnytte hurtigste mulighed for spændingssætning.

Omkring kl. 13.20 havde netselskaberne frakoblet

- forbrugere og decentral produktion på 10 kV niveau
- 50 kV nettene
- de 400 kV og 132 kV linier, Elkraft System havde beordret udkoblet af hensyn til den reaktive balance.

Kl. 13.30 etablerede Svenska Kraftnät 400 kV forbindelse mellem det norske, nordsvenske og finske samkørende system og Söderåsen, hvor 400 kV Øresundsforbindelserne er tilkoblet. På dette tidspunkt var Kyndbyværket endnu ikke klar til spændingssætning. Se afsnit 4.1 for yderligere detaljer.

Kl. 13.41 gav Svenska Kraftnät tilladelse til at spændingssætte det sjællandske net via en 400 kV Øresundsforbindelse.

Kl. 13.46 kobledes 400 kV forbindelsen Söderåsen-Hovegård ind, hvorved det sjællandske 400 kV og 132 kV net blev spændingssat.

Spændingerne i det sjællandske system var svingende, da der ikke var spændingsregulerende anlæg tilkoblet nettet på Sjælland. Svenska Kraftnät gav efter anmodning fra Elkraft System tilladelse til, at Sjælland kunne importere op til 200 MW.

Kl. 13.54-14.14

Netselskaberne fik tilladelse til at koble forbrug svarende til ca. 150 MW ind. De sidste 50 MW blev reserveret til margin for at undgå at koble forbrugere ud igen, som havde fået strøm, hvis det tilkoblede forbrug skulle vise sig at være højere, end netselskaberne havde forudset.

² Klargøringen af transmissionsnettet indebærer bl.a., at det samlede 400 og 132 kV transmissionsnet er frakoblet hovedparten af elforbruget, og at nettet har en reaktiv balance, der gør det muligt at spændingssætte nettet fra et kraftværk eller fra Sverige.

Herefter var det ikke muligt at give netselskaberne tilladelse til at tilkoble flere forbrugere, før de sjællandske kraftværker var koblet på nettet igen.

3.6. Genopbygning

Genopbygningen afventede derefter, at der blev tilkoblet produktionsanlæg, som kunne hjælpe med at stabilisere spændingen og opretholde en rimelig reaktiv balance over for det svenske system. Da de små decentrale kraftvarmeværker ikke har disse egenskaber, kunne disse først kobles ind senere, da betingelserne for deres drift var til stede. Det samme gælder de store havmølleparker.

Den senere indkobling af disse anlæg skyldes også, at det østdanske elsystem i dag er bygget op på en sådan måde, at der først skal være spænding på højspændingsnettet, og det skal være stabilt, før hovedparten af de decentrale værker og vindmøller kan kobles til nettet på lavere spændingsniveauer.

Efter spændingen var vendt tilbage kl. 13.47, udarbejdede Energi E2 en opstartsplan for deres kraftværker. Planen indeholdt opstartstiderne for hver blok udarbejdet på baggrund af værkernes estimer for, hvor lang tid de skulle bruge for at komme på nettet. For langt de fleste blokke blev denne plan fulgt. I forvejen foreligger der for den enkelte kraftværksblok opstartstider, der afhænger af, hvor længe blokken har været ude. Disse tider er angivet under forudsætning af, at blokken er blevet lukket ned kontrolleret og ikke pludselig er faldet ud, som det skete den 23. september 2003. Derfor kunne de normale opstartstider ikke anvendes som estimer på varigheden af genopbygningen.

Kl. 14.15, ca. en halv time efter spændingssætningen, blev Kyndbyværkets blok 22 synkroniseret ind.

Kl. 14.16 meddelte Svenska Kraftnät, at der højst måtte importeres 100 MW fra det svenske system.

