

Rapport

Elavbrottet 23 september 2003 – händelser och åtgärder

Förord

Den 23 september kl 12.36 drabbades Sydsverige av ett stort elavbrott. En och en halv miljon människor var utan ström i en till fem timmar. Mängden ickelevererad energi uppgick till ca 10 miljoner kWh.

På kvällen den 23 september redovisade vi i ett pressmeddelande vår bedömning av orsaken till elavbrottet. Det var en kombination av ett fel i kärnkraftblocket Oskarshamn 3 och ett fel i ställverket i Horred nära Varberg som ledde till en större påfrestning än vad stamnätet kunde tåla. I en rapport den 2 oktober redovisade vi närmare förloppet och orsakerna.

Vi har nu gjort en grundlig genomgång av elavbrottet och vilka åtgärder som bör vidtas för att ytterligare stärka stamnätets driftsäkerhet. Resultatet redovisas i denna rapport. Utredningen har genomförts inom Svenska Kraftnät under ledning av tekniske direktören Sture Larsson och med civilingenjören Erik Ek som utredningssekreterare.

Vi har under utredningsarbetet haft nära samarbete med Elkraft System, det systemansvariga företaget på Själland, som också drabbades av elavbrottet. Elkraft System publicerar idag sin rapport om händelseförloppet och vilka åtgärder man avser vidta.

Vi har under utredningsarbetet också haft nära kontakt med regionnätsföretag, kärnkraftsföretag och andra myndigheter som är berörda. Detta samarbete kommer att fortsätta i det vidare arbetet för att ytterligare stärka stamnätet och elsystemet.

Vällingby den 4 november 2003

Jan Magnusson
Generaldirektör

Rapporterna finns tillgängliga på:

www.svk.se

www.elkraft.dk

1. SAMMANFATTNING	1
2. BESKRIVNING AV KRAFTSYSTEMET	5
2.1. Kraftsystemets tålighet mot störningar	6
2.2. Driftsäkerhetsprinciper	7
3. DRIFTSITUATIONEN FÖRE STÖRNINGEN	10
3.1. Aktuella avbrott.....	11
3.2. Driftläggningen i Horred	11
4. STÖRNINGSFÖRLOPPET	12
4.1. Kl. 12.30 - Fel i Oskarshamn block 3 (O3)	12
4.2. Kl. 12.35 - fel i Horred	13
4.3. Inledande pendling.....	14
4.4. Sjunkande spänningar	14
4.5. Kl. 12.36 – 12.37 - Sammanbrottet	15
4.6. Frekvens och spänningsregistrering	17
5. OMFATTNINGEN AV STÖRNINGEN.....	18
5.1. Delning av stamnätet	18
5.2. Själland.....	18
5.3. Bortkopplad förbrukning	19
5.4. Rapporter från regionnätsföretag i det påverkade området.....	20
6. ÅTERUPPBYGGNADEN	21
6.1. Driftinformation, larmhantering	21
6.2. Kopplingar, spänningsreglering.....	21
6.3. Återuppbyggnaden kring Horred	25
6.4. Underhållsarbeten avbryts	26
6.5. Produktionsanläggningarna, effektbalansen i Sydsverige och Själland ...	27
6.6. Region/lokálnäten	28
6.7. Baltic Cable	28
6.8. Operativ informationshantering DC/DC	29
7. ANLÄGGNINGARNA	29
7.1. Frånskiljaren i Horred	29
7.2. Ljusbågen.....	34
7.3. Fjärrkontroll och telekommunikationssystem	36
7.4. Husturbindrift	36
8. ALTERNATIVA DRIFTSITUATIONER.....	37
8.1. Felet i Oskarshamn block 3 hade inte inträffat.....	37
8.2. Ytterligare produktion i södra Sverige	37
8.3. Minst en likströmsförbindelse i drift.....	38
8.4. Förstärkt nät till södra Sverige	38
8.5. Enkelt samlingskenefel i Horred.....	39
9. KONSEKVENSER FÖR SAMHÄLLET OCH ELMARKNADEN	39
9.1. Samhällskonsekvenser	39
9.2. Elmarknaden den 23 september	40
10. INFORMATION OCH SAMVERKAN	41
10.1. Allmänt	41
10.2. Information till omvärlden via medier	41

10.3.	Information till myndigheter m.fl.	43
10.4.	Information till elbranschföretag	44
11.	SLUTSATSER, ÅTGÄRDER.....	45
11.1.	Översyn av regelverket för kraftsystemets driftsäkerhet.....	45
11.2.	Analys och ombyggnad av ställverk i Horred och liknande	46
11.3.	Förstärkning av överföringsförmågan till Sydsverige	47
11.4.	Åtgärder för att förbättra kontrollen av fränksiljare.....	48
11.5.	Förstärkt styrningen av underhållet på stamnätet.....	48
11.6.	Systemtekniska krav på produktionsanläggningar, speciellt husturbindrift.....	49
11.7.	Säkerställning av fjärrkontroll i störningssituationer.....	49
11.8.	Översyn av informationshanteringen i kritiska situationer.	50

Bilagor

Bilaga 1:	Kraftnätet i Nordvästeuropa
Bilaga 2:	Frekvensregistrering
Bilaga 3:	Spänningsregistrering

Appendix

Appendix 1:	Analys av initiala pendlingar
Appendix 2:	Inverkan av temporära överspänningar på transformatorer
Appendix 3:	Husturbindrift
Appendix 4:	Störningsregistrering, automatiker

Elavbrottet 23 september 2003

1. Sammanfattning

Mitt på dagen den 23 september 2003 inträffade en omfattande störning i det svenska stamnätet. Händelseförloppet, analys av orsakerna och planerade åtgärder redovisas i denna rapport. Rapporten bekräftar den preliminära analysen av störningens orsaker, som Svenska Kraftnät meddelade under kvällen den 23 september.

Avbrott i elförsörjningen

Störningen mörklade Sydsverige, söder om en linje genom landet mellan Varberg och Norrköping, samt Själland och Bornholm i Danmark. Elkunderna fick tillbaka sin el med början inom en timme efter störningen. Efter ytterligare omkring fem timmar kunde alla elleveranser i Sverige tillgodoses.

I Sverige förlorade ca 857 000 kunder sin elförsörjning. De uteblivna elleveranserna uppgick till ca 10 miljoner kWh. Den samhällsekonomiska kostnaden kan schablonmässigt uppskattas till ca 500 Mkr om avbrottsvärderingen är 50 kr/kWh.

Upphovet till störningen var flera tekniska fel, som inträffade samtidigt eller nära i tiden. Den sammanlagda verkan av dessa fel blev alltför svår för stamnätet. Resultatet blev att det svenska nätet delades, varav den södra delen blev spänningslös.

Händelseförloppet

Innan störningen inträffade var driftsituationen normal i det nordiska kraftsystemet. Elförbrukningen i Sverige var ca 15 000 MW, vilket är drygt hälften av den maximala konsumtionen.

Revisionsarbeten mm pågick i flera kärnkraftverk, vilket är normalt under årstider med låg elförbrukning. Två stamnätsledningar i Mellan- och Västsverige var också ur drift för underhållsarbeten. Marginalerna var goda till de överföringsgränser som anpassats till det aktuella driftläget.

Kl.12.30 den 23 september tvingades block 3 i kärnkraftverket i Oskarshamn stoppa på grund av interna fel. Detta är en typ av händelse som det svenska och nordiska elsystemet har ständig beredskap att hantera utan att den leder till elavbrott för några konsumenter. Så skedde även denna gång. Stamnätet var efter stoppet något mera ansträngt. Den uteblivna produktionen på 1 176 MW ersattes framförallt av ökad vattenkraft från Norge, norra Sverige och Finland, vilket belastade nätet ytterligare.

Fem minuter efter stoppet i Oskarshamnsverket inträffade ett apparatfel i ställverket i Horred nära Varberg, där två av Ringhalsverkets kärnkraftsblock är anslutna. Ett följdfel till apparatfelet ledde till att hela ställverket kopplades bort från stamnätet och därmed även de två Ringhalsblocken.

Den samlade påfrestningen blev för stor genom förlusten av ca 3 000 MW kärnkraftproduktion och en kraftig försvagning av överföringsnätet på Västkusten. Efter en dryg minut kunde inte spänningarna upprätthållas på den sydöstra delen av nätet. Stamnätet delades därför i Södermanland, där det vid tillfället var svagast.

Den södra delen, som bestod av Sydsverige, Själland och Bornholm, hade inga förutsättningar att klara balansen mellan förbrukningen och den kvarvarande produktionen. Detta delsystem bröt därför samman inom några sekunder.

Det norra delsystemet återgick snabbt till ett stabilt läge med ett i övrigt intakt nät och fungerande elproduktion.

Orsakande fel i ställverket

Felen i ställverket i Horred var av två slag. Det inledande felet var ett haveri i en kopplingsapparat, en s.k. frånskiljare. I en mekanisk led, som också ska leda ström, hade en varmgång utvecklats under en tid. Detta hade efterhand förvärrats och lett till att leden förstörts. Vid störningstillfället föll leden isär och frånskiljaren kollapsade. Vid nedfallet tändes en ljusbåge när strömbanan öppnades.

Den felande frånskiljaren är ansluten till en av ställverkets tre s.k. samlings-skenor. Vid fel ska normalt bara en samlingsskena kopplas bort, medan de övriga ska vara kvar och fortsätta att fungera i nätet.

Följdfelet bestod i att ljusbågen leddes över till en angränsande samlings-skena och skapade en kortslutning. De interna skyddsutrustningarna reagerade omedelbart och kopplade bort båda samlingsskenorna från nätet. Därmed kunde inte de två anslutna Ringhalsblocken mata ut sin el.

Varken den typ av fel som inträffade i frånskiljaren eller händelsen att en ljusbåge kortsluter två samlingsskenor har tidigare inträffat i stamnätet. Att ljusbågen kunde överbrygga isolationsavståndet mellan skenorna berodde bl.a. på att delar av frånskiljaren efter nedfallet lutade ut mot den andra skenan. Dessutom blåste den starka vinden ljusbågen i samma riktning.

Återuppbyggnaden

Återuppbyggnaden av stamnätet kunde snabbt påbörjas från den intakta norra delen av stamnätet. Ledningar tillkopplades efterhand genom Östergötland och Småland ner till Blekinge och Skåne, dit spänningen nådde efter ungefär en timme.

På Västkusten blev uppbyggnaden fördröjd på grund av obalanser i nätet. Dessa berodde på att den skadade frånskiljaren kunde leda ström i två faser men inte i den tredje fasen. Skyddsutrustningar reagerade på obalanserna vid olika tillkopplingsförsök, som därmed misslyckades. När skadan på frånskiljaren hade klarlagts och åtgärdats kunde uppbyggnaden av nätet fullföljas även här.

Så länge nätet på Sydsveriges västra sida inte kunde återställas, så var den uppbyggda östra delen inte tillräckligt stark för att medge att all bortkopplad elförbrukning skulle kunna återanslutas. Spänningen var instabil, främst beroende på att en utrustning för fjärrkontroll inte fungerade som den skulle. I takt med att elproduktion från gasturbiner m.m. kunde anslutas, så blev det efterhand möjligt att tillgodose all efterfrågan på el.

Återuppbyggnaden av elförsörjningen på Själland kunde starta när kabelförbindelserna över Öresund blivit spänningssatta från Sverige. Detta skedde en dryg timme efter störningen.

Information

Omedelbart efter att störningen inträffat uppstod ett stort informationsbehov. Svenska Kraftnät försökte möta detta genom att kontakta centrala nyhetsförmedlare, som kunde vidarebefordra information om störningens omfattning och trolig varaktighet till allmänheten och övriga media. Sålunda kunde Sveriges Radios Ekot gå ut med information en kvart efter elavbrottet samt TT och Sveriges Radios sändningsledning efter en dryg halvtimme. Under timmarna därefter lämnades information genom ett flertal intervjuer, telefonkontakter och pressmeddelanden.

Andra delar av informationen fungerade mindre väl. Svenska Kraftnät hade svårt att hinna ta tillräckligt med andra kontakter. Sådana skulle ha lett till att olika myndigheter, branschorgan m.fl. blivit direkt informerade av Svenska Kraftnät snabbare än vad som skedde.

Erfarenheter och åtgärder

Störningen har givit ett antal lärdomar och erfarenheter samt pekat på ett behov av åtgärder som redovisas nedan.

De regler för driftsäkerheten som tillämpas i det nordiska kraftsystemet innebär i korthet att en bortkoppling av en enskild komponent – som kraftstationsblock, kraftledning eller samlingsskena – ska kunna ske när som helst utan att det leder till avbrott i elleveranserna.

Störningen 23 september ledde till att en drygt tre gånger så svår påfrestning uppstod, vilket det inte var rimligt att stamnätet skulle förväntas klara. Trots denna slutsats går det emellertid inte att bortse från frågan om dessa driftsäkerhetsregler på rätt sätt avspeglar samhällets behov av en säker elförsörjning.

Åtgärd: En översyn av regelverket för kraftsystemets dimensionering och driftsäkerhet kommer att genomföras inom Nordel – de nordiska stamnätsföretagens samarbetsorganisation. Översynen kommer att göras mot bakgrund av konsekvenserna i samhället av omfattande elavbrott.

Följdfelet med ljusbågen som gav kortslutning i ställverket i Horred pekar på en risk med det sätt som vissa ställverk är uppbyggda med näraliggande samlingsskenor.

Åtgärd: En analys och en plan ska upprättas för att åtgärda de kritiska ställverken, i första hand ställverket i Horred.

Störningen har ytterligare påvisat sårbarheten för elförsörjningen i Sydsverige, i synnerhet i situationer då ingen väsentlig produktion sker i området.

Åtgärd: En ytterligare förstärkning av överföringsförmågan till Sydsverige genomförs. Svenska Kraftnät kommer att starta projektering av en ny 400 kV ledning från Mellansverige i en befintlig ledningsgata.

Haveriet på frånskiljaren kom oväntat trots regelbunden kontroll. Det pekar på att förfarandet vid planering och uppföljning av underhållet, liksom den tillämpade diagnosmetoden, kan ha haft brister.

Åtgärd: Svenska Kraftnät har inlett en översyn av metodik, åtgärder och intervall för tillsyn och revision av frånskiljare. Särskild uppmärksamhet ska ägnas åt de faktorer som haft betydelse vid denna störning.

Underhållet av stamnätets anläggningar har hittills kunnat ske effektivt genom upphandling i konkurrens av entreprenörstjänster samt med små personalinsatser från Svenska Kraftnäts sida. Utvecklingen går dock i en riktning som kan innebära att Svenska Kraftnät behöver mera aktivt säkerställa rätt kvalitet och säkerhet i underhållsverksamheten.

Åtgärd: En utredning genomförs för att klarlägga behovet av att förändra metodik och resursbehov för att styra och följa upp stamnätets underhållsverksamhet framöver.

För att kraftsystemet skall kunna fungera i ansträngda situationer krävs att överföringsnäten och kraftstationerna är anpassade till varandra och uppfyller vissa tekniska specifikationer. I synnerhet är det av vikt att stora värmekraftstationer i tillräcklig omfattning klarar av att återstarta snabbt genom övergång till s.k.husturbindrift, om de kopplas bort vid störningar.

Åtgärd: Svenska Kraftnät kommer att i föreskrifter reglera de systemtekniska kraven på kraftstationer. En utredning kommer att genomföras om vilka ytterligare åtgärder som kan vidtas för att öka förmågan att klara övergång till husturbindrift.

Under störningen 23 september inträffade några tekniska fel som gjorde att fjärrkontrollen av ett antal anläggningar inte fungerade. Detta är inte acceptabelt med tanke på att sådana fel kan fördröja återuppbyggnaden av elförsörjningen.

Åtgärd: Orsakerna till bortfallen av fjärrkontrollen skall utredas och åtgärdas. Samtidigt skall riskerna för att felen upprepas i andra anläggningar elimineras. Andra väsentliga risker för bortfall av telekommunikationerna i enskilda stationer och driftcentraler skall klarläggas genom samverkan inom elbranschen

En stor del av informationshanteringen under störningsskedet fungerade rimligen väl, medan andra delar kunde ha hanterats bättre.

Åtgärd: Svenska Kraftnäts förmåga att effektivt hantera informationsprocessen i krisartade situationer skall förbättras genom ökat fokus på strukturering, arbetsfördelning och hjälpmedel samt genom fler övningar.

För närmare beskrivning av händelseförloppet i Östdanmark hänvisas till www.elkraft-system.dk

2. Beskrivning av kraftsystemet

Det svenska elsystemet är historiskt uppbyggt för att utnyttja tillgången på vattenkraft på bästa sätt. Utbyggnaden styrdes av var det fanns billig energi att utvinna och var den skulle förbrukas. Vattenkraften är i huvudsak belägen i norra Sverige medan huvuddelen av elförbrukningen ligger i södra och mellersta Sverige. Detta har lett till att ett starkt överföringsnät har byggts mellan norra och södra Sverige.

När anläggningar för kärnkraft och övrig värmekraft började etableras placerades de nära de stora förbrukningscentra i Mälardalen och i södra Sverige. Viktiga aspekter var att få korta överföringsavstånd och god tillgång på kylvatten, varför de är belägna längs kusterna nära förbrukningscentra.

Alla kraftstationer och elkonsumenter i Sverige, Finland, Norge och östra Danmark är synkront hopkopplade och därmed påverkar varandra. Den elektriska frekvensen är samma i alla dessa områden och de bildar det nordiska synkrona systemet. De sammankopplade generatorerna i kraftstationerna utgör tillsammans något som kan likna ett mycket stort svänghjul med en upplagrad rörelseenergi. Balansen mellan förbrukning och

producerad effekt regleras med hjälp av nätfrekvensen, vilken vid normaldrift ligger inom intervallet 49,9-50,1 Hz. Rubbningar i denna balans påverkar direkt generatorernas rörelseenergi och kan avläsas som frekvensändringar. Detta måste kompenseras genom att man ökar eller minskar produktionen i kraftverken för att upprätthålla normaldrift i systemet. Dessa regleringar sker ständigt under dygnet, i takt med variationerna i förbrukningen.