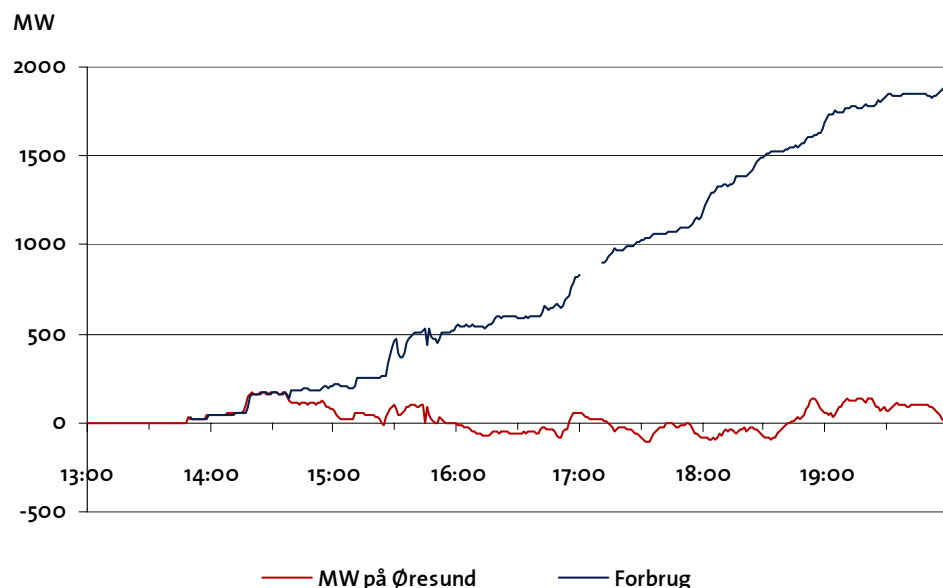
Kyndbyværkets blok 22 øgede efter indkoblingen produktionen med ca. 3 MW pr. minut. I takt hermed blev den tilgængelige produktion fordelt mellem netselskaberne, så de udmeldte grænser for træk fra Sverige kunne overholdes. Øresundsforbindelsens rolle i denne periode var således primært at skabe frekvensstabilitet. Uden sammenkoblingen med det nordiske system ville frekvensen have svinget meget.

Som dagen skred frem, blev de termiske produktionsenheder startet og synkroniseret ind:

14.57	Masnedøværkets blok 31
15.21	Kyndbyværkets blok 52
15.22	Kyndbyværkets blok 51
15.34	Kyndbyværkets blok 21
16.45	Amagerværkets blok 3
17.28	Stignæsværkets blok 1
17.46	Svanemølleværkets blok 7
17.53	Avedøreværkets blok 2, dampturbinen
18.25	Asnæsværkets blok 2
19.12	Avedøreværkets blok 2, gasturbine 1
20.10	Avedøreværkets blok 2, gasturbine 2

21.05	H.C. Ørsted Værkets blok 5
21.22	Stignæsværkets blok 2
22.07	Amagerværkets blok 1

Indkoblingen af forbrugerne skete i takt med, at de østdanske kraftværker blev koblet på nettet.

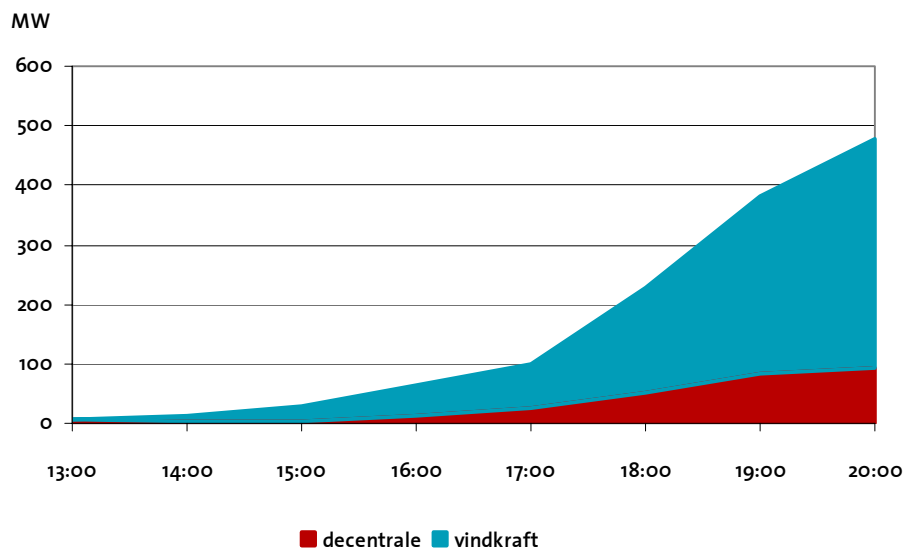


Figur 3. Elforbrug og udveksling på Øresund under opkørslen den 23. september 2003 (positive værdier er import fra Sverige til Østdanmark).

SEAS fik tilladelse til at koble Nysted vindmøllepark ind lidt ad gangen, efter at Masnedøværkets blok 31 var synkroniseret på nettet, og spændingerne på Lolland var stabile. Tilsvarende fik Københavns Energi tilladelse til at koble vindmølleparken på Middelgrunden ind lidt ad gangen, da Amagerværkets blok 3 var synkroniseret ind på nettet og dermed kunne regulere spændingen i København.

Enkeltstående vindmøller startede, når de selv havde målt normal spænding og frekvens i 5 - 10 minutter, ligesom nogle af de små decentrale kraftvarmeværker blev startet manuelt, når den 10 kV forbindelse, de er tilkoblet, var spændingssat.

Produktion fra vindmøller og decentrale værker under genopbygningen kan ses på figur 4.



Figur 4. Produktionen fra vindmøller og decentrale værker under genopbygningen den 23. september 2003.

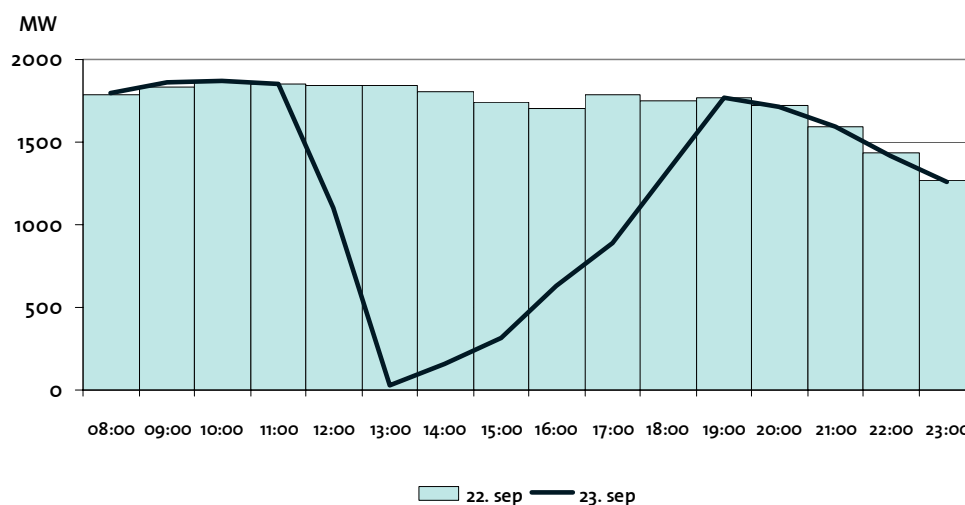
3.7. Bornholm

Bornholm, som har et kraftværk i Rønne samt et 60 kV kabel til Sydsverige, blev også ramt af spændingskollapset. Østkraft var i stand til inden for 12 minutter at starte fra dødt net via dieselanlægget i Rønne. Herved kunne 40 pct. af forbruget dækkes, mens øen var i ø-drift. Omkring kl. 16 blev øen forbundet til Sverige, hvorved de resterende forbrugere på Bornholm kunne kobles på. De øvrige blokke på Bornholm var ikke i drift før strømafbrydelsen og nåede på grund af den lange starttid fra koldt anlæg ikke at komme i gang, før forbindelsen til Sverige var genetableret.

3.8. Den ikke-leverede energi

Strømafbrydelsen betød, at ca. 2,4 mio. mennesker var uden strøm fra kl. 12.37 og op til 7 timer herefter. Der blev momentant udkoblet ca. 1.850 MW forbrug i Østdanmark omkring kl. 12.37.

Ved at sammenholde forskellen i elforbruget den 22. september og den 23. september i den tidsperiode, hvor strømafbrydelsen påvirkede elforbruget, kan den forventede ikke-leverede energi beregnes til ca. 8 GWh. Forskellen er illustreret i figur 5.



Figur 5. Elforbruget i Østdanmark fra kl. 8 til kl. 23 den 22. og 23. september 2003. Forskellen mellem stolperne i diagrammet og den fuldt optrukne linie udgør den forventede ikke-leverede energi.

3.9. Systemets tilstand ultimo september 2003

I forbindelse med spændingskollapset blev Asnæsværkets blok 5 skadet. Blokken er stadig primo november ude af drift.

I løbet af natten mellem den 23. og 24. september faldt forbruget til et minimum på ca. 1.200 MW, og med en driftsklar kapacitet på ca. 2.600 MW var der på det tidspunkt rigeligt til at dække forbrug og driftsreserver.