Överföringen genom det svenska stamnätet varierar kraftigt under året och även under dygnet. Det beror bl.a. på aktuell elkonsument, produktion i kärnkraftverk och i vattenkraftverk samt på export och import. I Sverige är det främst den nord-sydgående överföringen som varierar. Det hänger samman med att vattenkraften utnyttjas för att hantera de kortsiktiga belastningsvariationerna inom dygnet. Kärnkraften kan då ligga som basproduktion vid full effekt hela tiden.

Det svenska stamnätet är anslutet till näten i angränsande länder med ett flertal förbindelser, vilket framgår av kartan i bilaga 1.

Sverige är kopplat med växelströmsförbindelser till Finland, Norge och Östdanmark (Själland och Bornholm). Dessutom finns likströmslänkar mellan Sverige och Finland, Västdanmark (Jylland), Polen och Tyskland.

Likströmslänkarna används förutom för normala elhandel även som automatiska nödeffektanläggningar vid störningar. Nödeffekt aktiveras vid låg spänning och/eller låg frekvens i utvalda punkter i systemet.

2.1. Kraftsystemets tålighet mot störningar

De tekniska förutsättningarna för att driva kraftsystemet är att den elektriska kopplingen mellan kraftstationerna och förbrukningsområdena är tillräckligt stark. Är nätet svagt kan ett fel i nätet orsaka pendlingar mellan generatorer eller delsystem som kan leda till att nätet delas upp i större eller mindre delar.

Överföringsförmågan och systemets motståndskraft mot störningar är väsentligen beroende på förmågan att upprätthålla spänningen. Vid störningar stötts spänningen framförallt av generatorer men även av andra apparater i nätet, som kan användas för att reglera den reaktiva effektbalansen. Vidare måste systemets totala växelströmsmotstånd vara lågt, vilket uppnås genom att nätet byggs upp av tillräckligt många ledningar och transformatorer.

Systemet består i princip av tre delar:

- stamnätet 400 - 220 kV, som kopplar samman landsdelar
- regionnät 130 - 50 kV, som binder samman större regioner
- distributionsnät 40 - 10 kV, som försörjer städer och orter och som på lägre spänning når de enskilda konsumenterna.

Stamnät och regionnät är normalt maskade, vilket innebär att det finns naturliga möjligheter att överföra el andra vägar om någon enstaka ledning kopplas bort vid fel. Vid de allra flesta fel som inträffar på stamnätet påverkas inte elkonsumenterna. Detta skiljer sig väsentligt från övriga nätdelar i systemet, där ett fel betydligt oftare påverkar konsumenterna och förorsakar avbrott i elförsörjning.

Statens energimyndighet har sammanställt genomsnittlig avbrottstid i minuter/år, kund, för hela landet, åren 1998 – 2001.

Medelavbrottstid (1998-2001)

Stamnät	Stadsnät	Glesbygdsnät
0,2	23	203

De vanligaste felen på stamnätet är åskfel på ledningar, ledningsbortkoppling, produktionsbortfall eller enkla ställverksfel. Normalt ger sådana fel inte någon återverkan hos konsumenterna. Resultatet av ett sådant fel blir att effekten i nätet mycket snabbt ska nå ett nytt balansläge. Antingen ska det intakta nätet bära en ökad överföring när reservkraft från norra Sverige ska ersätta produktion i söder som bortfallit eller så ska ett försvagat nät klara samma överföring som före felet. Kvarvarande ledningar och transformatorer måste i båda fallen ta på sig en högre belastning. Nätet är dimensionerat för att klara detta.

Möjligheterna att klara omställningarna till det nya läget beror dels på hur ansträngt nätet var före felet, dels på felets svårighetsgrad.

I driftskedet övervakas stamnätet och balansen i elsystemet i Svenska Kraftnäts nationella driftcentral Nätkontroll.

2.2. Driftsäkerhetsprinciper

Det nordiska överföringsnätet har utvecklats till ett väl fungerande system där förbindelserna utgör en integrerad del. Inträffar en störning i ett av de nordiska länderna så hjälper de andra länderna till med sina reserver för att klara störningen. Näten i de nordiska länderna behöver därför vara jämnstarkt dimensionerade. Gemensamma nätdimensioneringskriterier tillämpas därför inom hela Norden.

Dimensioneringskriterierna kan förenklat beskrivas på följande sätt: Stamnätet dimensioneras för att alltid klara ett fel på ledningar, transformatorer och ställverk utan att konsumenter påverkas. På samma sätt skall bortfall av enskilda produktionsanläggningar klaras med hjälp av automatiska reserver och extra kapacitet i nätet. Det svåraste felet för nätet (det dimensionerande felet) skall klaras under de mest ansträngda överföringsförhållandena. Det kallas att nätet är dimensionerat för n-1 (n-1 kriteriet).

Det dimensionerande felet är vanligtvis att ett fel inträffar i ett ställverk till vilket många ledningar är anslutna. För att begränsa konsekvenserna av sådana fel delas ledningarna upp så att inte alla ansluts till samma punkt, s.k. samlingsskena, i ställverket. Ett ställverk kan därför bestå av flera sådana skenor. Om ett s.k. samlingsskenefel inträffar (fel på en av skenorna) kopplas endast de ledningar som är anslutna till just denna skena bort. Eftersom systemet dimensioneras för att klara ett samlingsskenefel enligt n-1 kriteriet är det viktigt att bygga ställverken så att risken för att två samlingsskenefel inträffar samtidigt är försumbar.

Dimensioneringskriterierna ställer också krav på reserver i nätet. Efter att ett första fel i nätet har inträffat ska det finnas tillräckligt med reserver för att systemet efter 15 minuter åter skall vara inom sina driftgränser och klara ett nytt fel i nätet.

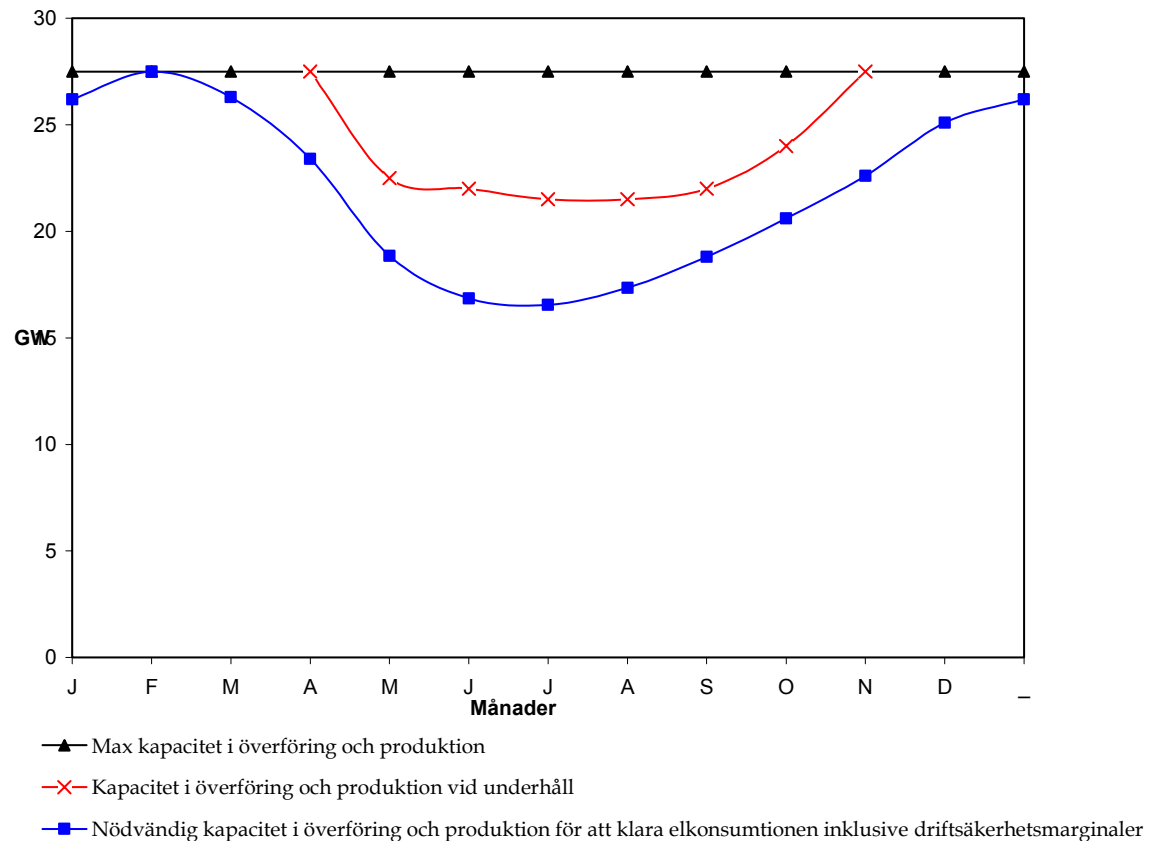
Kriterierna ska vara uppfyllda såväl vid intakt nät som vid försvagat nät. De gäller alltså fullt ut vid avställning av ledningar, stationsanläggningar och generatorer för underhåll eller reparation.

I verkligheten klarar nätet allvarligare kombinationer av fel än det dimensionerande felet under stora delar av året, eftersom överföringarna oftast är lägre än nätets maximala kapacitet.

Om nätet utsätts för olyckliga kombinationer av fel, samtidigt som driftsituationen är ansträngd, eller om nätet inte hinner avlastas med hjälp av t.ex. ökad produktion i ett problemområde innan nästa fel inträffar, kan sammanbrott ske. Blir ledningarna för kraftigt belastade efter felet kan spänningarna i nätet bli så låga att generatorer eller ledningar fränkopplas. Blir nätet för svagt kan även pendlingar mellan olika delar i kraftsystemet leda till delning av nätet.

Som en yttersta reserv vid svåra störningar, där mycket produktion kopplas bort vilket leder till stort produktionsunderskott, finns ett system för automatisk förbrukningsfränkoppling (AFK). Förbrukningsfränkoppling kan som sista utväg rädda systemet från ett sammanbrott förutsatt att nätet i övrigt är tillräckligt intakt. AFK-systemet är uppdelat i flera steg med fränkoppling av elpanne- och värmepumpsanläggningar från 49,4 Hz och förbrukningsfränkoppling om frekvensen sjunker under 48,8 Hz.

Avbrott på ledningar och anläggningsdelar i stationer fordras för underhåll och ombyggnadsarbeten. Avbrotten innebär att nätets kapacitet reduceras och avbrotten planeras därför till perioder med litet överföringsbehov. Detta görs för att bibehålla acceptabel driftsäkerhet samtidigt som påverkan på den nordiska elmarknaden och kraftutbytet mellan Norden och övriga Europa blir liten.



Figur 1. Principiell illustration under vilka perioder underhåll kan genomföras av ledningar, stationer och stora värmekraftverk.

Begränsningar i det svenska nätet

Utnyttningen av stamnätet övervakas och begränsas normalt i tre överföringsavsnitt, s.k. snitt. Geografiskt ligger snitten förlagda tvärs över Sverige. I dessa mäts och summeras den effekt som i varje ögonblick passerar snitten. Snitt 1 ligger söder om Lule älv och norr om Skellefte älv. Snitt 2 ligger genom Hälsingland och norra Dalarna (61' breddgraden) och snitt 4 ligger i en linje söder om Oskarshamn och söder om Horred (57'15). Se bilaga 1 för en geografisk bild.

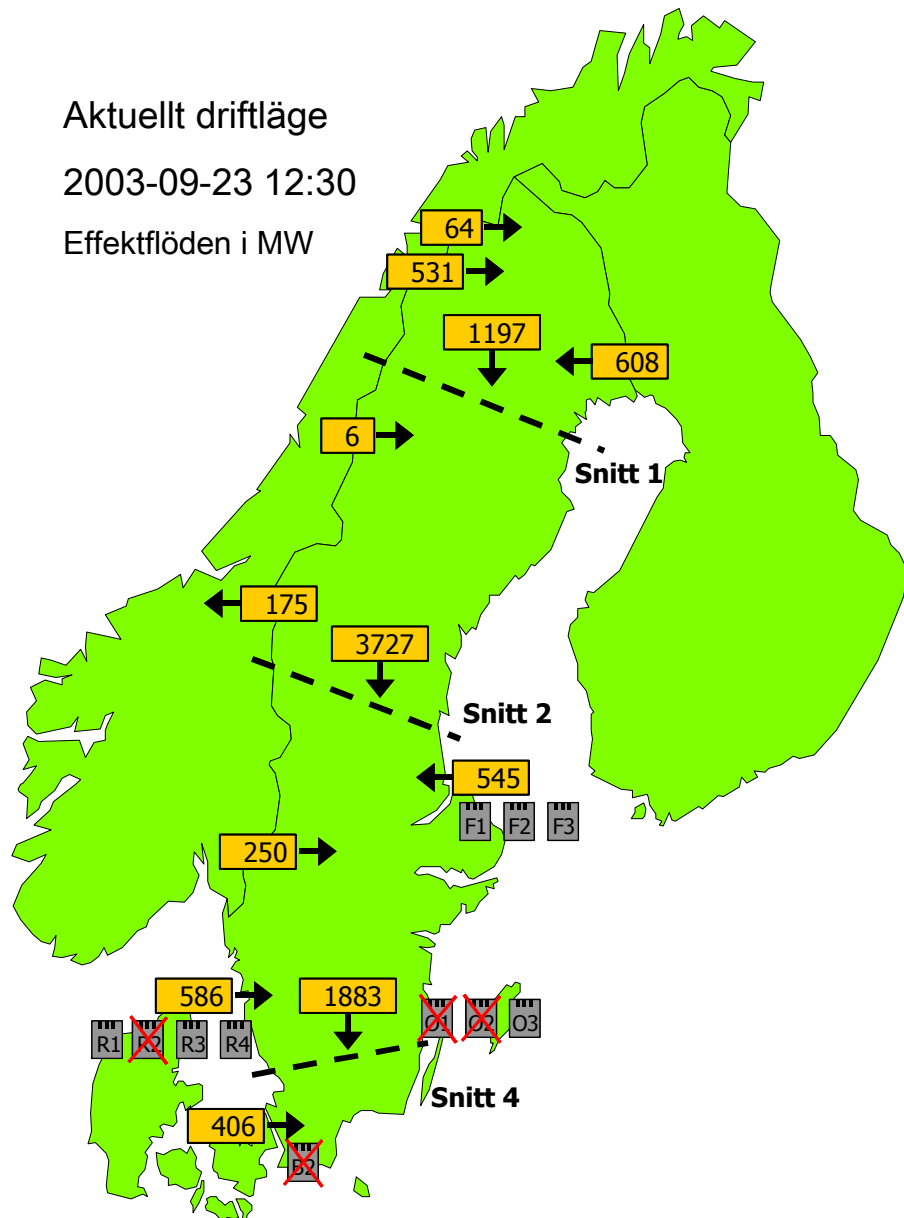
Vid intakt nät och vid normal produktionsfördelning kan följande effekt överföras i nord-sydlig riktning genom snitten:

Snitt 1	3 000 MW
Snitt 2	7 000 MW
Snitt 4	4 500 MW

Det finns utrustning, s.k. nätvärn, installerad på likströmslänkarna till Polen och Tyskland som automatiskt ökar inmatningen till Sverige vid mycket låga spänningar. Denna utrustning medger i vissa driftsituationer en ökad överföring i snitt 4.

3. Driftsituationen före störningen

En relativt liten elförbrukning i kombination med en för årstiden något låg fyllnadsgrad i de svenska vattenmagasinen medförde att Sverige före störningen var nettoimportör av energi via utlandsförbindelserna till Mellan- och Sydsverige. Det resulterade i att överföringen i nord – sydlig riktning på stamnätet var låg under dagen, trots att fyra kärnkraftsblock i södra Sverige var ur drift för revision. På Själland var Avedörevverkets block 1 i revision och Amagerverkets block 1 ej tillgängligt på grund av ett tidigare fel.



Figur 2. Situationen före störningen: utbytet mellan de nordiska länderna, överföringen genom de svenska snitten 1, 2 och 4 och kärnkraftsblocken som var i drift.

Fyra kärnkraftsblock var i drift i södra Sverige. Dessa producerade:

Ringhals 2	845 MW
Ringhals 3	884 MW
Ringhals 4	877 MW
Oskarshamn 3	1 176 MW

Till detta tillkommer en lokal vattenkraftproduktion i Sydsverige på cirka 100 MW. Produktionen på Själland var ca 2 260 MW.

3.1. Aktuella avbrott

Den maximala överföringskapaciteten genom snitt 2 (Norr → Mellansverige) och 4 (Mellansverige → Södra Sverige) var något begränsad på grund av avbrott för underhåll på två 400 kV ledningar, den mellan Breared och Strömme genom Halland och den mellan Hallsberg och Kimstad i Östergötland. Likströmslänkarna till Tyskland och Polen och mellan Själland och Tyskland var ur drift för underhåll.

I samband med ett utbyggnadsprojekt i Hemsjö för att öka driftsäkerheten i Sydsverige var också systemtransformatorn, 400/130 kV, i Hemsjö ur drift.