Søndag den 28. september havarerede Avedøreværkets blok 2, sandsynligvis som følge af påvirkningerne under spændingskollapset. Dette medførte en reduktion i produktionskapaciteten, og effektbalancen blev anstrengt. Da det var søndag med et relativt lavt forbrug, betød reduktionen dog, at effektbalancen stadig var positiv. Efter en uges tid kom blokken tilbage i drift.

Tirsdag den 30. september blev Asnæsværkets blok 4 på 250 MW taget ud af mølpose, hvilket forbedrede effektbalancen. På dette tidspunkt var der således et mindre overskud af produktionskapacitet og et stabilt system med mulighed for både import og eksport.

4. Særlige emner

4.1. Spændingssætning af transmissionsnettet

Spændingssætning af det østdanske transmissionsnet kan enten ske ved hjælp af Øresundsforbindelsen, fra et kraftværk, der er designet til at kunne starte op uden spænding udefra, eller fra en kraftværksblok i blok-ø-drift. Den 23. september blev Øresundsforbindelsen anvendt.

Klargøring af nettet

Når nettet skal gøres klart til at blive spændingssat, skal alle forbrugs- og produktionsenheder kobles fra nettet. Formålet er at sikre, at der i det øjeblik, man begynder at sætte spænding på - enten fra et kraftværk på Sjælland eller via Øresundsforbindelsen - hele tiden er balance mellem forbrug og produktion. Noget af klargøringen sker automatisk, mens andet foretages manuelt efter beordring fra Elkraft Systems kontrolrum.

Spændingssætning fra Sverige

Det sjællandske net kan spændingssættes fra Sverige via en 400 kV forbindelse eller via en 132 kV forbindelse. Det er at foretrække at benytte en 400 kV forbindelse, da disse er stærkere end 132 kV forbindelserne.

Hvis det sjællandske net skal spændingssættes fra Sverige, kræver det, at Svenska Kraftnät er indforstået, at spændingen i Sverige er stabil, samt at der er et overskud af produktionskapacitet i Sverige.

Spændingssætning fra Sverige er normalt den mulighed, der prioriteres højest, da den anses for at være den hurtigste og sikreste. Bl.a. får det østdanske elsystem fordel af samkøring med det øvrige nordiske system, som kan holde frekvensen.

Dødstart fra Kyndby

Kyndbyværket er i realiteten³ det eneste kraftværk på Sjælland, der er designet til at kunne dødstarte. Der er to muligheder for dødstart på Kyndbyværket:

1. Start af blok 21 (KYV21) ved hjælp af dieselanlægget (KYV41) og evt. KYV51 eller KYV52
2. Start af blok 22 (KYV22) ved hjælp af to gasturbiner (GTo og KYV51 eller KYV52)

Efter at det sjællandske net var blevet spændingsløst, blev dieselanlægget startet manuelt for at kunne bruges til at starte en af blokkene (KYV21). Under opstarten af KYV21 viste det sig, at reguleringsudstyret på dieselanlægget var defekt⁴, og det var derfor ikke muligt at holde frekvensen tilstrækkelig stabil til at starte KYV21. Dermed var betingelserne ikke til stede for at spændingssætte det sjællandske net ved hjælp af dieselanlægget.

Da der senere var gjort klart til at forsøge at dødstarte ved hjælp af de to gasturbiner, GTo og KYV51, var det sjællandske net allerede blevet spændingssat fra Sverige. Man forsøgte derefter at starte GTo, men det viste sig, at denne var havareret (et printkort i styresystemet var brændt af). Da der ikke var installeret fjernovervågning af sådanne fejl, var dette ikke blevet registreret. Der er efterfølgende installeret en sådan fjernovervågning.

³ Dieselgeneratoren på H.C. Ørsted Værket kan under meget specielle/gunstige forhold også benyttes som dødstartsmulighed.

⁴ Under det første frekvensfald kl. 12.30 da Oskarshamnværkets blok 3 faldt ud, startede Kyndbyværkets dieselgenerator (KYV41) automatisk op, som den skulle. Da blokken dermed var koblet på nettet under spændingskollapset, blev den også udsat for de store påvirkninger, som spændingskollapset medførte.