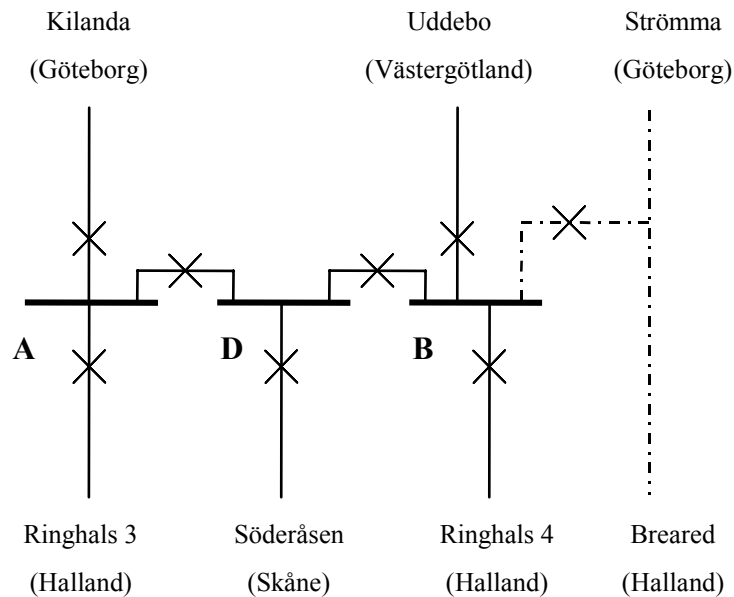
Eftersom likströmslänkarna till Polen och Tyskland var ur drift fanns de inte tillgängliga för import av nödeffekt. Detta förhållande samt ledningsavbrotten var beaktade i de nätberäkningar som låg till grund för fastställande av systemets kapacitet.

Före störningen var maximal kapacitet genom snitt 2 fastställd till 6 100 MW och kapaciteten genom snitt 4 till 2 800 MW.

3.2. Driftläggningen i Horred

I ställverket i Horred är sex 400 kV ledningar anslutna till tre stycken samlingsskenor. Ledningarna som ansluter Ringhals block 3 och 4 är separerade och ligger på varsin skena så att ett samlingsskenefel endast medför bortfall av ett kärnkraftsblock. Som en extra säkerhet är det två brytare, i figuren utsatta som (X), mellan dessa båda skenor (A- och B-skenan). Alla de ställverksapparater, frånskiljare, brytare etc. som kopplar ledningen till skenan sägs ingå i respektive lednings ledningsfack. De apparater som kopplar ihop två skenor ingår i sektioneringsfacket mellan dessa skenor. (Exempelvis ingår brytaren mellan A- och D-skenan, se figuren, i ADs sektioneringsfack.)

Innan felet inträffade pågick underhållsarbete på 400 kV ledningen mellan Strömme – Horred – Breared (streckad i figuren nedan).



Figur 3. Driftläggningen i Horreds ställverket före felet.

4. Störningsförloppet

4.1. Kl. 12.30

- Fel i Oskarshamn block 3 (O3)

Ett ventilfelet detekterades internt i blocket, vilket ledde till manuell nedstyrning av blocket. Generatorns effekt sjönk därmed från 1 176 MW till 800 MW under 10 sekunder. Nedstyrningen följdes sedan direkt av snabbstopp som innebar att effekten gick ned till 0 MW efter ytterligare 10 sekunder. Ett par sekunder senare slogs generatorbrytaren ifrån.

Produktionsbortfallet gav en obalans i systemet och därmed en frekvenssänkning ned till 49,66 Hz.

Frekvensfallet hävdades med hjälp av momentan störningsreserv i vattenkraften i Sverige, Norge och Finland samt nödeffekt via Konti-Skan 1 (Jylland). Överföringen från grannländerna och genom snitt 2 ökade och frekvensen stabiliserades inom intervallet 49,8 - 49,9 Hz.

Importsituationen efter bortfallet av O3 (förändring inom parentes):

Norge (i söder)	+644	(+394) MW
Jylland	+641	(+55) MW
Själland	+435	(+29) MW
Finland	+1 359	(+206) MW
Totalt	+3 079	(+684) MW

Oskarshamn 3 är jämte Forsmark 3 den största enskilda produktionsanläggningen i det nordiska systemet. Efter bortfallet av O3 sjönk spänningarna i södra Sverige något. I Simpevarp sjönk spänningen från 415 kV till 409 kV och i Söderåsen från 410 kV till 405 kV.

Produktionsbortfall i det nordiska nätet är normalt förekommande och hanteras genom att vattenkraft och en del värmekraft automatiskt regleras upp.

4.2. Kl. 12.35 - fel i Horred

5 minuter efter bortfallet av O3, kl. 12.35, inträffade en tvåfasig kortslutning i Horred på grund av haveri i en fränksiljare. Felet bestod av en ljusbåge som uppstod mellan två skilda faser i de intill varandra liggande samlingsskenorna som kärnkraftsblocken Ringhals 3 och 4 är anslutna till. Fränksiljarhaveriet och ljusbågsförloppet är närmare redovisat i avsnitt 7.

Samlingsskeneskydden för A och B-skenorna kopplade korrekt bort alla anslutna objekt inom ca 0,1 sekunder. Enda ledningen som förblev ansluten i Horred var ledningen mellan Horred och Söderåsen.

På grund av felet i Horred stoppades Ringhals block 3 och block 4, eftersom blockets anslutningsledningar fränkopplats. Block 4 lyckades gå över i husturbindrift, vilket innebär att generator och reaktor behålls i drift utan anslutning mot yttre nät. Produktionen anpassas till att försörja blockets egenförbrukning. Tack vare husturbindriften kan blocket på kort tid åter ansluta sig till nätet och leverera effekt.

I samband med felet stoppades en av likströmsförbindelserna till Jylland, Konti-Skan 1, vilket innebar ett bortfall av import om 250 MW.

Importsituationen till Sverige förändras då till:

Norge (i söder)	+981	(+337) MW
Jylland	+390	(-251) MW
Sjælland	+516	(+81) MW
Finland	+1 880	(+521) MW
Totalt	+3 767	(+688) MW

Systemet är dimensionerat för att kunna återställas inom 15 minuter till ett sådant tillstånd att det klarar ett nytt dimensionerande fel. I detta fall inträffade den andra störning efter endast 5 minuter och i en underfrekvens-situation, varför en normal uppreglering och stöd från grannländer inte kunde förväntas. Trots detta lyckades Finland och Norge leverera ytterligare ca 870 MW, vilket motsvarar ca 50 % av bortfallet.

Sammanfattningsvis kan man därför konstatera att det nordiska samarbetet avseende momentan störningsreserv fungerade väl.

Felet i Horred innebar att 400 kV nätet genom snitt 4 blev uppbrutet på västra kanten. Skåne var fortfarande anslutet mot norr via Tenhult och Simpevarp i Småland upptill Glan i Östergötland. Anslutningen mot Norrland upprätthölls endast via östra 400 kV nätet. Se figur 4.

4.3. Inledande pendlingar

Sekunderna efter felet uppstod kraftiga pendlingar som gav djupa spänningsfall i söder: i Simpevarp ner till ca 300 kV och i Söderåsen ca 320 kV. Efter ca 10 sekunder var dessa initiala pendlingar på väg att dämpas ut. Då inträffade fränkopplingar i 220 kV och 130 kV näten som startade nya pendlingar. Även dessa pendlingar dämpades ut varefter spänningarna temporärt stabiliserades kring 360 - 370 kV i ett område från Söderåsen i Skåne via Sege till Hall och Åker i Södermanland. Orsakerna till dessa pendlingar redovisas i appendix 1.

4.4. Sjunkande spänningar

Som en konsekvens av bortkopplingen av samlingsskenorna i Horred klipptes 400 kV systemet upp helt på den sydvästra sidan. Detta medförde att södra Sverige endast matades via två 400 kV ledningar belägna i på östsidan, Åker - Hedenlunda och Hall - Hedenlunda samt från Själland.

Under tiden 10 - 90 sekunder efter felet i Horred sjönk spänningarna på stamnätet successivt. Efter 90 sekunder sjönk spänningarna i området under 320 kV i nätet från Sege i söder till Hall/Åker i norr. Lägst var spänningen i Simpevarp.

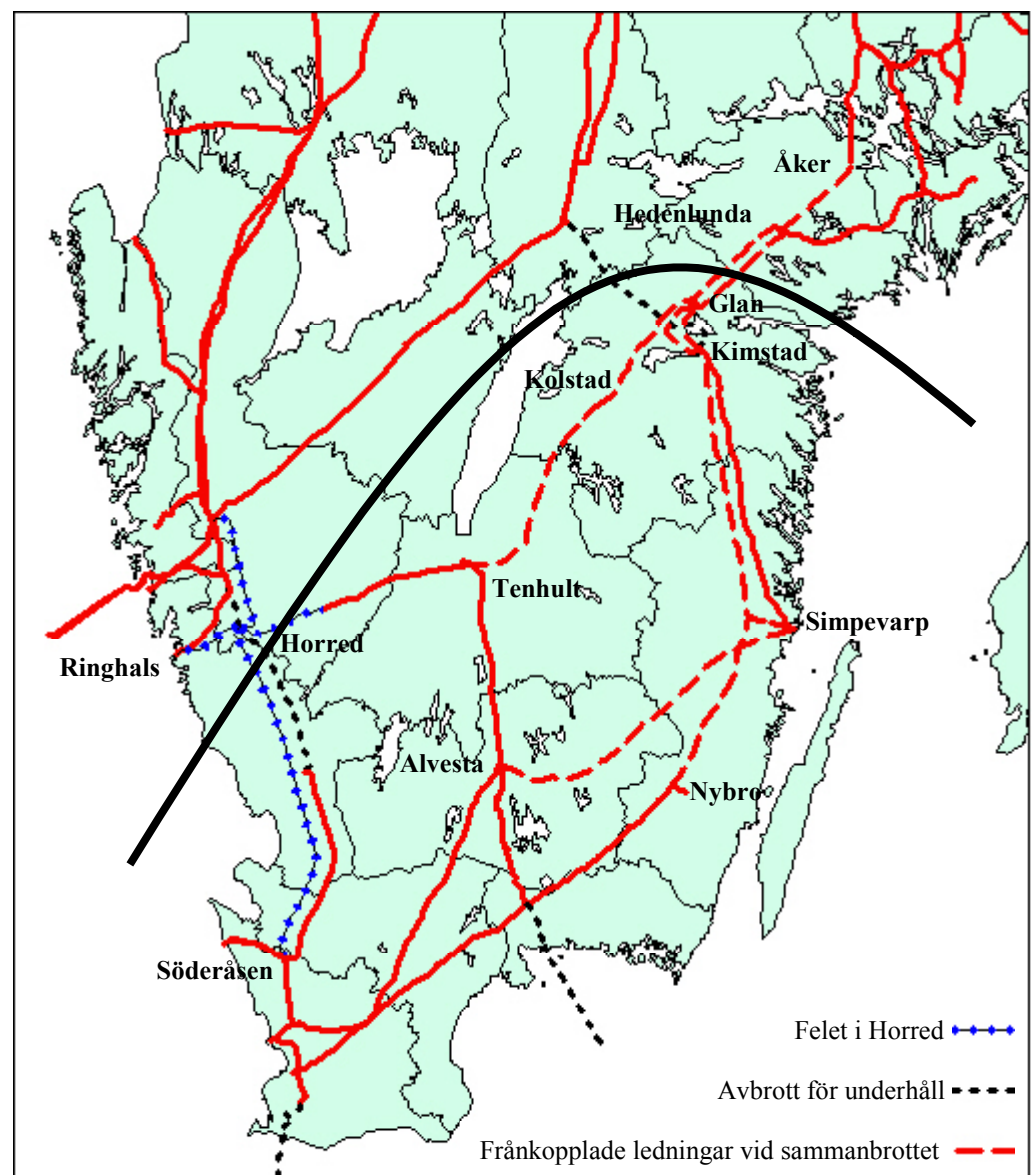
Anledningen till de sjunkande spänningarna var i första hand den dynamiska spänningskänsligheten i belastningen. Inledningsvis minskade belastningen när spänningen sjönk samtidigt på alla nätnivåer. Emellertid skedde sedan återgång till högre spänningar på de lokala näten i och med att lindningskopplare i transformatorerna justerade spänningen på nedsidan mot elkonsumenterna. När belastningen således ökade kom den ökade överföringen att anstränga stamnätet ytterligare.

Eftersom södra Sverige saknade betydande produktion som kunde stötta spänningen i stamnätet så sjönk den i sydöstra Sverige mycket snabbt. När spänningarna hade nått dessa låga nivåer, kunde stamnätet inte längre föra över önskad effekt mot södra Sverige. Resultatet blev att spänningarna under några sekunder sjönk ytterligare mot extremt låga nivåer samtidigt som spänningvinklarna ökade mellan norr och söder. Hela detta fenomen med fallande spänningar brukar benämnas "spänningskollaps".

4.5. Kl. 12.36 – 12.37 - Sammanbrottet

Spänningssänkningen i kombination med den höga överföringen på de två kvarvarande 400 kV ledningarna gör att ledningsskydden uppfattar förhållandet mellan spänningar och strömmar som en kortslutning. Effektbrytare kopplar bort ledningarna mellan Mellansverige och Sydsverige ungefär samtidigt. Understruket namn visar där skydden först agerat. I bilden visas ledningarna som streckade röda linjer.

<u>Simpevarp</u>	-	Alvesta
<u>Kolstad</u>	-	<u>Tenhult</u>
<u>Åker</u>	-	Hedenlunda
<u>Hedenlunda</u>	-	Kolstad
<u>Simpevarp</u>	-	<u>Nybro</u>
<u>Hedenlunda</u>	-	Glan, Kimstad

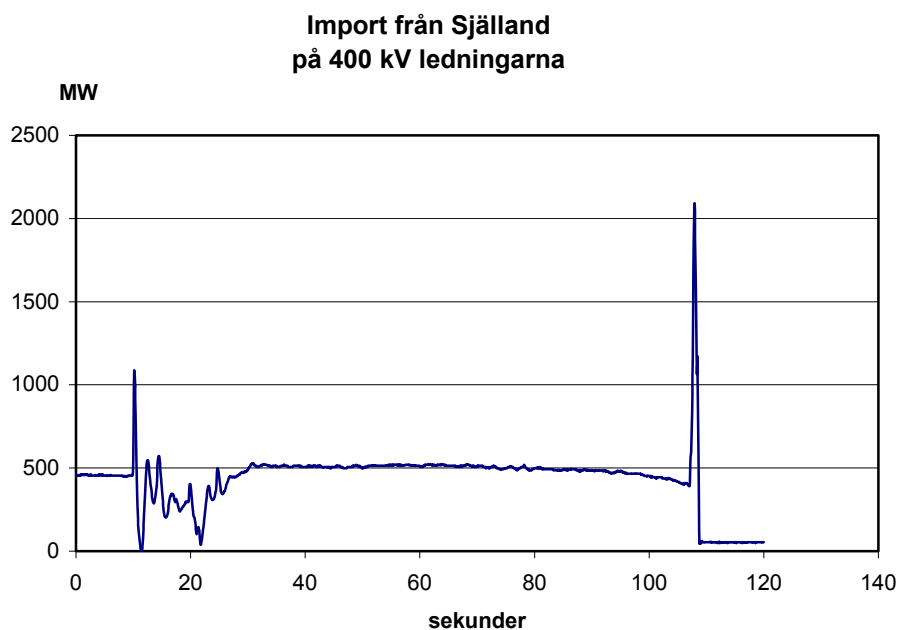


Figur 4. Uppdelningen av 400 kV nätet.

Bilden visar med det tjocka svarta strecket hur 400 kV nätet efter att skydden agerat och ledningarna fränkopplats. De blå streckade linjerna visar ledningar som fränkopplats i samband med felet i Horred. De svarta streckade ledningarna var ur drift på grund av underhåll.

Fränkopplingar skedde även i övriga 400 kV stationer i söder pga. allmänt spänningsbortfall.

Störningsförloppet mellan Sverige och Sjölland registrerades av pendlingsutrustningen i Söderåsen och presenteras i diagrammet nedan:



Figur 5. Kraftutbytet mellan Sydsverige och Sjölland efter felet i Horred.

Registreringen startar 10 sekunder innan felet i Horred inträffde då knappt 500 MW importerades till Sverige. Felet gav upphov till effektpendlingar, som klingade av efter ca 20 sekunder varefter drygt 500 MW gick till Sverige.

När sedan det svenska systemet delades upp matades initialt hela förbrukningen i Sydsverige och på Sjölland av det danska produktions-systemet. Detta innebar en kraftigt ökad pålastning som generatorerna svarade på genom att öka sin utmatning. Den drivande kraften för att klara pålastningen bestod dock endast av rörelseenergin i den roterande maskinmassan av generatorer och turbiner. Den var dock liten i förhållande till pålastningen och maskinerna bromsades ner mycket snabbt. Varvtalet och därmed frekvensen sjönk därför till nivåer som generatorernas skyddsutrustningar reagerade på och kopplade bort dem från nätet inom några sekunder. Även andra skydd kan ha reagerat på de mycket höga effekter som kortvarigt matades ut från generatorerna.

Delsystemet som bestod av Sydsverige och Sjöland hade således inga förutsättningar att klara situationen på egen hand utan bröt samman, varvid alla spänningar föll till noll.

Mindre än 10 sekunder efter uppdelningen av nätet i Sverige, slogs samtliga brytare från i Söderåsen. Därmed separerades Sjöland från övriga (isolerade) sydsvenska nätet. All lokal produktion i Sydsverige samt all produktion på Sjöland upphörde i och med sammanbrottet.

4.6. Frekvens och spänningsregistrering

En frekvensloggning över hela förloppet presenteras på bilaga 2. Enligt Svenska Kraftnäs frekvensmätare i Nätkontroll hade frekvensen sjunkit till 49,27 Hz omedelbart efter felet i Horred och bortfallet av Ringhals 3 och 4. En frekvensmätare i Söderåsen har då registrerat 49,23 Hz. Någon aktivering av automatisk förbrukningsbortkoppling (AFK) bör därför inte ha skett i detta skede av störningen.

I samband med spänningskollapsen har mycket låga frekvenser mätts upp på flera platser i regionnäten. Dessa har inträffat under det turbulenta sammanbrottsskedet då pendlingar har uppstått i effektlöden, spänningar och frekvens. Det kan förklara skillnaderna mellan hur olika AFK-utrustningar har reagerat.