Det er Energi E2's erfaring⁵, at det er realistisk at spændingssætte et spændingsløst net fra Kyndbyværket på ca. halvanden time ved hjælp af dieselanlægget og på ca. to timer ved hjælp af de to gasturbiner. Dette er under den forudsætning, at alt fungerer efter planen, og der ikke opstår nogen havarier. Energi E2 vurderer, at hvis dieselanlægget havde fungeret den 23. september, ville Kyndbyværkets blok 21 have været i stand til at spændingssætte det sjællandske net omkring kl. 14.30.

Spændingssætning fra en kraftværksblok i blok-ø-drift

De sjællandske kraftværker er indstillet til at koble fra nettet ved store udsving i frekvensen. Kraftværkerne er ikke på samme måde indstillet til at koble sig selv ud ved lave spændinger. Årsagen er, at det ikke i alle situationer er en fordel, at værkerne kobler ud ved lave spændinger. At en kraftværksblok registrerer lav spænding i nettet, kan for eksempel skyldes en kortslutning i nettet i nærheden, som varer få millisekunder. I sådanne situationer er det ikke hensigtsmæssigt for forsynings sikkerheden, at kraftværksblokken kobles af nettet. Sådanne som frekvensen og spændingen i det sjællandske net udviklede sig den 23. september, koblede kraftværkerne sig først fra nettet sent i forløbet, hvilket gjorde overgangen til blok-ø-drift vanskeligere end ellers. Det lykkedes for fire ud af ti af de centrale sjællandske kraftværksblokke at gå i blok-ø-drift, men kun kortvarigt, hvorefter de faldt helt ud.

Muligheden for at spændingssætte det sjællandske net fra en af de centrale kraftværksblokke i blok-ø-drift har aldrig været afprøvet i praksis. Det skal derfor revurderes, om denne mulighed er realistisk og i givet fald under hvilke forudsætninger.

4.2. Tilkobling af forbrugere

Forbrugerne er ikke koblet direkte til transmissionsnettet, og derfor er det netselskaberne, som i praksis kan udføre afkobling og tilkobling af forbrugere.

Ved retableringen af normal forsyning giver Elkraft System netselskaberne tilladelse til indkobling af forbrug. Det sker med udgangspunkt i fastlagte rutiner, som er baseret på en opdeling af forbruget i 10 trin, hvert bestående af 10 pct. af det samlede forbrug. Netselskaberne forestår selv prioriteringen af tilkobling inden for deres eget forsyningsområde.

Tilkoblingen af forbrugere den 23. september forløb tidsmæssigt således:

- | | |
|-------|---|
| 13.54 | Københavns Energi får tilladelse til at tillaste 50 MW. |
| 14.13 | NESA får tilladelse til at tillaste 50 MW. |
| 14.14 | SEAS får tilladelse til at tillaste 25 MW. |
| 14.14 | NVE får tilladelse til at tillaste 25 MW. |

Den resterende tillastning fra trin 10 til trin 1 foregik i rækkefølgen beskrevet i skemaet på næste side.

⁵ Dette har været afprøvet på en mindre del af nettet.

	Trin 10	Trin 9	Trin 8	Trin 7	Trin 6	Trin 5	Trin 4	Trin 3	Trin 2	Trin 1
NESA ¹⁾	15.32	15.44	16.51	17.33	17.58	18.11	18.21	18.35	18.45	19.02
SEAS	15.25	16.13	- ³⁾	17.36	18.00	18.19	18.28	18.35	18.47	19.05
KE	14.57	15.41	16.34	17.29	18.02	18.16	- ³⁾	18.34	18.46	19.02
NVE ²⁾	-	-	-	15.37	-	-	18.29	18.36	18.47	19.01

¹⁾Frederiksberg Elnet er inkluderet i NESAs tillastninger. ²⁾Af hensyn til den reaktive balance i transmissionsnettet fik NVE tidligt 25 MW, svarende til trinene 10 til 8. Tillastningen i trin 7 dækker også trin 6 til 5. ³⁾Manglende tidsregistrering.

Både afkobling og den efterfølgende tilkobling af forbrug skete under hensyntagen til prioritering af kunde grupper med særlig samfundsinteresse. Det generelle billede er, at tilkoblingen fungerede som planlagt, men der har også vist sig behov for at gennemgå, hvorvidt de nuværende rutiner er hensigtsmæssige.

4.3. Kommunikation til offentligheden

Elkraft System har et informationsberedskab, som sættes i værk i tilfælde af større strømafbrydelser, som den der skete den 23. september. Som led heri sikrer instrukser i kontrolrummet, at myndigheder hurtigst muligt bliver underrettet ved større strømafbrydelser eller forventninger herom. Derefter underrettes de primære medier med henblik på at give befolkningen hurtigst mulig information om strømafbrydelsens omfang, varighed og årsag.