Sydskraft

På Öland i Sydkrafts nät har uppmätts frekvenser under 48,00 Hz, vilket är tillräckligt för start av alla steg på den automatiska förbrukningsfrånkopplingen (AFK).

De AFK:er som har aktiverats inom Sydkrafts område motsvarar ca 750 MW. Av de 16 AFK:er som var i drift har 12 stycken indikerat att de gått i funktion.

Vattenfall

Vattenfalls driftcentral i Linköping har haft svårigheter att klarställa om de haft några AFK-funktioner som reagerat pga. av att deras driftövervakningssystem slogs ut i samband med störningen. I stationerna har dock inga utrustningar indikerat att de gått i funktion.

Inom Vattenfalls nät i Västsverige har AFK i Gislaved trätt i funktion.

Fortum

Fortums driftcentral i Kungsbacka, som övervakar stora delar av 40 kV nätet i Småland, uppger att två AFK:er trätt i funktion (Eksjö och Nässjö).

Hos Fortum i Stockholm bortkopplades värmepumpsanläggningar på totalt 26 MW.

En spänningsregistrering över hela störningsförloppet presenteras i bilaga 3. Mätningarna är från Odensala och visar på mycket kraftiga spänningsfall högt upp i Mellansverige. En del känslig utrustning har därmed påverkats och bl.a. orsakat störningar i tunnelbanetrafiken i Stockholm samt en del lokala bortkopplingar, som bl.a. påverkade Sveriges Radio i Stockholm.

5. Omfattningen av störningen

5.1. Delning av stamnätet

Delningen av stamnätet innebar således att den södra delen av Sverige och med Själland till en början hängde samman i ett delsystem som mycket snabbt kollapsade. Den kvarvarande svenska delen bestående av Norrland, merparten av Svealand samt norra Västsverige stabiliserades snabbt. Bidragande till detta var också att utlandsförbindelserna till Norge och Finland var intakta. Likströmsförbindelsen till Jylland kunde snart återställas.

Det norra delsystemet utgjorde således en stark grund för återuppbyggnaden.

5.2. Själland

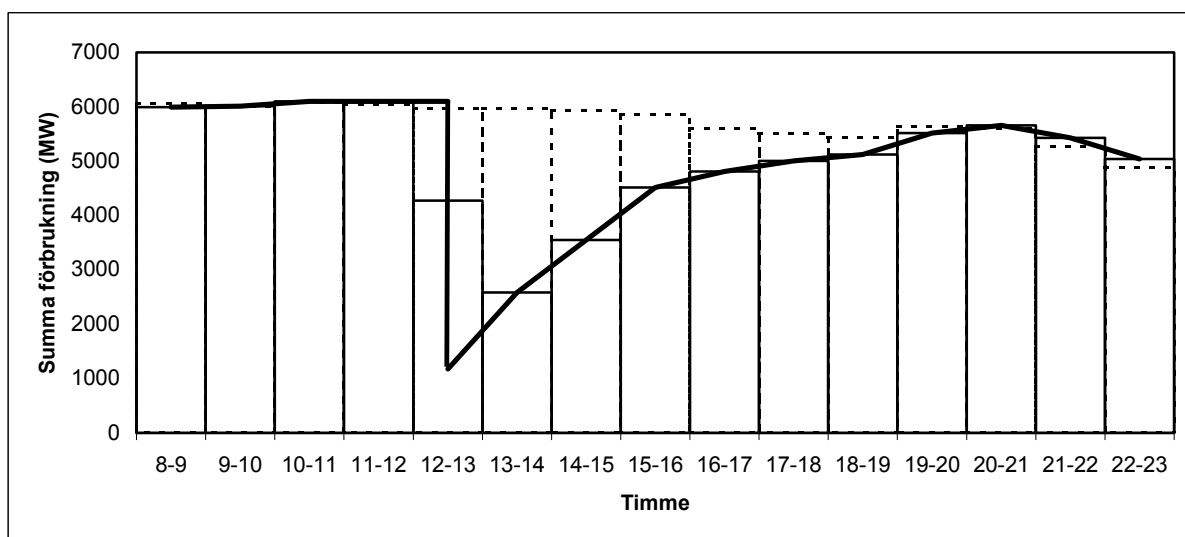
Delningen mellan Sydsverige och Själland skedde efter sammanbrottet av detta delsystem. När spänningarna gått ner till noll öppnades brytarna på Öreundsförbindelserna genom en korrekt funktion av deras reläskydd.

Under störningen uppstod kraftiga pendlingar i effekt och spänning. Pendlingarna påverkade även de danska värmekraftverken. Inget av dessa klarade av att övergå till husturbindrift.

Under störningsförloppet uppstod en transformatorskada på Asnäsverkets block 5, som är det största värmekraftblocket på Själland. Skadan medförde att blocket inte kunde användas vid återuppbyggnaden av elförsörjningen.

5.3. Bortkopplad förbrukning

Momentant kopplades ca 4 700 MW förbrukning bort i Sydsverige. Det framgår av diagrammet att förbrukningen vid återinkopplingen inte helt gick upp till samma nivå som före störningen. Troligen berodde detta på att många valde att inte återuppta verksamheten efter att nätet var återställt. Det kan också bero på att vissa industrier behöver lång tid för komma tillbaka till full förbrukning.



Figur 6. Staplarna och kurvan i diagrammet visar förbrukningen i det påverkade området under dagen för störningen. De streckade linjerna visar förbrukningen den 22 september.

Ungefär klockan 18.30 rapporterades att alla kunder åter var anslutna till nätet. Summeras skillnaderna för timmarna 12 till 19, får man ca 10 miljoner kWh som således är en uppskattning på mängden icke levererad energi under störningen.

5.4. Rapporter från regionnätsföretag i det påverkade området

Nedan redovisas uppgifter om bortkopplade kunder och bortkopplad förbrukning, som inkommit från berörda driftcentraler

Sydkraft

Momentant hade man tappat ca 3 100 MW. All produktion, förutom 14 MW vattenkraft, kopplades bort. Sydkraft har gjort en liknade beräkning som ovan av icke levererad energi i till sina kunder och erhållit ca 6 miljoner kWh. Sydkraft har 690 000 nätkunder i det påverkade området.

Vattenfall

Inom Vattenfall Västnät bortkopplades ungefär 88 500 kunder, vilket motsvarade ca 470 MW. Efter 90 minuter hade alla kunder åter elförsörjning.

Vattenfall Östnät hade 42 000 kunder som påverkades av längre strömavbrott. Avbrottets längd varierade mellan 5 minuter och en dryg timme. Förbrukningen före störningen var 1 300 MW och initialt tappade man 1 000 MW, varav 700 MW kunde återställas inom 15 minuter.

Hos Vattenfall på Gotland bortkopplades 36 000 kunder, vilket motsvarade 110 MW. Efter 40 minuter började strömmen kunna återställas av med hjälp gasturbiner. Efter drygt två timmar hade alla kunder åter ström. Ungefär samtidigt som den sista kunden fick strömmen tillbaka, kunde också likströmslänken till fastlandet åter tas i drift.

Fortum

För Fortums driftcentral i Kungsbacka, som övervakar stora delar av Sydkrafts nät i Småland, bortkopplades 40 100 kunder med en förbrukning på 220 MW (siffrorna på kunder och förbrukning är medräknad i Sydkrafts totala summa ovan). Kl. 14.03 kunde återuppbyggnaden starta, kl. 14.45 var merparten i drift och kl. 16.10 fick den sista kunden strömmen tillbaka.

Fortums driftcentral i Stockholm rapporterade att 26 MW i värmepumpsanläggningar bortkopplades.

Vid tillfället rådde stark vind på flera ställen i landet vilket medförde flera elavbrott i lokalnäten som saknar samband med det stora avbrottet. I Dalarna/Värmland/Hälsingland samt i Uppsala gav omkullblåsta träd svårigheter i näten med elavbrott på lokalnäten som följde.

6. Återuppbyggnaden

Strategin för återuppbyggnad av stamnätet är att spänningssättning av ledningarna sker norrifrån och slingor av ledningar skapas från norr till söder. Slingorna stagas sedan upp med anslutning av tvärgående ledningar för att ge ett starkare nät.

Inledningsvis är dessa slingor av ledningar lågt belastade, vilket medför svårigheter med spänningsregleringen pga. den reaktiva genereringen kan bli för stor. Därför kan man inte ha för många parallella slingor i drift.

Pålastning sker sedan genom att förbrukningsområden kopplas till i lämpliga steg och den produktion som finns tillgänglig startas.

6.1. Driftinformation, larmhantering

Kraftiga frekvensvariationer medförde att Nätkontroll kl. 12.30 uppmärksammades på att ett allvarligt fel hade inträffat i kraftsystemet.

Minuterna därefter fylldes driftövervakningssystemet Hansa i Nätkontroll med en stor mängd larm. Under ett störningsförlopp kommer det in många larm; spänningslarm, brytarlarm och andra larm. Detta gör att det kan bli komplicerat att analysera var felkällan är. Bl.a. var det vid detta tillfälle inledningsvis svårt att urskilja vilka objekt som hade fränkopplats av reläskydd respektive av nollspänningsautomatiker.

6.2. Kopplingar, spänningsreglering

Nätkontroll konstaterade att området söder om stamnätsstationerna Glan, Kolstad och Strömma var spänningslösa inklusive samtliga stamnätsstationer. Dessutom var samtliga brytare frånslogna i dessa stationer.

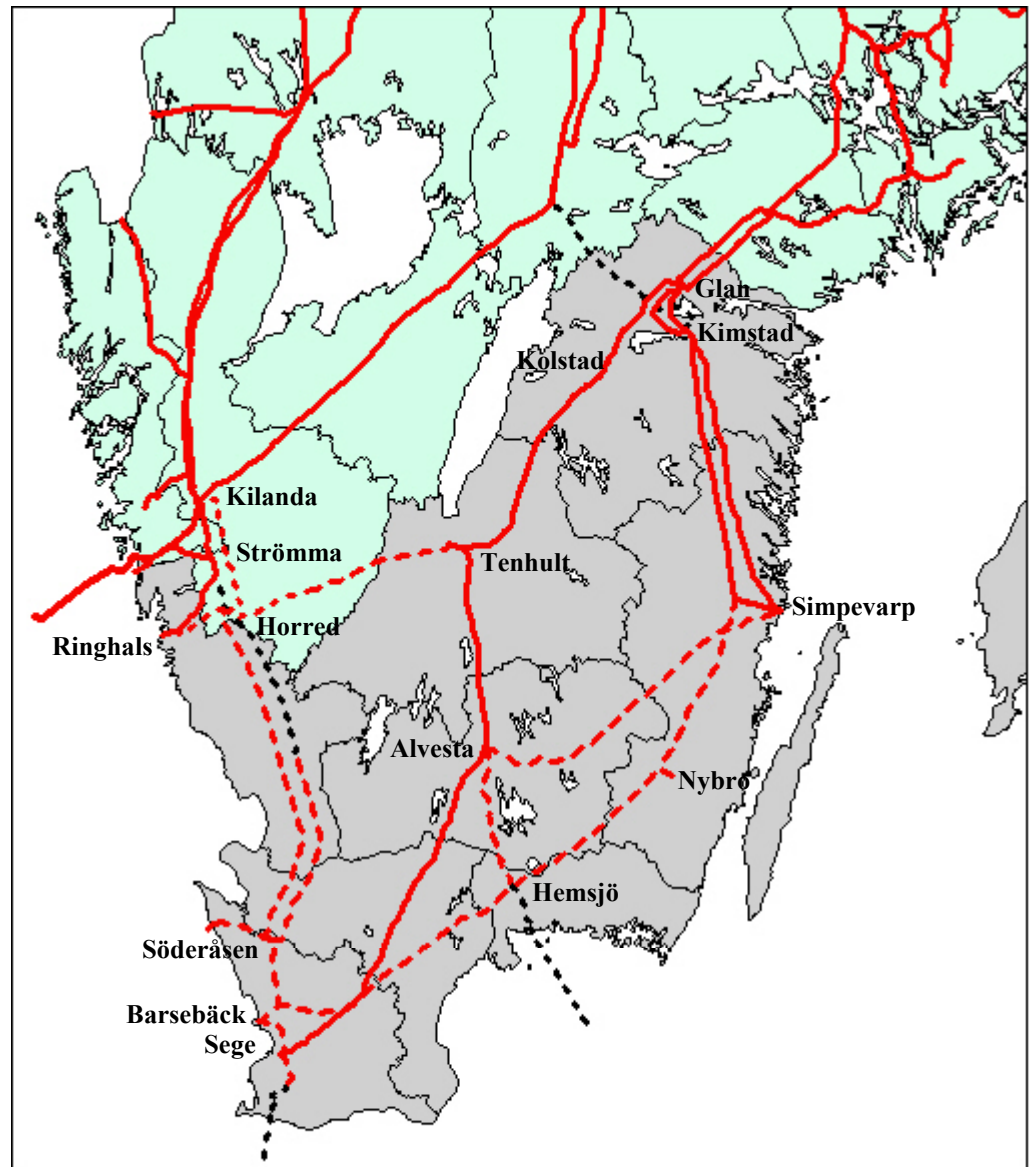
De första minuterna gick åt till att stabilisera det kvarvarande systemet, vilket nu var relativt lågt belastat. Detta medförde något höga spänningar och hög frekvens men situationen var stabil.

Nästa steg var att få en klar bild av det störda områdets omfattning. Sydkraft rapporterade att deras nät var spänningslöst, något senare meddelade Elkraft att Själland var spänningslöst.

Kärnkraftverken Ringhals och Oskarshamn kontaktades beträffande blockens status. Beskedet från Ringhals var att Block 3 hade snabbstoppats och att block 4 hade klarat övergången till husturbindrift. Oskarshamnsverket meddelade att inga block var tillgängliga. Det var angeläget för kärnkraftsblocken att stationerna Horred i Västsverige samt Simpevarp i Öst-sverige kunde prioriteras vid återuppbyggnaden. Det var också viktigt för stamnätet att så fort som möjligt kunna koppla in produktion för att stabilisera nätet.

Horred spänningssattes första gången norrifrån genom tillkoppling av ledningen Kilanda – Horred. Det fortsatta uppbyggnadsarbetet omkring Horred redovisas i avsnitt 6.3 nedan.

I Tenhult och Kolstad, som nu var spänningssatta av driftuppbyggnadsautomatiken (DUBA), kunde förbrukning kopplas in. Ledningen Horred – Tenhult kopplades också in från Tenhult. Ledningssträckan Tenhult – Alvesta – Sege spänningssattes.

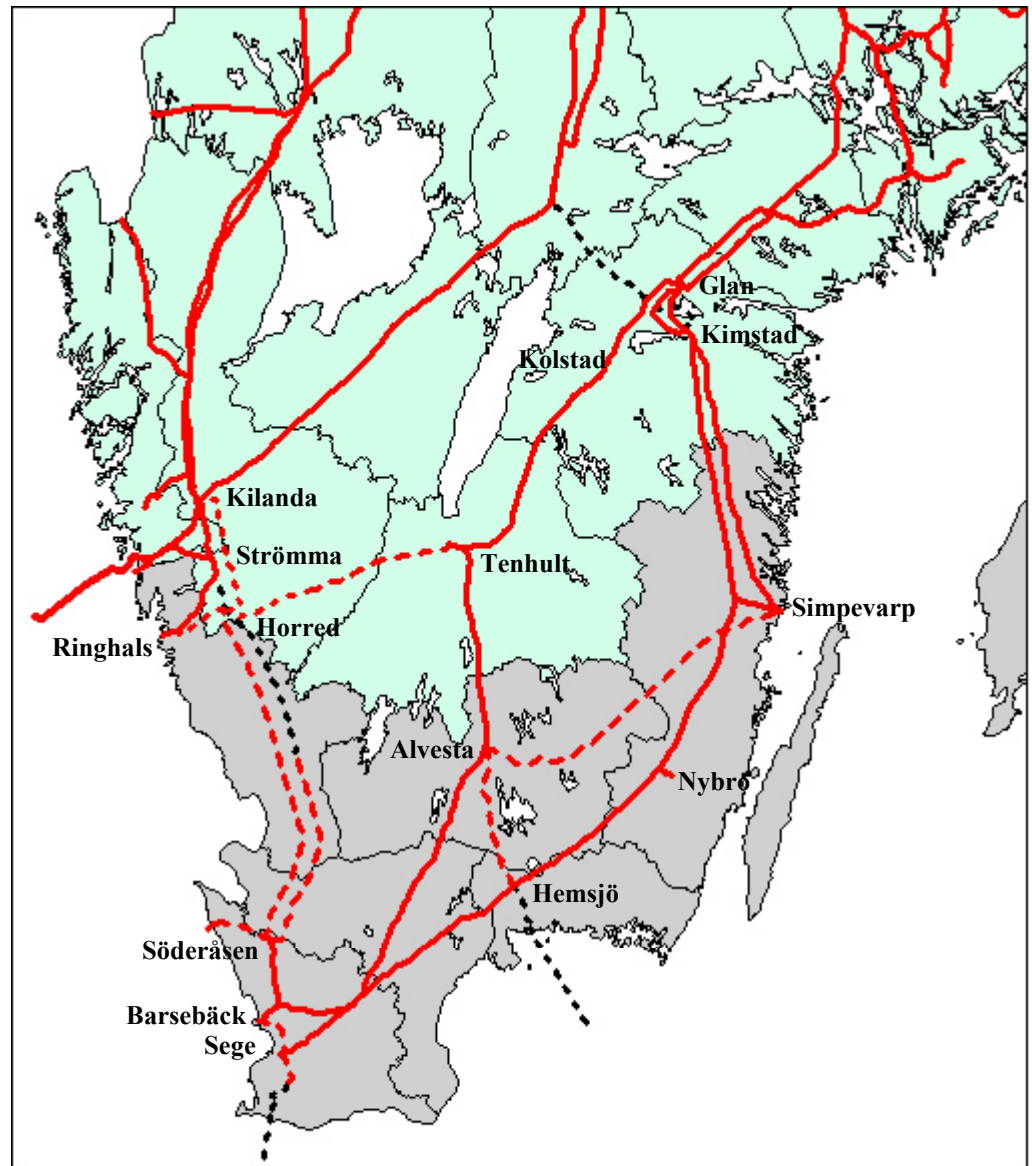


Figur 7. 400 kV nätet efter 30 min. Påverkade områden är skuggade i figuren.