For at evaluere og revidere informationsberedskabet efter strømafbrydelsen den 23. september har Elkraft System spurgt myndigheder, presse, storkunder samt net- og produktionsselskaber om deres erfaringer med Elkraft Systems informationsindsats under og efter strømafbrydelsen. Arbejdet skal give baggrund for at forbedre kommunikationen under en tilsvarende begivenhed.

Informationsindsats og hovedkonklusioner

Kommunikationsindsatsen levede i det store og hele op til den primære hensigt om gennem pressen at informere befolkningen hurtigst muligt om omfang, varighed og årsag til strømafbrydelsen. Dog med det forbehold, at genopretningen af elforsyningen kom til at tage længere tid end antaget i starten, og at Elkraft System ikke kendte den egentlige årsag til strømafbrydelsen før først på aftenen. Derfor kunne der ikke gives præcise informationer om varighed og årsag i forløbets start.

I overensstemmelse med informationsberedskabet informerede Elkraft Systems kontrolrum Københavns Politi, nogle få minutter efter strømafbrydelsen var konstateret, og politiet informerede herefter Radioavisen og DR's regionalradioer på Sjælland. Herefter blev Radioavisen og Ritzau informeret som de vigtigste i de første hektiske timer, idet disse medier har den bredeste dækning. I parentes bemærket udstationerede Radioavisen en medarbejder hos Elkraft System under strømafbrydelsen. Sekundært blev andre medier serviceret, idet radio, TV og øvrige elektroniske medier blev prioriteret før de trykte. Ligeledes ud fra hensynet til dækningsgrad blev TV-avisen og TV2 Nyhederne prioriteret, bl.a. via direkte interviews fra Elkraft Systems bygninger.

Dagen efter strømafbrydelsen holdt Elkraft System et pressemøde, hvor årsagen til strømsvigtet og forløbet af genopretningen af elforsyningen i Østdanmark blev gennemgået.

En rundspørge til de journalister på landsdækkende medier, der på dagen dækkede den tekniske side af strømsvigtet, viser generelt tilfredshed med Elkraft Systems tilgængelighed og servicering.

Også kontakten til myndighederne forløb godt, bl.a. fordi Elkraft System "udstationerede" en medarbejder på Politigården i København som led i det generelle beredskab. Politiet har oplyst, at presset på alarmcentralen lettede i takt med, at informationerne nåede befolkningen.

Strømafbrydelsen belyste en række forhold i informationsberedskabet, der kan forbedres og gøres mere hensigtsmæssige. De to vigtigste er:

1) Kommunikationen med netselskabernes informationsansvarlige var ikke optimal. Gennem deres call-centre havde netselskaberne kontakt med forbrugerne, der henvendte sig massivt under strømsvigtet. Derfor er det vigtigt med hurtig og mere præcis information til netselskaberne. Rundspørgen viser, at de informationsansvarlige i netselskaberne er utilfredse med Elkraft Systems informationsindsats over for netselskaberne.

2) I Elkraft Systems bygninger var der tekniske problemer med kommunikationen til offentligheden på grund af manglende strøm. Bl.a. var det ikke muligt at opdatere hjemmesiden under strømafbrydelsen, selv om hjemmesiden var i drift under hele forløbet.

4.4. Jævnstrømsforbindelser

I forbindelse med analyserne af hændelsesforløbet er der stillet spørgsmål vedrørende jævnstrømsforbindelsers (HVDC) mulighed for enten at afværge spændingssammenbruddet eller at reducere varigheden af genetableringen af elforsyningen.

Mere specifikt er spørgsmålene rettet mod den eksisterende jævnstrømsforbindelse fra Sjælland til Tyskland (Kontek⁶) og en eventuel kommende jævnstrømsforbindelse fra Sjælland til det jysk-fynske område (Storebælt).

Jævnstrømsforbindelsers mulighed for at påvirke forløbet under og efter driftsforstyrrelser afhænger af den tekniske løsning. Der findes forskellige tekniske udgaver af jævnstrømsforbindelser med forskellige tekniske egenskaber. I denne sammenhæng kan man inddele jævnstrømsforbindelserne i to typer:

1. HVDC-forbindelser med thyristor-ventiler (CSC-type⁷)
2. HVDC-forbindelser med transistor-ventiler (VSC-type⁸)

I nedenstående tabel sammenlignes de to typer på de egenskaber, som er væsentlige i denne sammenhæng.