Kl. 13.00 försvann möjligheten att fjärrmanövrera stamnätsstationen Alvesta pga. att fjärrkommunikationen bröts, vilket medförde att Nätkontroll inte kunde manövrera stationens brytare. Personal skickades ut till Alvesta-stationen för lokal manövrering av brytarna.

De svårigheter som uppenbarade sig vid återuppbyggnaden runt Horred ledde till att den västra stamnätsdelen hanterades separat. Spänningssättning startade i östra delen av Sydsverige och utgick från stamnätsstationerna Kimstad och Glan ner till Simpevarp. Från Simpevarp spänningssattes sträckan Simpevarp – Nybro – Hemsjö – Barsebäck.

Ledningen Sege – Barsebäck tillkopplades av Nätkontroll men fränkopplades automatiskt. Försök att åter tillkoppla denna ledning övergavs för tillfället och istället tillkopplades ledningen Söderåsen – Barsebäck.



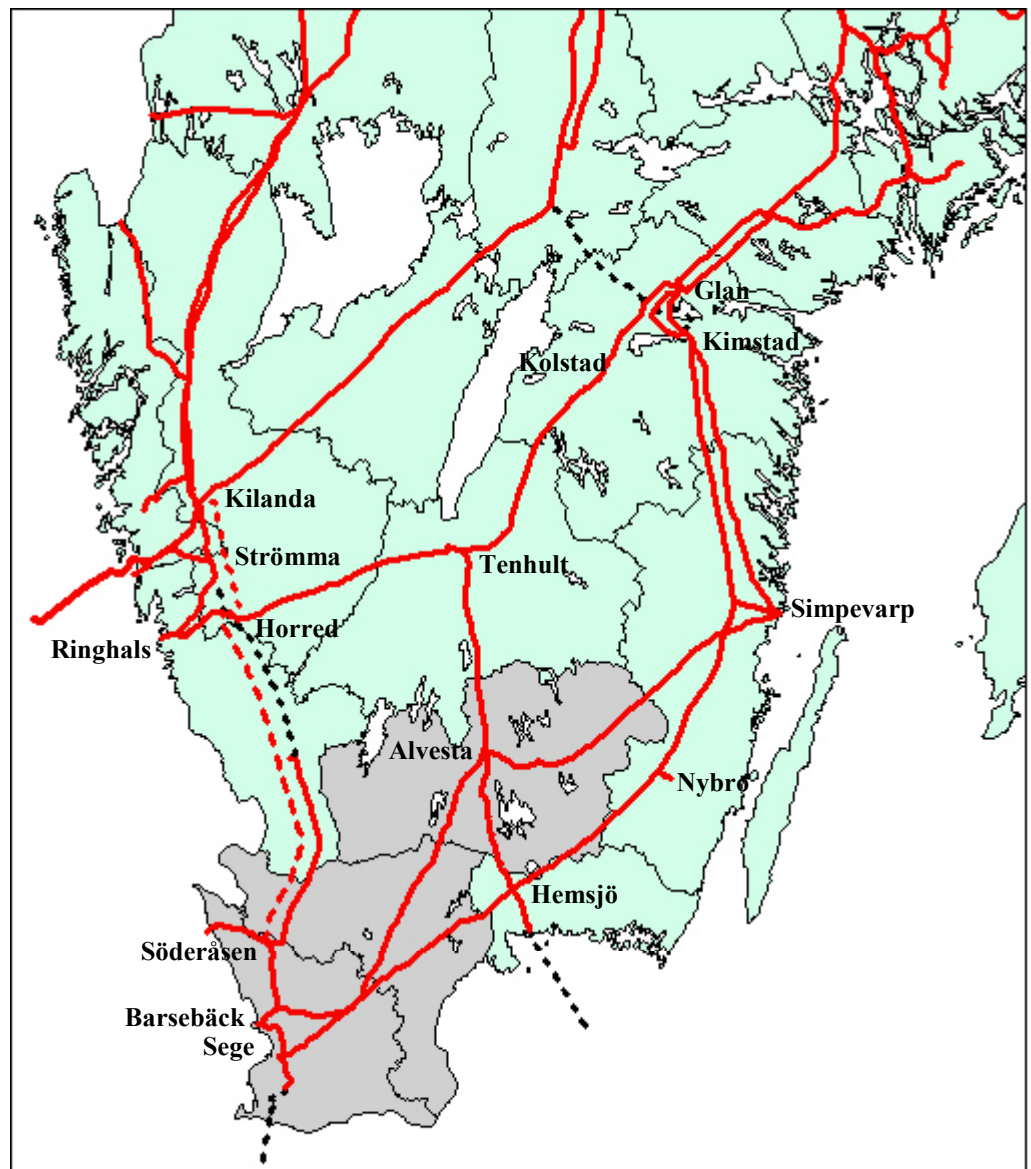
Figur 8. 400 kV nätet efter 60 min.

Nätet i söder bestod nu av två tämligen svaga ledningsslingor från Östergötland genom Småland, Blekinge och Skåne till Söderåsen i västra Sydsverige.

Kl. 13.28 hade Söderåsen blivit spänningssatt. Spänningarna varierade avsevärt. För att de spänningsreglerande reaktorerna i området ej skulle kopplas in och ur upprepade gånger, togs dessa reaktors extremspänningsautomatiker ur drift (I appendix 4 beskrivs funktionen av denna automatik). Extremspänningsautomatiken i Alvesta kunde inte kopplas ur eftersom fjärrkommunikationen brutits tidigare under återuppbyggnaden.

Riskerna för att anslutna transformatorer skulle ha skadats i samband med de höga spänningarna belyses i Appendix 2.

Sydkraft fick nu besked om att kvarvarande systemtransformeringar mellan stamnätet och underliggande nät i Sydkrafts område kunde kopplas in och att varje transformering fick belastas med maximalt 100 MW. Ledningen Sege – Barsebäck tillkopplades och kontroll av sektioneringsbrytare i de spänningssatta ställverken utfördes, så att inga sektionerade ställverk fanns i det spänningssatta området. Det fanns nu två slingor spänningssatta i mellersta och östra delen av Sydsverige.



Figur 9. 400 kV nätet efter 120 min.

Kl. 13.46 spänningssattes ledningarna mellan Sverige och Själland. Besked gavs till Elkraft på Själland att de kunde importera upp till 100 MW från Sverige. Horred kopplades in igen och ledningen Horred – Tenhult tillkopplades, vilket medförde att block 4 i Ringhals kunde leverera effekt ut på nätet igen. Pålastningen hos Sydkraft skedde successivt i steg om 200 MW. De tvärgående ledningarna Simpevarp – Alvesta samt Alvesta – Hemsjö tillkopplades.

Stamnätet i Sydsverige var nu uppbyggt förutom den västra sidan. Överföringskapaciteten i snitt 4 var reducerat till 1450 MW pga. att stamnätet fortfarande inte kunnat byggas upp i Västsverige, vilket begränsade möjligheterna att återansluta förbrukare. Detta förbättrades emellertid i takt med tillkoppling av gasturbiner på underliggande nät i Sydsverige.

6.3. Återuppbyggnaden kring Horred

När återuppbyggnaden av Horred började var samtliga ledningar bortkopplade och brytarna frånslagna. Första spänningssättningen av Horred skedde genom att ledningen Kilanda – Horred tillkopplades till samlingsskenan A400, se figur 3. Därefter tillkopplades sektioneringsfacken AD400 och BD400 vilket medförde att samtliga tre samlingsskenor blev spänningssatta. Nästa ledning som tillkopplades var ledningen Horred – Tenhult kl. 12.50. Därmed var två ledningar inkopplade i Horred.

I detta läge var det fortfarande inte känt att AD400 facket endast fungerade i två faser pga. fränkskiljaren havererat i R-fasen. (De tre faserna benämns R, S och T)

När den södergående ledningen Horred – Söderåsen kopplades in i Horred fränkopplades ledningsbrytaren av reläskydden. Efter ytterligare misslyckade försök att tillkoppla ledningen Horred – Söderåsen började man misstänka att ledningen var felbehäftad. Patrullering av ledningen med hjälp av helikopter samt inspektion av ställverket i Breared och ledningsfacket i Horred och Söderåsen startade. Inget fel upptäcktes.

När ledningen från Horred till Ringhals 4 kopplades in fränkopplades hela Horred på nytt bort av reläskydden. Ringhals 4 hade nu varit i husturbindrift i en timme, och det var osäkert hur lång tid blocket skulle kunna fortsätta med detta. Horred spänningssattes återigen med ledningen Kilanda – Horred från Kilanda och även ledningen Horred – Tenhult kopplades in. Då kopplades ledningen Kilanda – Horred bort i Kilanda av reläskydden. Horred hade nu spänning via ledningen Horred – Tenhult. Ledningarna till Ringhals 3 och 4 kopplades in och block 4 kunde börja leverera effekt ut på nätet kl. 13.59.

Från Ringhals 3 meddelades att transformatorerna T31 och T32 fränkopplats av skydd som reagerade på s.k. osymmetriska strömmar. Samtidigt kom besked om att det i Kilanda bara fanns spänning i två faser. Nätkontroll konstaterade att ledningarna Kilanda – Horred och Horred – Ringhals 3 fick spänning via AD400 facket i Horred. Därmed kunde svårigheterna med att bygga upp nätet runt Horred härledas till att ett fel måste föreligga i AD400 facket.

Ca kl. 16.40 beslöts att AD400 facket och facket till ledningen Horred – Söderåsen i Horred skulle inspekteras noggrant. Senare gav personalen i Horred besked om att frånskiljaren benämnd AD400-A-F i Horred hade havererat i en fas.

En driftomläggning genomfördes då i Horred, varvid samlingsskenan A400 skulle kunna tas ur drift. Vid denna driftomläggning kopplades hela Horred återigen bort, kl. 17.55. Detta förlopp redovisas närmare i avsnitt 7.2 nedan. Nätkontroll slutförde därför kopplingarna i spänningslöst tillstånd. Stationen spänningssattes sedan från Kilanda och de återstående fränkopplade ledningarna kunde successivt tillkopplas i Horred.

6.4. Underhållsarbeten avbryts

Två ledningar i Sydsverige var ur drift på grund av underhållsarbeten, Strömma – Breared och Hallsberg – Kimstad. Som nämnts i avsnitt 6.3 befarades ett linbrott på Horred – Söderåsen. Samtidigt var det osäkert när produktionen som fränkopplats vid störningen skulle komma tillbaka. Överförings- och produktionbrist befarades för södra Sverige. När båda ledningarna på Västkusten, Horred – Söderåsen och Strömma – Breared, är ur drift samtidigt begränsas snitt 4 till 1 500 MW. Beslutet togs då att avbryta pågående underhållsarbeten på ledningarna. Åtgärder vidtogs för att åter ta berörda ledningar i drift.

På ledningen Hallsberg – Kimstad pågick arbeten på frånskiljare i både Hallsberg och Kimstad. Personal extrainkallades. På kvällen blev frånskiljarna i Hallsberg klara. I Kimstad blev en frånskiljare inte klar, vilket ledde till en ny driftläggning i stationen. Kopplingarna utfördes på natten och ledningen kopplades in kl. 0.57.

På ledningen Strömma – Breared pågick arbete på frånskiljare, montage av bärfrekvensspärrar och byte av skruvningar (fasföljdskiten) på ledningen. Beslut togs att arbetet skulle vara avslutat före kl. 6.00 för att ledningen skulle kunna vara i drift under morgonens belastningstopp.

Även ledningen Hemsjö – Karlshamn var ur drift för byte av isolatorporslin. Här togs ett tidigt beslut att påskynda detta arbete för att så snabbt som möjligt kunna få in Karlshamn 3. Ledningen skulle ha tagits i drift kl. 17.00 men tack vare forceringen blev den klar redan kl. 14.32.

6.5. Produktionsanläggningarna, effektbalansen i Sydsverige och Själland

Balansen i det nordiska elsystemet efter felet såg god ut, trots att flera kärnkraftsblock hade stoppats samt att all produktion på Själland var borta. Tillgången på vattenkraft för reglering var god, både i Sverige och i Norge. Svårigheten var att kunna överföra kraften till södra Sverige. Utan de båda västkustledningarna var kapaciteten i snitt 4 ca 1 500 MW och förbrukningen söder därom var ca 3 000 MW före störningen. Det gjordes löpande analyser av effektbalansen under uppbyggnaden allt eftersom förbrukning och produktion återkom i området. Samtidigt gjordes en utvärdering av effektbalansen för morgondagen.

Det beslutades tidigt att begära start av värmekraftblocket Karlshamn 3 samt att starta gasturbinerna. Gasturbinerna kunde startas först när stationerna spänningssatts och nätet runt omkring var tillräckligt stabilt. De körde vidare tills annan produktion och minskad förbrukning under kvällen medgav att de kunde stoppades. Sista gasturbinen stoppades kl. 0.05 den 24:e. Gasturbineffekten var som mest 477 MW. Karlshamn 3 togs i drift kl. 17.18 och stoppades kl. 15.38 dagen därpå. Den körde som mest 314 MW. Sydkraft utnyttjade både den och vissa egna gasturbiner för egen del för att täcka upp den produktion de tappat.

Av kärnkraftsblocken var det bara Ringhals 4 som klarade övergång till husturbindrift. Blocket kopplades tillbaka in på nätet kl. 13.59 för att sedan kopplas från igen kl. 17.56 då blocket ännu en gång klarade husturbindrift. Denna gång återkom blocket kl. 18.14. Ringhals 3 kom tillbaka dagen därpå kl. 13.20. Oskarshamn 3 som fränkopplades i den inledande störningen fick återstarten uppskjuten under lång tid. Den bortkopplade vattenkraften var i storleksordningen 100 MW. Denna återkom allteftersom regionnätet återuppgjordes.

<u>Kärnkraft</u>	<u>Start</u>
Ringhals 3	2003-09-24 kl. 13.20
Ringhals 4	2003-09-23 kl. 13.59

<u>Gasturbiner</u>	<u>Start</u>	<u>Stopp</u>
Barsebäck B13	15.29	20.58
Barsebäck B14	15.27	21.17
Halmstad B11	14.55	22.49
Halmstad B12	14.57	22.36
Karlshamn B13	17.41	23.45
Oskarshamn B13	16.32	21.05
Oskarshamn B14	16.47	21.38
Öresund B24	15.03	0.03 2003-09-24
Öresund B25	16.27	0.05 2003-09-24

<u>Kondens</u>	<u>Start</u>	<u>Stopp</u>
Karlshamn 3	17.18	15.38 2003-09-24

På Själland lyckades man inte genomföra en s.k. dödnätstart utan tvingades att vänta på spänning i Söderåsen innan de kunde börja sin återuppbyggnad av nätet. Kl. 13.46 kopplades 400 kV förbindelserna mellan Själland och Sverige in. Spänningarna pendlade innan någon spänningsreglerande anläggning blev inkopplad. Kl. 14.15 kopplades Kyndbyverket in på nätet. Övriga större värmekraftverk startades allteftersom de fick spänning. När spänningen blivit stabil kunde de mindre värmekraftverken och vindkraftverken åter tillkopplas. Efter kl. 19 fick underliggande nätsällskap på Själland tillåtelse att koppla in återstående förbrukning.

6.6. Region/lokalnäten

Den varierande spänningen på stamnätet innebar svårigheter under det tidiga skedet av återuppbyggnaden. En bidragande orsak till detta var den avbrutna kommunikationen med Alvesta som gjorde att reaktorn inte kunde manövreras med hjälp av fjärrkontroll.

De regionnätsägare som påverkades av störningen var Sydkraft, Vattenfall Öst- och Västrät och Fortums regionnät i Halland.

Vattenfall Östrät med uttagspunkter i Kimstad, Glan och Kolstad kunde börja sin återinkoppling snabbt. De förlorade emellertid fjärrmanövreringen till många stationer vilket, medförde att man behövde bemanna stationerna. All förbrukning hos Vattenfall Östrät hade kopplats tillbaka kl. 13.50.

Vattenfall Västräts uttagspunkter i det påverkade området är Tenhult, Uddebo och Ringhals. De börjar sin pålastning ca 15 min efter störningen. Kl. 14.13 var den sista stationen spänningssatt.

Sista kunden i Sydkrafts smålandsnät, som övervakas av Fortums driftcentral i Kungsbacka, fick tillbaka elförsörjningen kl. 16.10. Kunderna i Fortums regionnät i Halland påverkades inte under störningen men nätet påtvingades höga överföringar under återuppbyggnaden.

Även Sydkraft påverkades starkt av spänningsvariationerna som uppstod. Återinkopplingen gick i allt väsentligt bra. I stort sett hann man med att tillkoppla i den takt som tilldelning och ökande produktion inom området medgav. De sista kunderna anslöts ca kl. 18.30.

6.7. Baltic Cable

Ca kl. 15.00 fick Nätkontroll besked från Sydkraft att det fanns en möjlighet att avbryta det underhållsarbetet i Tyskland som gjorde att Baltic Cable inte var i drift. Vid denna tidpunkt var orsaken till felet i stamnätet inte klarställd och det befarades ett linbrott på en av västkustledningarna. Kl. 16.30 träffades en överenskommelse med Svenska Kraftnät att förbindelsen skulle tas i drift och import påbörjas så snart som möjligt. I början av kvällen var felorsaken i Horred känd och driften av stamnätet bedömdes kunna ske på

ett säkert sätt utan import från Baltic Cable. Sydkraft meddelades då att arbetena med att återgå med kabeln kunde avbrytas. Kl. 20.00 meddelade Sydkraft att arbetet att återgå stoppats.

6.8. Operativ informationshantering DC/DC

Kontakten mellan Nätkontroll och andra företags kontrollrum är givetvis intensiv vid en störstörning. Den uppfattades fungera väl, såväl med regionnät och produktionsbolagen som med de övriga systemansvariga i Norden.

Kontakten mot övriga systemansvariga i Norden togs snabbt för att meddela vad som hänt i Sverige. Därefter hölls kontinuerlig kontakt, speciellt med Statnett, för att hantera balanshållningen.

Däremot var det svårt att underrätta alla regionnäts driftcentraler. De sökte ofta informationen själva. Ett nytt sätt att hantera information till alla driftcentraler behöver därför utvecklas.

Det skedde löpande kontakter med berörda produktionsbolag, Sydkraft angående Karlshamn 3, Gasturbiner och Baltic Cable, och med Ringhals angående deras situation.

7. Anläggningarna

7.1. Frånskiljaren i Horred

Felet i Horred, se avsnitt 4.2, initierades av en kortslutning mellan två faser i ställverket. Ljusbågen uppstod när frånskiljaren AD400-A-F havererade och den nådde även intilliggande B-skena.

Frånskiljarens uppbyggnad och funktionssätt

En frånskiljare av den havererade typen består av tre poler som är mekaniskt fristående från varandra. Varje pol har en saxformad strömbana med ett mekanismhus, som står på en massiv stödisolator för isolation mot jord. Parallellt med stödisolatorn finns en vridisolator, som överför manöverkraften från motormanöverdonet på frånskiljarstativet till mekanismhuset och vidare till strömbanan.

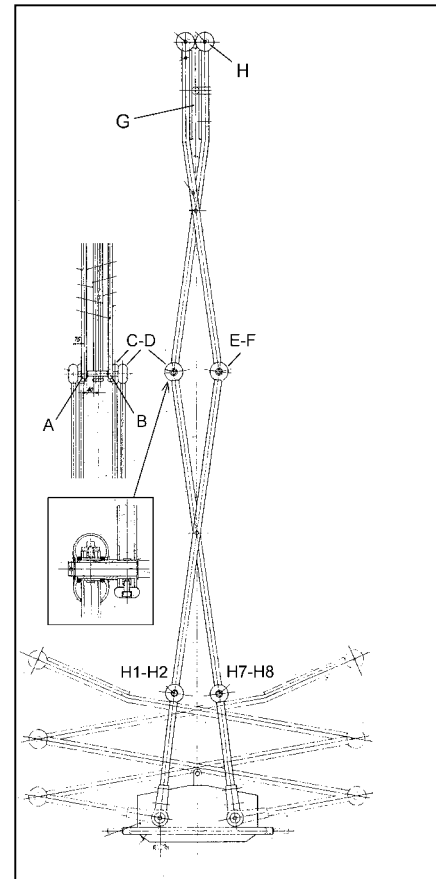
Mekanismhuset innehåller fjädrar för kompensation av strömbanans egenvikt och mekaniska komponenter, som möjliggör att strömbanan höjs vid slutning av frånskiljaren och sänks vid öppning. I mekanismhuset finns även en låsning som fäster frånskiljaren i slutet läge och åstadkommer det kontakttryck, som krävs i strömbanans samliga leder och kontakter för säker strömöverföring. Strömbanans armar utgörs av elastisk aluminiumprofil som i slutet läge alltid står under förspänning.

De rörliga kontakterna består av koncentriskt anordnade kopparbussningar. I strömbanans fasta kontakter är dessa kopparbussningar inpressade i aluminiumprofilerna och dessutom förstärkta med hållare för ökat kontakttryck. Strömbanans sax griper i slutet läge med högt kontakttryck om en fast monterad motkontakt på överliggande samlingsskena.

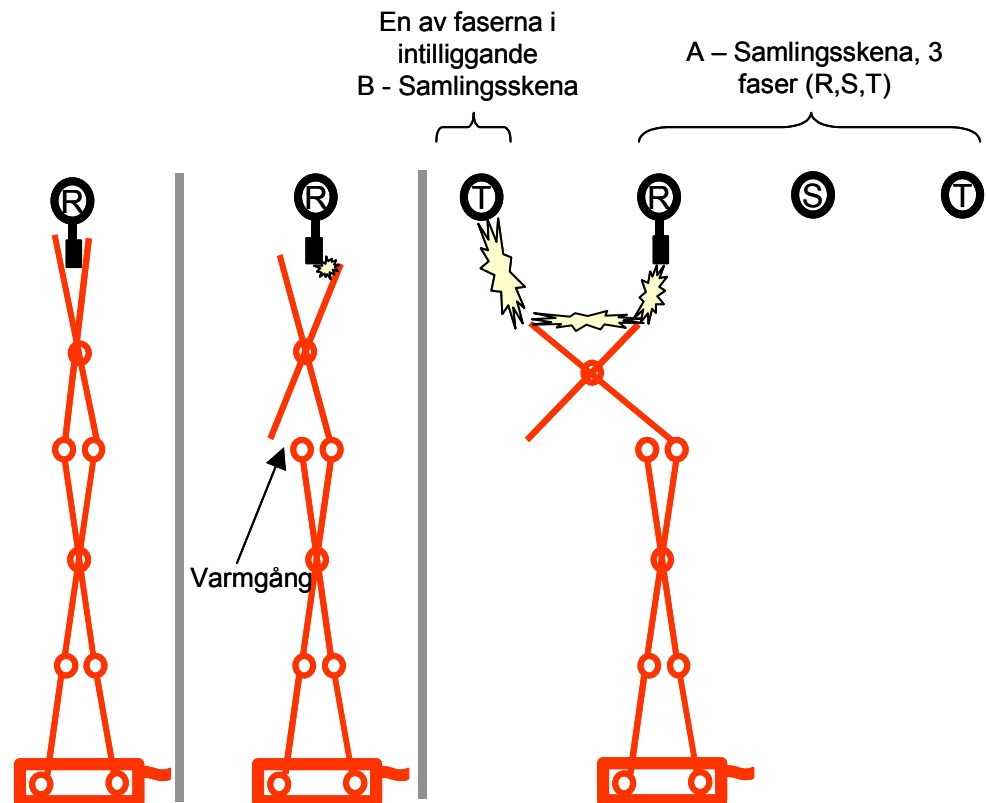
Observerade skador på frånskiljaren

När den havererade frånskiljaren uppmärksammades i ställverket stod strömbanans nedre del i oförändrat läge. Strömskenorna ovanför den övre raden av kontaktleder (C-F) var vinklade cirka 90 grader mot normalt läge och i riktning mot B-skenan. De båda fasta kontakterna (A och B) vid ena sidans rörliga kontakter (E och F) var kraftigt sönderbrända.

Komponenter av aluminium som ändarna på strömskenorna och deras förstärkta infästningar hade smält. Härvid har polen tappat kontakttrycket helt. Övre delen av strömbanans sax har släppt från den överliggande fasta motkontakten och strömbanans övre del har vridit sig runt axeln och de rörliga kontakterna (C och D) på motsatt sida. Samtliga fyra övre rörliga kontakter (C-F) var skadade av hög värme. Skador på saxens kontaktskenor (G) av försilvrad koppar och genombränningar på ett av de övre coronaskydd (H) visar ljusbågens inverkan efter det att kontakttrycket förloras. Inga brännskador kunde upptäckas från marken på varken A- eller B-samlingsskenorna.



Figur 10. Frånskiljarens konstruktion



Figur 11. Schematisk bild över frånskiljarens kollaps där ljusbågen dras ut och över slaget till B-skenan. (Bildens skal är inte skalbar)

Haveriorsak

Den havererade frånskiljaren undersöktes på plats och skickades sedan till ett materiallaboratorium för ytterligare analyser. Omfattande smältskador och ljusbågmärken fanns vid flera kontaktövergångar. I de rörliga kontaktarna i strömbanans knäleder konstaterades signifikanta spår efter kontaktnedbrytning, strömförträngning och höga temperaturer.

Nedbrytningen har sannolikt varit ett långsamt förlopp under perioden efter senaste termograferingen i februari 2003. Frånskiljarens förmåga att leda ström har sannolikt successivt försämrats. Frånskiljaren ska enligt märkdata minst tåla

3 150 A (Ampere). Före felet i Oskarshamn 3 gick det 1 000 A genom frånskiljaren. Efter detta fel utsattes frånskiljaren för en ström på 1 500 A. Detta är långt under strömgränsen och innebär en marginell strömökning för en hel frånskiljare.

Generell underhållsplan

Frånskiljare för 400 – 220 kV underhålls hos Svenska Kraftnät enligt följande plan:

Tillståndskontroller:

- Teknisk rondning sker fyra gånger per år med apparaten i drift. I Horred rondas stationen dock var 14:de dag på grund av förekomst av tryckluftsbrutare som fordrar tätare tillsyn.
- Periodisk tillsyn (enligt avdelning C i starkströmsföreskrifterna) sker en gång per år med apparaten i drift. Denna tillsyn är att betrakta som en utökad teknisk rondning med tonvikt på elsäkerhet.
- Termografering sker en gång per år av speciellt utbildad personal. Termograferingen genomförs med rådande driftläggning. Detta medför att endast strömbelastade frånskiljare kan kontrolleras.
- Inspektion utförs vartannat år med apparaten i drift av apparatkunnig personal och omfattar även smörjning av jordade lager i kraftöverföringssystemet.
- Funktionskontroll utförs olika ofta beroende på frånskiljarnas konstruktion, uppställningsförhållanden och drifterfarenheter.

Intervallet är fyra till sex år. För frånskiljare som bedöms som tillförlitliga utförs ingen funktionskontroll med fast tidsintervall. Funktionskontroll omfattar en rad mätningar som jämförs mot gränsvärden och som ligger till grund för bedömning av tillståndet. Samtidigt utförs vissa underhållsåtgärder såsom rengöring och smörjning av öppna kontakter.

Den aktuella frånskiljaren ingår i den grupp av frånskiljare som omfattas av tidsstyrda underhållsåtgärder med apparaten tagen ur drift. Inom intervallet 4-6 år utförs funktionskontroll och vissa översynsåtgärder som rengöring och infettning av öppna kontakter och eftersmörjning av de rörliga kontakterna.

Det finska stamnätsföretaget, Fingrid, anger att de utför underhåll på sina frånskiljare av denna typ vart åttonde år. Statnett i Norge eftersmörjer lederna i sina frånskiljare med fem års intervall.

Tillståndsstyrda åtgärder som är möjliga att planera blir aktuella om någon eller flera av ovanstående tillståndskontroller visar på brister. Åtgärdsbehov anmäls av entreprenören med en felanmälan i Svenska Kraftnäts underhållssystem. Underhållsingenjören hos Svenska Kraftnät beslutar om föreslagen åtgärd skall utföras eller ej.

Revisioner som innebär omfattande åtgärder med isärtagning av hela eller stora delar av konstruktionen utförs av kostnadsskäl endast vid behov (behovsstyrt underhåll). Sådana åtgärder har hittills inte varit aktuella för

den aktuella frånskiljartypen. Dock pågår ett projekt att byta samtliga vridisolatorer till denna frånskiljartyp.

Tidigare utförda underhålls åtgärder på havererad frånskiljare:

1995-06-13 uppmättes huvudströmbanans resistans. Resultatet föranledde inga särskilda åtgärder på frånskiljaren.

2002-02-01 utfördes termografering i Horred. Vid detta tillfälle uppmättes varmgång på frånskiljaren, dock inte i den led som havererade den 23 september 2003. Varmgången borde ha åtgärdats. Detta har inte skett vilket tyder på bristande rutiner mellan entreprenören och Svenska Kraftnät.

2002-11-20 utfördes inspektion utan anmärkning.

2003-02-26 utfördes termografering i Horred. Vid detta tillfälle uppmättes ingen varmgång.

2003-09-17 utfördes teknisk rondning av ställverket i Horred utan anmärkning.

Under dagen den 23 september pågick arbete i ställverket i Horred. Vid haveritillfället kl. 12.35 var personalen inne i ställverksbyggnaden. Inget onormalt hade uppfattats från ställverket.

Drifterfarenheter

Kontakter med tillverkare och andra nätägare visar att aktuell frånskiljartyp levererats i stort antal från mitten av 1960-talet fram till år 1990. Till kunder i Europa har över 1 000 trepoliga grupper levererats. Fingrid har cirka 140 och Statnett knappt 200 trepoliga grupper. I Sverige finns idag 70 trepoliga enheter, varav 55 hos Svenska Kraftnät.

Sedan några år tillbaka har vissa fel upptäckts på frånskiljartypen. Schweiziska användare har rapporterat till tillverkaren om behov av att revidera frånskiljarnas mekanismhus, kontakter och i förekommande fall även hydraulmanöverdon. Ett fall av allvarlig varmgång i nedre kontakt vid mekanismhus och ett fall av snedställd strömbana i slutet läge på grund av skadad svetsfog har rapporterats till tillverkaren. Inget av dessa fall har lett till driftstörning. Den typ av fel, som förorsakade haveriet i Horred, har inte rapporterats från annat håll.

Varken Fingrid, Statnett eller andra svenska användare har haft några speciella problem med kontakterna i dessa frånskiljare.

Vid resistansmätningar som utförs med frånskiljaren i kallt tillstånd har förhöjda övergångsresistanser observerats. Uppfattningen har varit att dessa resistansökningar avtar genom regelbunden eftersmörjning av kontakterna med basolja och då kontakterna i drift värms genom strömgenomgång.

Vid termografering har måttliga övertemperaturer i olika kontakter uppmärksamrats. Kontroll av gamla besiktningsprotokoll efter haveriet har visat att i ett fall har kraftigt förhöjd temperatur observerats vilket borde ha åtgärdats omgående. Denna åtgärd har emellertid inte blivit utförd, sannolikt på grund av brister i rapporteringsrutiner.

Tillverkarens rekommendationer avseende underhåll

Företaget som konstruerat frånskiljaren har vid kontakt efter störningen lämnat rekommendationen att de med dagens erfarenheter anser att den eftersmörjning av kontakterna med basolja som infördes i början av 1980-talet är otillräcklig. Denna rekommendation har meddelats Svenska Kraftnät först efter störningen.

Följande åtgärder rekommenderas nu:

- Revision av alla lager och kontakter i strömbanorna
- Byte av två kullager i mekanismhusets mittlager
- Kontroll av svets i nedre del av mekanismhusets centrum
- Revision av hydraulmanöverdon där sådana förekommer

Därefter anses frånskiljaren hålla i ytterligare 10-20 år.

Vid tillståndskontroll och efter revision kontrolleras främst kontakttryck, resistans, motorström och gångtid.

Inspektionen av ställverket

Vid första inspektionen av ställverket i Horred upptäcktes inte den havererade frånskiljaren. Nätkontroll ombad personal, som befann sig i Horred, att besiktiga facket med södergående ledningen från Söderåsen, då det befarades ett fel på denna. Detta rapporterades vara felfritt.

7.2. Ljusbågen

Händelseförlopp kl. 12.35

När frånskiljaren i Horred havererade drog den med sig en ljusbåge, som brann minst 800 ms, medan frånskiljaren föll till en position ca 2 m under skenan, och ca 2 m ut mot B-skenan.

Luften kring ljusbågen joniserades, varvid överslag kunnat ske i alla riktningar. Det som avgör åt vilket håll en ljusbåge förflyttar sig i ett sådant fall är:

- -termisk stigkraft som ljusbågsenergin ger
- -vindriktningen
- -magnetiska strömkrafter

I detta fall har den termiska lyftkraften, samt vinden, samverkat att dra ut ljusbågen till de ovanliggande samlingsskenorna. På grund av rådande vindstyrka, 10 m/s och med vindriktning mot den intilliggande B-skenan, har överslaget skett till denna istället för till den närliggande fasen i samma skena (A-skenan).

Således inträffade ett fel mellan A- och B-skenan, samlingsskeneskydden reagerade och båda samlingsskenorna fränkopplades.

Efter manuell spänningssättning i Horred låg frånskiljaren till i två faser, vilket skapade osymmetrier i ställverket. Reläskydden reagerar på dessa osymmetrier, vilket ledde till svårigheterna att bygga upp nätet runt Horred.

Händelseförlopp kl. 17.55

Efter att den felande frånskiljaren lokaliserats, skulle AD400 sektioneringsfack och A-skenan i Horred tas ur drift. Detta gjordes genom att de två ledningar som var anslutna till A-skenan successivt lades över till B-skenan.

För att göra detta manövrerades frånskiljaren på ledningen mot Kilanda. Härvid erhöles brytning av kapacitiv ström på ca 30 A och en ljusbåge drogs ut mellan denna frånskiljares kontakter i den fas som låg närmast B-skenan. Fränskiljararmarna sänktes till ett par meter, varefter ljusbågen av vinden fördes mot B-skenan. Därefter reagerade samlingsskeneskyddet och kopplade bort samlingsskenorna. Förloppet blev således detsamma som händelsen kl. 12.35.

Orsaken till den kapacitiva strömmen, som tände ljusbågen, är att den tomgående ledningen mellan Horred och Ringhals 3 genererade en ström på ca 30 A. Denna ledning låg ansluten till A-skenan i Horred. På grund av frånskiljarhaveriet var det avbrott i en av faserna i sektioneringsfacket och när frånskiljaren på ledningen från Kilanda öppnades gick en ström genom frånskiljaren, som den ej förmådde att bryta.

Isolationsavstånd

Ställverket i Horred byggdes i mitten av 1970 talet. Det är ett så kallat lågbyggt ställverk. Dessa är mer kompakta än de tidigare linställverken. En förutsättning för att kunna bygga på detta sätt var de nya vertikala frånskiljarna, som kom på 1960-talet. Dessutom minskades samtidigt tillåtna isolationsavstånd i normerna något.