⁶ Den 23. september var Kontek-forbindelsen under planlagt revision og vedligehold og kunne derfor ikke anvendes i den aktuelle situation.

⁷ CSC står for Current Source Converter.

⁸ VSC står for Voltage Source Converter.

Type 1 - forbindelse med thyristor-ventiler	Type 2 - forbindelse med transistor-ventiler
Forbindelsen kan kun overføre elektricitet, hvis vekselstrømsnettene i begge ender af forbindelsen har normal spænding. Dette betyder, at forbindelsen ikke kan spændingssætte spændingsløse elnet.	Forbindelsen kan overføre elektricitet, hvis der er spænding og frekvens i den ene ende af forbindelsen. Dette betyder, at forbindelsen kan spændingssætte spændingsløse elnet.
Forbindelsen kan kun overføre elektricitet, hvis der er tilstrækkelig styrke i vekselstrømsnettene. Denne styrke leveres af kraftværker i drift (kortslutningseffekt).	Forbindelsen kræver ikke særlig stor styrke i vekselstrømsnettene.
Forbindelsen har relativt lave elektriske tab.	Forbindelsen har relativt høje elektriske tab.
Forbindelsen kan ikke anvendes til at styre spændingen i et vekselstrømsnet.	Forbindelsen kan anvendes til, i en vis grad, at styre spændingen i tilslutningspunkterne til vekselstrømsnettene.
Forbindelsen kan regulere den overførte elektriske effekt meget hurtigere, end kraftværkerne kan regulere deres produktion.	Forbindelsen kan regulere den overførte elektriske effekt meget hurtigere, end kraftværkerne kan regulere deres produktion.
Afprøvet teknologi. Mange forbindelser.	Ny teknologi. Få forbindelser på højt spændingsniveau.

En forbindelse som type 2 er væsentligt dyrere end en type 1 forbindelse med samme overføringssevne.

Hvis Kontek-forbindelsen havde været i drift, ville den have ophørt med at overføre elektricitet, idet spændingen i vekselstrømsnettet blev for lav (Kontek-forbindelsen, SwePol Link og Baltic Cable er alle jævnstrømsforbindelser af type 1).

Under driftsforstyrrelsen den 23. september 2003 brød spændingen sammen i det sydøstlige Sverige, fordi udfald af højspændingsledninger havde svækket transmissionsnettet i Sverige så meget, at det blev umuligt at overføre tilstrækkelig elektrisk effekt til forbrugerne. Hverken opregulering på kraftværker på Sjælland eller ekstra effekt fra en HVDC-forbindelse fra Sjælland til enten Tyskland eller Jylland-Fyn kunne have afværget dette spændingssammenbrud i Sverige. Dette gælder, uanset om det var en type 1 eller en type 2 forbindelse.

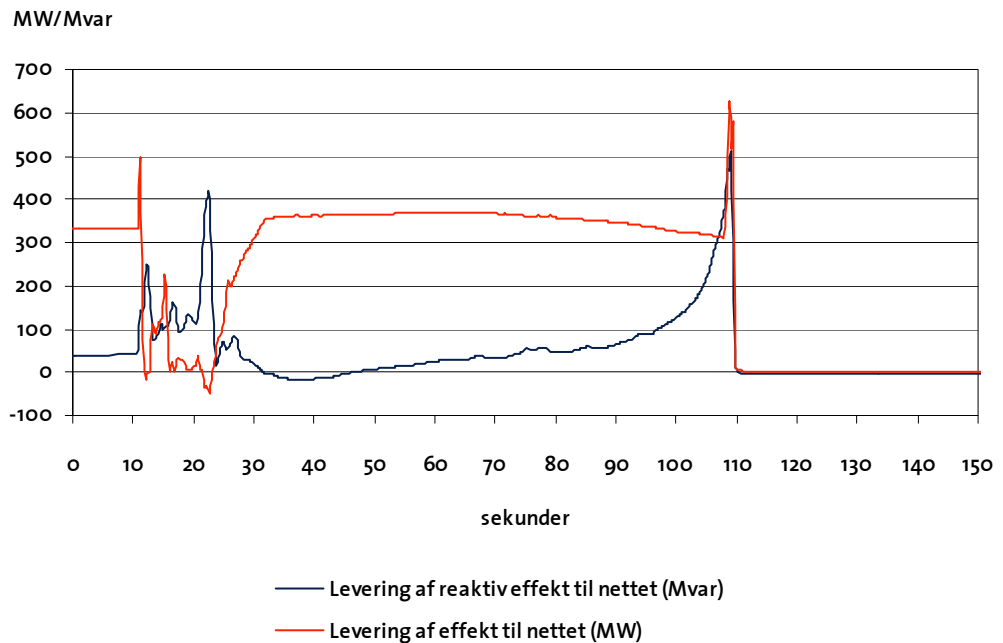
Efter at transmissionsnettet var blevet spændingsløst, skulle det spændingssættes igen. På dette punkt er der forskelle mellem de to typer jævnstrømsforbindelser. Kontek-forbindelsen ville ikke have kunnet spændingssætte højspændingsnettet på Sjælland. Det ville en type 2 HVDC-forbindelse have kunnet, hvis den var konstrueret til det. En HVDC-forbindelse af type 2 fra Sjælland til enten Tyskland eller Jylland-Fyn ville muligvis have kunnet medvirke til at reducere den tid, der medgik til spændingssætning af transmissionsnettet.