I Horred är det som lägst 5 meter mellan faser i egen skena, och 6 meter mellan närliggande samlingsskenor. En dimensioneringsregel är att avståndet till grannskena skall vara minst 1,2 ggr avståndet inom skenan.

7.3. Fjärrkontroll och telekommunikationssystem

Under återuppbyggnaden förlorades kommunikationen via fjärrkontroll till Alvesta, efter att en anslutning i optoutrustningen havererat, möjligtvis pga. att reaktorbrytarna till- och fränkopplades ett stort antal gånger. Detta åtgärdades ca kl. 21 och kommunikationen återupptogs.

Ett antal lokalkraftlikriktare havererade under störningen. Avsaknaden av sådana likriktare medför att stationsbatterierna inte laddas, vilket i förlängningen kan leda till att kontrollanläggningarna förlorar spänningsmatning och kommunikationen till stationen bryts.

Om telekommunikationen, driftövervakningssystem eller andra viktiga funktioner för styrning och övervakning av elnätet slås ut under en störning, är detta allvarligt. Det innebär att utrustningarna inte fungerar när de som mest behövs.

7.4. Husturbindrift

Det är av i allmänhet stor vikt att kärnkraftverken kan återuppta sin elproduktion och anslutas till stamnätet snabbt efter att stamnätet åter är i drift efter en störning.

Kärnkraftverk kan vid bortkoppling från stamnätet, vid en störning, gå till två olika drifttillstånd:

- **Husturbindrift**
Återgång till elproduktion kan ske direkt, när stamnätet tillåter.
- **Misslyckad övergång till husturbindrift**
Återgången till elproduktion fördröjs här till 4-24 timmar.

I samband med felet i Horred den 23 september lyckades Ringhals 4 gå över i husturbindrift men inte Ringhals 3. Övriga kärnkraftverk var antingen avställda (B2, R2, O1, O2, O3) eller berördes inte (F1, F2, F3, R1). Kraftverkens utrustning och förmåga att gå över i husturbindrift redovisas i appendix 3.

I det nordiska samarbetsorganet Nordel behandlas tekniska frågor för det synkroniserade nordiska kraftsystemet. Nordel har tagit fram rekommendationer rörande drifttekniska egenskaper hos värme- och kärnkraftverk större än 100 MW. Dessa har legat till grund för de förbättringar som införts i kraftverken sedan år 1983.

Svenska Kraftnät har arbetat fram ett förslag till föreskrifter rörande driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar. Förslaget baseras i stor utsträckning på Nordels rekommendationer. De omfattar också krav för andra typer av kraftverk som vattenkraft och vindkraft.

Svenska Kraftnät kommer under våren 2004 att besluta om föreskrifter som bl.a. specificerar de krav som skall uppfyllas vad gäller drifttekniska egenskaper hos kärnkraftverken. Dessa skall kompletteras med bestämmelser rörande krav på verifiering och rapportering.

Som ett led i det fortsatta arbetet med att reglera vilka krav som värmekraftstationerna ska uppfylla kommer Svenska Kraftnät att ta initiativ till att en branschgemensam arbetsgrupp bildas. Arbetsgruppen ska utreda vad som behöver göras för att öka förmågan till husturbindrift och förkorta återstarttiden samt vilka rutiner som behövs för verifiering och rapportering av förmågan till husturbindrift och återstarttid efter avställd reaktor.

8. Alternativa driftsituationer

För att kartlägga vilka kombinationer av fel som systemet skulle ha kunnat klara av så har ett antal olika alternativa initialtillstånd, som skiljer sig från den nät- och produktionssituation som rådde före störningen, definierats.

Alternativen har analyserats, statiskt och dynamiskt, med Svenska Kraftnät's analysverktyg och realtidssimulator Aristo. Förutom de nät- och produktionsförändringar som varje alternativ innebär så har den verkliga felsekvensen använts i simuleringarna. Alternativen presenteras och diskuteras nedan.

En sådan analys som redovisas här har betydelse för fortsatta diskussioner om att modifiera driftsäkerhetskriterierna.

8.1. Felet i Oskarshamn block 3 hade inte inträffat

De två samlingsskenefelen i Horred föregicks av ett stopp av block 3 i Oskarshamn. I och med detta förlorades en effekt på 1 176 MW samt i princip all aktiv spänningsreglering i sydöstra Sverige. För att klargöra inverkan av O3 på konsekvensen av felen i Horred har felsekvensen simulerats om O3 hade varit kvar i drift.

Simuleringarna visar att systemet hade varit spänningsstabilt efter felen i Horred och att spänningsskollaps därmed inte hade inträffat. Systemet hade alltså klarat två samlingsskenefel samt medföljande produktionsbortfall av två kärnkraftsblock (Ringhals 3 och 4).

8.2. Ytterligare produktion i södra Sverige

Tre större produktionskällor i området var ej i drift, nämligen Barsebäck block 2, Oskarshamn block 1 och block 2. Ett alternativ snarlikt det ovanstående är att studera är hur följderna av felet hade påverkats om något av dessa block hade varit i drift. För att begränsa antalet alternativ så studerades endast konsekvenserna av att O2 eller B2 var i drift.

Simuleringarna visar att systemet hade varit spänningsstabilt efter felen i Horred om B2 eller O2 hade varit i drift och att spänningskollaps därmed inte hade inträffat. Nätet hade alltså i så fall klarat bortfall av O3, två samlingsskenefel samt medföljande produktionsbortfall.

Resultatet av simuleringarna visar också på en skillnad på var i södra Sverige produktionen varit belägen. Med B2 i drift är systemet närmare en kollaps efter felen i Horred medan alternativet med O2 i drift är mycket stabilt.

8.3. Minst en likströmsförbindelse i drift

Transmissionnätet i södra Sverige är anslutet till näten i Tyskland och Polen via varsin likströmsförbindelse. Förbindelsernas styrutrustning känner av spänning och frekvens i utvalda punkter i Sverige och kan vid behov momentant öka sin effektransport till Sverige om behov av detta skulle uppstå och reglerutrymme för detta finns på förbindelserna.

Alternativen simulerades genom att förbindelserna kopplades in i tur och ordning med en export till Sverige som motsvarade deras maximala förmåga reducerat med nödeffektutrymme. Frekvensfallet som felen i Horred gav upphov till fick sedan starta en nödeffektuppreglering på 100-150 MW. Övrig import till Sverige reducerades så att frekvens och överföringar var desamma som gällde före störningen.

Simuleringarna gav som resultat att om SwePol Link hade varit i drift så är det möjligt att detta hade hindrat en spänningskollaps. Däremot hade det inte varit tillräckligt att ha Baltic Cable i drift. Skillnaden i resultatet förklaras genom att SwePol Link i detta fall stöttar systemet i rätt område.

Det finns dock osäkerheter beträffande om SwePol Link skulle ha varit kvar i drift eller skulle ha fränkopplats vid de kraftiga pendlingarna. I så fall hade SwePol Link inte kunnat hjälpa systemet.

8.4. Förstärkt nät till södra Sverige

En 400 kV ledning Hallsberg - Kimstad var ur drift på grund av underhåll vid feltillfället. När Horred-felet inträffade fanns ingen ledning kvar i söder, som knöt samman det östra med de mellersta och västra ledningsstråken genom Sverige. Det innebär att en del av den effekt som ersatte bortfallet av Oskarshamn 3, speciellt från södra Norge och Jylland, tvingades upp via Norrland och ner genom den östra sidan av det svenska systemet. Denna effektransport med påföljande överlast och spänningsfall kunde ha avlastats med hjälp av ytterligare en 400 kV ledning som kopplat samman mellersta och södra Sverige.

För att studera inverkan av en ytterligare 400 kV ledning har två olika fall studerats. Ett där den urdrifftagna ledningen var i drift och ett annat med en ny 400 kV ledning mellan Hallsberg och Malmö.

Resultaten av simuleringarna var entydiga för båda alternativen. En ytterligare ledning skulle ha avlastat effektransporten genom det östra systemet så att spänningskollaps inte skulle ha inträffat. Det bör dock påpekas att resultatet för inkopplingen av ledningen mellan Hallsberg och Kimstad är något hypotetiskt eftersom ledningar av säkerhetsskäl måste tas ur drift årligen för underhåll. Däremot skulle ett tillskott av ytterligare en ledning ge en ökad robusthet och flexibilitet vid planeringen av avbrott för underhåll.

8.5. Enkelt samlingskenefel i Horred

Slutligen har ett alternativ studerats där endast ett enkelt samlingskenefel inträffar i Horred. Eftersom detta fel inträffar inom 5 minuter efter felet i Oskarshamn så är även detta fel svårare än vad nätet är dimensionerat för. Trots detta visar simuleringarna på ett stabilt system efter ett Horredfel av denna typ.

9. Konsekvenser för samhället och elmarknaden

9.1. Samhällskonsekvenser

Genom elavbrottet förlorade ca 857 000 kunder i Sverige sin elförsörjning. Antalet människor som påverkades är ännu fler och kan vara en och en halv miljon eller mer. Till detta kommer de som blev utan el på Själland och Bornholm.

Genom det ganska varma vädret var det ingen särskild risk för att människor skulle komma till skada genom att frysa. Däremot inträffade en mängd andra mer eller mindre förutsägbara hinder i människors vardagsliv. Hissar har stannat mellan våningar, elektriska dörröppningar och lås har inte fungerat, tåg och andra färdmedel har inte fungerat etc.

Inom industrin har stora störningar uppstått i tillverkningsprocesser och leveranser. Handel och bankväsendet har haft svårigheter med att säkra varor och ekonomiska transaktioner.

Listan kan göras lång med olika konsekvenser av att elen föresvinns. Det ligger dock utanför ramen för denna rapport att göra en analys av hur samhället i allmänhet har påverkats av elavbrottet. Svenska Kraftnät har inom den egna verksamheten inte några förutsättningar att genomföra en sådan studie.

Andra myndigheter kommer att genomföra särskilda studier inom detta område. Svenskt Näringsliv har genomfört en studie av hur industriföretag i olika branscher har påverkats.

Den icke levererade energin under avbrottet uppgick till ca 10 miljoner kWh. En schablonmässig avbrottsvärdering som kan härledas ur Svenska Elverksföreningens rapport från år 1994 är 50 kr/kWh. Om den tillämpas blir en uppskattning av kostnaderna i Sverige för elavbrottet ca 500 Mkr.

Inom Svensk Energi pågår ett arbete med att revidera de tidigare värderingarna av kostnaderna för elavbrott.

9.2. Elmarknaden den 23 september

Ett elavbrott av den omfattning som ägde rum den 23 september är också en störning för marknaden genom att uppgjorda affärer inte kan fullföljas. En fråga är hur störningen har påverkat marknadsaktörerna i balanstjänsten – dvs. balansreglering och balansavräkning – och vilka erfarenheter vi kan dra inför framtiden.

Svenska Kraftnäts balanstjänst har två huvuduppgifter:

- att kontinuerligt hålla elbalans – i ett område (Sverige) - mellan produktion och förbrukning. Denna *balansreglering* utförs löpande dygnet runt av driftorganisationen.
- att se till att marknadens aktörer gör rätt för sig i balans hänseende genom att fördela kostnaderna för balanshållningen genom *balansavräkningen*.

Ett antal balansansvariga aktörer på elmarknaden - i Sverige ca 30 st. - åtar sig på timbasis att planera, på företagsnivå, för att produktion och inköp av kraft motsvarar den förväntade konsumtionen och försäljningen till kunderna. Avvikelse i varje balansansvarigs balans görs upp ekonomiskt i efterhand med Svenska Kraftnät.

Villkoren för de balansansvariga företagen regleras i avtal med Svenska Kraftnät, det s.k. balansansvarsavtalet. Avtalet innehåller inga särskilda bestämmelser om hur den fysiska och ekonomiska regleringen ska gå till vid ett elavbrott. De balansansvariga företagen avräknas på vanligt sätt enligt avtalet.

Balanstjänsten påverkades inte nämnvärt av störningen den 23 september. Orsaken är att balansföretagens obalanser "tog ut" varandra under större delen av eftermiddagen den 23 september. Systemet behövde endast regleras under en timme. Priset för att vara i obalans under den aktuella perioden avvek alltså från spotpriset endast under en timme. De ekonomiska effekterna för de balansvariga företagen blev därmed begränsade.

För enskilda aktörer kan dock störningen ha inneburit ett bortfall av försäljning och därmed större obalanser än vad som annars skulle ha varit fallet. Slutsatsen är att störningen kan ha fått konsekvenser för enskilda företag.

Det är dock inte möjligt för Svenska Kraftnät att bedöma dessa företags-ekonomiskt för resp. balansansvarigt företag.

10. Information och samverkan

10.1. Allmänt

Information internt och externt är en strategiskt viktig funktion för att kunna hantera en krishändelse, som ett stort elavbrott. Då skärps kraven på att relevant information snabbt ska nå ut till de berörda, bl.a. via medierna. Spridandet av information och ständig kommunikation med inblandade parter och intressenter måste därför genomsyra alla delar av krishantering.

Inom Svenska Kraftnäts verksamhet och ansvarsområde finns olika hot och risker, som kan utvecklas till "svåra påfrestningar" eller "kriser". En sådan situation inträffade 23 september.

Svenska Kraftnät har en krisplan med bl.a. riktlinjer för information och mediakontakter, t.ex. vid ett stort elavbrott. Genom övningar och seminarier testas krisplanens innehåll och funktion.

10.2. Information till omvärlden via medier

Sammanfattning

Den allmänna bedömningen verkar vara att Svenska Kraftnäts information till massmedierna om händelserna i samband med elavbrottet fungerade relativt snabbt och väl. De snabba etermedierna, i första hand radion, prioriterades. Via mediernas rapportering kunde de som påverkades av elavbrottet m.fl. intressenter få information.

Insatser medan elavbrottet pågick

Direkt efter elavbrottet uppstod ett hårt tryck från olika massmedier med förfrågningar om vad som hänt och orsaken.

Svenska Kraftnäts budskap i det läget var att ett omfattande elavbrott hade inträffat i Sydsverige, att arbetet prioriterades först till att bygga upp nätet igen och därmed inte till att utreda orsaken, samt att kunderna kunde räkna med att få tillbaka sin el inom några timmar.

Direkt till Nätkontrolls operativa personal kom till en början några telefonsamtal, men därefter blev belastningen från media måttlig under resten av störningsförloppet. Annan personal inom Svenska Kraftnät tog över och besvarade samtalen.

Inom en timme efter störningen mötte Svenska Kraftnäts representanter journalister från etermedia och tidningar och gav ett flertal intervjuer i anslutning till huvudkontoret. Information gavs också till Näringsdepartementet.

Under eftermiddagen var Svenska Kraftnät inriktat på att tillgodose behovet av intervjuer och kommentarer i olika medier på plats vid kontoret och i studiosändningar.

Ett första pressmeddelande skickades ut till medierna via TT omkring kl. 15 och lades samtidigt ut på Svenska Kraftnäts interna och externa hemsidor.

Ekot. Lunchsändningen från Sveriges Radios Ekot pågick när elavbrottet skedde. Efter kontakt med Svenska Kraftnät hade man kl. 12.52 ett kort inslag om detta. Relativt tidigt kom även information från lokalradions stationer, främst i Malmö och Jönköping (som har ett stort täckningsområde, bl.a. ned till Blekinge).

Nyhetsbyrån TT hade strax efter kl. 12, dvs. en halvtimme före det stora elavbrottet, ett meddelande till sina abonnenter (de flesta av landets medier) om elavbrott i Dalarna och Gävleborg under kategorin "Katastrofer och olyckor". Vädret vid tillfället var mycket blåsigt, närmast storm på sina håll, och TT:s reportrar trodde länge att rapporterna om elavbrottet i Sydsverige berodde på vädret. Kl. 13.00 gick TT ut med ett meddelande om att "stora delar av Skåne, Kalmar, Norrköping och delar av Själland var utan ström efter det oväder med kraftiga vindar som dragit förbi". TT meddelade också att teletrafiken störts och att det inte gick att komma ut på Internet.

Strax efteråt hade Svenska Kraftnät kontaktat TT, som kl. 13.11 i korthet gick ut med följande: "Sydsverige står sedan kl. 12.30 på tisdagen utan el"..."Området söder om en linje mellan Varberg och Norrköping har drabbats av ett elavbrott"... "Orsaken till elavbrottet är ännu okänd".

Totalt hade TT mellan kl. 13 och 22 drygt 60 meddelanden ut till sina abonnenter med anknytning till elavbrottet.

Sveriges Radios Sändningsledning fick information omkring kl. 13.10 från Svenska Kraftnät om elavbrottet. Sändningsledningen gick ut kl. 13.12 ut med denna information via främst Lokalradions stationer i Jönköping och i Malmö. Samtidigt pågick förberedelser för att utrymma hela radio- och tv-huset i Stockholm på grund av ett lokalt elavbrott.

Samtidigt blev SOS Alarm informerad om elsituationen av Sändningsledningen. Dessutom uppmanade Lokalradions stationer allmänheten i Sydsverige att inte ringa SOS Alarm, som hade de flesta centraler blockerade med samtal.

Insatser när elavbrottet avhjälpes

Under eftermiddagen och kvällen försökte Svenska Kraftnät följa upp kontakterna med de representanter för medierna m.fl. som inte kommit fram per telefon tidigare under dagen. Ett flertal intervjuer i etermedia gavs även av representanter för Svenska Kraftnät.

När orsakerna till störningen och händelseförloppet i stort var klarlagt tog Svenska Kraftnät kontakt med Sveriges Televisions Rapportredaktion ca kl. 19.15. Rapport gick då ut med denna information i nyhetssändningen kl. 19.30.

Samtidigt skickades det andra pressmeddelandet från Svenska Kraftnät, som beskrev orsakerna till elavbrottet. Meddelandet gick ut till ett stort antal medier, fackpress, elbranschföretag, myndigheter m.fl. samt lades ut på hemsidorna.