Efter spændingssætning af transmissionsnettet skulle forsyningen til elforbrugerne genetableres. Dette skete i den aktuelle situation i den takt det var muligt at få startet kraftværkerne og gøre dem klar til at producere elektricitet. På dette punkt er der lidt

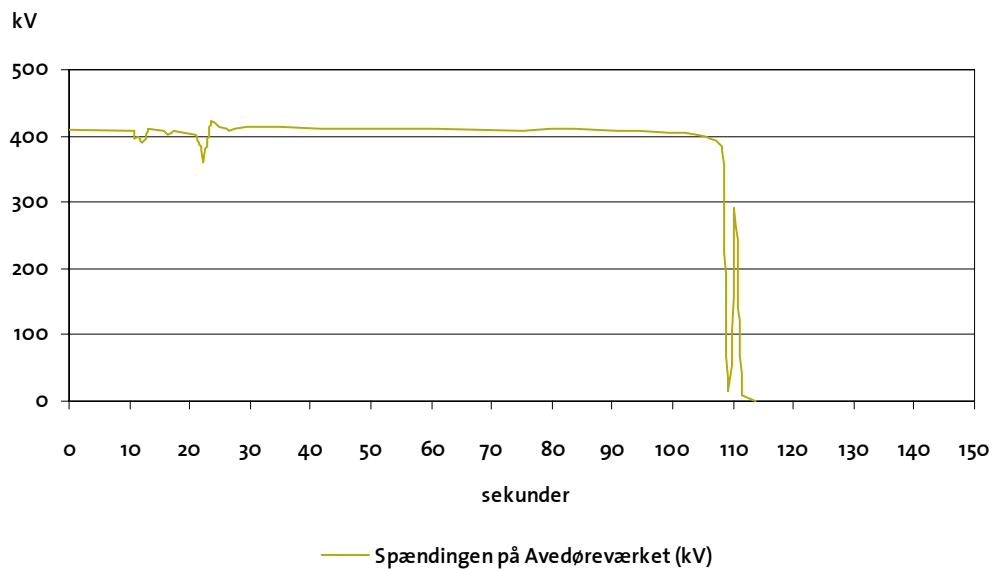
forskel på type 1 og type 2 forbindelser. En type 2 forbindelse ville umiddelbart kunne levere elektrisk energi op til sin maksimale overføringskapacitet. En type 1 forbindelse ville kræve kraftværkskapacitet af en vis størrelse i drift, inden den kunne levere elektrisk energi.

Forbindelser af begge typer ville, når de var kommet i drift, kunne regulere den elektriske energioverførsel meget hurtigt. Dermed ville de kunne medvirke til en hurtigere gen-etablering af forsyningen til elforbrugerne.

Bilag 1 - Produktion og spænding på Avedøreværkets blok 2



Figur 6. Variationer i levering af effekt (MW) og reaktiv effekt (Mvar) fra Avedøreværkets blok 2 under fejlforløbet fra kl. ca. 12.35 til kl. 12.37.



Figur 7. Variationer i spændingen (kV) under fejlforløbet fra kl. ca. 12.35 til kl. 12.37. Værdierne er målt på Avedøreværkets blok 2.