Efterfrågan på information dämpades under kvällen när de berörda el-konsumenterna hade fått elen tillbaka.

Dagen efter gick ett pressmeddelande ut med mera information om orsakerna till elavbrottet etc. Uppföljningen av mediekontakterna fortsatte under de närmast följande dagarna efter elavbrottet.

10.3. Information till myndigheter m.fl.

Sändningsledningen vid Sveriges Radio har ett särskilt ansvar för att säkerställa information till allmänheten och myndigheter vid allvarigare händelser och störningar, enligt ett avtal med Räddningsverket. Denna information kan ske via samtliga av Sveriges Radios och Sveriges Televisions kanaler, SVT:s Text-TV samt de flesta kommersiella radio- och TV-kanaler.

Vissa myndigheter kan hos Sändningsledningen begära utskick av VMA (Viktigt Meddelande till Allmänheten) vid en allvarlig krishändelse. Svenska Kraftnät utnyttjade inte denna möjlighet i samband med elavbrottet.

Sändningsledningen har kontinuerlig kontakt med SOS Alarm, enligt ett samarbetsavtal. SOS Alarm har i uppgift att vidarebefordra information i kritiska situationer till olika myndigheter, bl.a. Länsstyrelser och Räddningstjänster.

Under störningen fick Sändningsledningen direkt information från Svenska Kraftnät via telefon om elavbrottets utbredning etc. Sändningsledningen gick direkt ut med denna information till SOS Alarm ca kl. 13.15.

Svenska Kraftnät ombads av Sändningsledningen att också kontakta SOS Alarm via nr 112. Svenska Kraftnät sökte kontakt med SOS Alarm men lyckades inte med detta. Detta följdes dock inte upp senare, varför SOS Alarm inte fick någon information direkt från Svenska Kraftnät.

Av SOS Alarms 20 centraler i landet fungerade inte 14 centraler på grund av den höga belastningen med samtal från allmänheten samt andra problem på vissa håll i samband med elavbrottet.

Sveriges Radios Sändningsledning har utvecklat och sköter det s.k. OJJE-systemet, som är avsett att användas för att sprida information vid elavbrott från elbranschen till etermedia och till SOS-Alarm m fl. Svensk Energis medlemsföretag, främst många elnätsföretag landet runt, är anslutna till OJJE.

En provversion av OJJE är installerad i Svenska Kraftnäts Nätkontroll, men har visat sig ha en alltför detaljerad områdesindelning för att fungera väl. Detta kommer inom kort att åtgärdas i samarbete mellan Sändningsledningen och Svenska Kraftnät.

OJJE-systemet kom inte till användning under elavbrottet av flera orsaker.

Gemensamt för olika myndigheter är att de önskar bli snabbt och direkt informerade av Svenska Kraftnät vid ett stort elavbrott. Annars måste de söka information i andra hand, t.ex. från regionala och lokala elbolag. Exempelvis hade Krisberedskapsmyndighetens (KBM) representanter svårt att nå Svenska Kraftnät via telefon, speciellt i början av elavbrottet. Senare under eftermiddagen och kvällen 23 september fick dock KBM direkt-information via telefonsamtal och pressmeddelanden från Svenska Kraftnät.

I samband med elavbrottet fick de berörda länsstyrelserna information via regionala elföretag. Flera länsstyrelser har uttryckt att de i sin samordningsroll saknade direkt information och löpande uppdatering av avbrottsläget från Svenska Kraftnät.

I den situation som rådde under störningen blev inte olika myndigheters informationsbehov tillfredsställda i tillräcklig omfattning. Svenska Kraftnät kommer att analysera de svårigheter som påvisats med syfte att förbättra rutiner och kontaktvägar gentemot berörda myndigheter.

10.4. Information till elbranschföretag

Den operativa informationen från Nätkontroll på Svenska Kraftnät till berörda kraft- och nätföretags kontrollrum fungerade tillfredsställande. Andra representanter för dessa företag kunde därmed få information om händelserna från den egna personalen i driftcentraler o.dyl.

Den direkta informationen till andra organ inom elbranschen kunde dock inte prioriteras under elavbrottets första timmar. De fick i stor utsträckning förlita sig på massmediernas rapportering. Det var svårt för branschföretagen, förutom genom de operativa kanalerna, att nå Svenska Kraftnäts representanter under elavbrottet.

Om branschföretagen hade fått mer direkt information, så hade de exempelvis kunnat vara Svenska Kraftnät behjälpliga med att förmedla en bild av störningen till medierna m.fl. Företagen skulle också ha kunnat ge bättre information till sina kunder.

Svenska Kraftnät har funnit att informationsspridningen inom elbranschen i samband med elavbrott behöver ses över och effektiviseras med avseende på rutiner och hjälpmedel. Lämpliga förbättringsåtgärder bör identifieras och genomföras i samarbete mellan företrädare för branschen och Svenska Kraftnät.

11. Slutsatser, åtgärder

Erfarenheter både internationellt och inom landet visar att en så omfattande störning som inträffade den 23 september 2003 ger ett stort mått av lärdomar och erfarenheter. Dessa bör tas till vara och leda till åtgärder som bidrar till att ytterligare förbättra elsystemet.

En allmän slutsats som kan dras är att den störning som inträffade var av en svårighetsgrad som klart översteg vad stamnätet och kraftsystemet är dimensionerat och drivs för att klara. I jämförelse med det allmänt tillämpade n-1 kriteriet så kan påfrestningen ungefär beskrivas som att den motsvarade en svårighetsgrad på ungefär n-3. Det beror på att bortfallet i Oskarshamnsverket och felet i Horred inträffade mycket nära i tiden. Dessutom ledde det inledande felet i Horred till ett dubbelt samlingsskenefel och bortkoppling av två stora kärnkraftsblock samt en försvagning av nätet.

De simuleringar som genomförts av olika alternativa händelseutvecklingar visar att stamnätet skulle ha kunnat klara av olika kombinationer av att två av de svåra felen skulle ha inträffat samtidigt, dvs driftsäkerheten låg ungefär på en n-2 nivå när störningen inträffade.

I det följande redovisas i ett antal punkter sådana åtgärder som Svenska Kraftnät finner vara motiverade efter analysen av omständigheterna och händelseförloppet vid störningen.

11.1. Översyn av regelverket för kraftsystemets driftsäkerhet

I avsnitt 2.2 ovan redovisas kortfattat det regelverk och de dimensioneringskriterier som tillämpas vid planering och drift av det nordiska kraftsystemet. Den driftsäkerhetsnivå som reglerna syftar till är i paritet med vad som tillämpas i merparten av långt utvecklade kraftsystem världen över.

Regelverket präglas av att det väsentligen är ett antal tekniska krav och prestanda som ska uppfyllas internt inom kraftsystemet. Dessa definierar därmed svårighetsgraden av vad som ska klaras och de ekonomiska insatser som krävs för att klara kraven. Det förutsätts då att samhället i övrigt

accepterar att förlora elförsörjningen i större eller mindre omfattning vid ännu svårare påfrestningar alternativt att en ökad säkerhet måste betalas genom högre avgifter eller andra kostnader.

Mot bakgrund av det allmänt växande beroendet av säker elförsörjning har Nordel, som är de nordiska stamnätsföretagens samarbetsorganisation, nu beslutat utreda om driftsäkerhetsreglerna och dimensioneringskriterierna bör skärpas med en starkare betoning på samhällets sårbarhet och konsekvenserna av omfattande elavbrott.

11.2. Analys och ombyggnad av ställverk i Horred och liknande

Viktiga ställverk byggs på ett sådant sätt att de omedelbart vid fel kan delas upp så att endast den felbehäftade delen kopplas bort. Den kvarvarande delen (normalt en samlingsskena) kan därefter fortsätta att fungera som en komponent i kraftsystemet. Risken för fel som skulle medföra att båda delarna kopplas bort har beaktats när det gäller kopplingsapparater som förbinder samlingsskenor med varandra.

Risken för en kortslutning mellan olika samlingsskenor genom en ljusbåge på det sätt som inträffade 23 september har hanterats genom de normenliga isolationsavstånd som har tillämpats. Det är genom störningen uppenbart att detta inte varit tillräckligt för att undvika överslag. Åtgärder för att eliminera denna risk kommer därför att genomföras.

I Horred har tre olika ombyggnadsalternativ undersökts. Syftet är att undvika att skilda faser i två samlingsskenor med varsitt anslutet Ringhalsblock ligger intill varandra undersökts. Två av alternativen kan genomföras till låga kostnader. Ett av dem innebär dock komplicerade avbrottsförhållanden under en ombyggnad. Det tredje alternativet innebär en omfattande ombyggnad av ställverket. Den betydligt högre kostnaden kan motiveras av att åtgärden betraktas som en tidigareläggning av en förnyelse av hela ställverket, som ändå måste genomföras inom en 10 – 15 års period. Svenska Kraftnät avser att gå vidare med att utreda vilket av dessa alternativ som skall genomföras.

Ett antal andra ställverk har tidigare studerats med avseende på riskerna för att fel kan leda till omfattande störningar. I skenet av erfarenheterna från denna störning kommer en förnyad genomgång att ske av vilka åtgärder som behöver vidtas för att reducera förekommande risker. För vissa ställverk kan det även här bli aktuellt att tidigarelägga förnyelser.

11.3. Förstärkning av överföringsförmågan till Sydsverige

I två stationsombyggnader (Hemsjö och Sege) som avslutas under hösten 2003 förstärks överföringsförmågan mellan Sydsverige och stamnätet i övrigt. Med dessa åtgärder når man nära taket för vad som är möjligt att göra med åtgärder i stationsanläggningarna. Ett förstärkningsbehov därutöver leder till att ytterligare överföringsförbindelser behöver byggas.

Skälen för att investera i en förstärkning av överföringsförmågan ligger delvis i erfarenheterna från störningen. Det är uppenbart att en större flexibilitet i möjligheterna att samplanera nödvändiga underhålls- och ombyggnadsarbeten med revisionsavställningarna och andra stopp i kärnkraften kan uppnås med ytterligare en kraftledning mellan Syd- och Mellansverige.

Den fortsatta utvecklingen av produktionskapaciteten i Sydsverige är osäker. En nätförstärkning skulle öka robustheten i elförsörjningen av Sydsverige.

Genom sitt geografiska läge kommer Sydsverige alltid att utgöra ett överföringsled mellan de nordiska och kontinentala elsystemen och elmarknaderna. En förstärkning skulle innebära möjligheter till ett utökat elutbyte med Själland och Kontinenten, vilket det tidvis finns behov av.

Inom Nordels arbete med att utveckla det nordiska kraftsystemet har ett antal överföringsprojekt identifierats som möjliga och potentiellt lönsamma. Ett av dem bygger på att en likströmsförbindelse etableras mellan Sydnorge och Skåne eller Själland (alternativt till båda med en s.k. trepunktsanslutning).

Utvecklingen av modern kraftsystemanalys- och telekommunikationsteknik medger nya lösningar för att detektera och avhjälpa kritiska driftsituationer. Detta är en utvecklingslinje som bör följas parallellt med andra åtgärder för att förstärka överföringskapaciteten. En grund för en utveckling i den riktningen är lagd genom att Svenska Kraftnät har beslutat att modernisera stamnätets telekommunikationssystem till en robust struktur som stöd för systemdriften.

En god möjlighet att uppföra en ny 400 kV ledning från Mellansverige till Skåne ligger i att bygga om en gammal 220 kV ledning som går från Hallsberg via Nässjö till Värnamo. Ursprungligen fortsatte ledningen från Värnamo ner till Helsingborg, men den delen har överförts till regionnätet och drivs numera med 130 kV. En ombyggnad skulle baseras på att i möjligaste mån utnyttja den befintliga ledningsgatan. Vissa anpassningsåtgärder skulle också bli nödvändiga i regionnätets anslutningar samt i ledningens anslutning till det befintliga stamnätet i Skåne. Ledningens 220 kV-delar står inför ett beslut om upprustning eller avveckling.

Svenska Kraftnät avser att nu starta en projektering av en ny 400 kV ledning från Närke genom Småland ner till Skåne, främst genom ombyggnad av den äldre 220/130 kV ledningen. Projektet förutsätter samverkan med berörda regionnätsföretag, tillstånd av myndigheter, län, kommuner, intresseorganisationer och markägare m fl.

11.4. Åtgärder för att förbättra kontrollen av fränksiljare

Trots att fränksiljare är en förhållandevis enkel ställverksapparat är de mycket underhållskrävande. De ger ibland upphov till fel som leder till följdstörningar. Havererande fränksiljare kan också innebära risker för personskador.

Svenska Kraftnät har tidigare startat ett omfattande program för att byta ut kritiska fränksiljarkomponenter. Detta program kommer att påskyndas.

En översyn kommer att genomföras av metodik, åtgärder och intervall för tillsyn och revision av fränksiljare med särskild uppmärksamhet på de faktorer som kan ha haft betydelse vid denna störning. Kontakterna med tillverkare skall utökas för att uppnå en bättre återkoppling av drifterfarenheter och underhållsbehov.

Periodisk tillståndskontroll genom termografering och ultraljudskontroll ska systematiseras ytterligare.

För befintliga fränksiljare av den typ som havererade i Horred kan det bli aktuellt med en tidigare utskrotning och ersättning med andra typer.

Ökade utbildningsinsatser planeras för personal som arbetar med fränksiljarunderhåll. En löpande kompetenskontroll för underhållspersonal övervägs.

11.5. Förstärkt styrningen av underhållet på stamnätet

Svenska Kraftnät har uppnått betydande effektivitetsvinster genom att upphandla underhållet av stamnätets anläggningar i konkurrens mellan olika entreprenörsföretag. Administrationen samt den tekniska styrningen och uppföljningen av underhållet har hittills kunnat skötas med små egna personalresurser.

Det finns emellertid tecken på att en fortsatt minskning av de totala underhållskostnaderna inte kan förväntas på samma sätt som tidigare. Förändringar sker hos entreprenörer och leverantörer. Generationsväxlingar, ändrade kompetensprofiler och fokuseringar inom entreprenörsföretagen är synbara. Tillverkarna erbjuder nya tekniska lösningar med snabbare omsättning av nya versioner samtidigt som kompetensen på tidigare levererade produkter försvinner. Detta tillsammans med vissa erfarenheter bl.a. från denna störning pekar på att det egna engagemanget i och

styrningen av underhållet kan behöva bli starkare genom en ökad personell kapacitet inom Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät avser att under våren 2004 genomföra en utredning med syfte att klarlägga behovet av att förändra metodik och resurser för att styra och följa upp underhållet på ett mera aktivt sätt. Siktet är att beslut om att genomföra motiverade förändringar ska kunna fattas tidigt under hösten 2004.

11.6. Systemtekniska krav på produktionsanläggningar, speciellt husturbindrift

Produktionsanläggningar, i synnerhet stora kraftstationsblock, är mycket viktiga delar i ett kraftsystem som ska kunna uthärda svårare störningar samt kunna byggas upp igen snabbt efter eventuella sammanbrott. I rollen som systemansvarig har Svenska Kraftnät utarbetat ett koncept till föreskrifter för att generellt reglera de systemtekniska krav som kraftstationer behöver uppfylla för att kunna fungera som integrerade delar av kraftsystemet. Speciellt ställs krav på att värmekraftblock ska ha förmågan att övergå till husturbindrift i det fall de skiljs från nätet vid störningar.

Vid störningen 23 september var det endast Ringhals 3 och 4 som utsattes för kravet att övergå till husturbindrift, varav det endast lyckades för block 4 (två gånger). Vid detta tillfälle var inte husturbinövergången kritisk för den fortsatta återuppbyggnaden i Sverige. Däremot hade den stor betydelse på Själland där inget av värmekraftblocken klarade kraven på övergång till husturbindrift. Det blev därför inte möjligt att där göra en s.k. dödnätsstart utan uppbyggnaden fick avvakta spänningssättning från Sverige.

I ett scenario där en störning skulle inträffa vid kalla vinterförhållanden kan uteblivna husturbinövergångar leda till effektbrist och försena återställning av kraftförsörjningen under ett eller flera dygn.

Svenska Kraftnät kommer under första halvåret 2004 att besluta om föreskrifter som reglerar bl.a. förmågan till husturbindrift. Ett initiativ kommer också att tas till att en utredningsgrupp med representanter från kraftstationsägarna tillsätts för att klarlägga vilka ytterligare åtgärder som kan vidtas för att öka förmågan till husturbindrift och för att förkorta återstarttiderna efter avställd reaktor. Dessutom kommer rutiner för att verifiera och rapportera aktuell förmåga till husturbindrift och återstartförmåga ses över.

11.7. Säkerställning av fjärrkontroll i störningssituationer

I dag är styrningen av vattenkraftstationer och nätstationer på alla spänningsnivåer koncentrerad till ett litet antal driftcentraler. Möjligheterna att samtidigt bemanna många stationer med kompetent personal är begränsade. I störningssituationer är det därför av största vikt att de tekniska

systemen för övervakning och fjärrkontroll fungerar. I annat fall kan störningar förvärras eller ta lång tid att avhjälpa.

Vid störningen 23 september inträffade ett bortfall av fjärrkontrollen för en stamnätsstation i Sydsverige. Det hade betydelse för återuppbyggnaden både genom att kopplingar inte kunde genomföras från Nätkontroll och genom att en olämpligt fungerande spänningsregleringsautomatik inte kunde ställas av förrän personal kallats till stationen.

En grundläggande genomgång av orsaken till bortfallet skall göras för att säkerställa att felet inte upprepas i denna station eller i andra anläggningar.

Även andra inträffade följdstörningar i telekommunikationer och lokalkraftförsörjningar skall analyseras och åtgärdas.

En driftcentral för ett regionnät har enligt en rapport blivit satt ur funktion under störningen pga. ett fel i lokalkraftmatningen. Orsaken till detta måste också klarläggas och åtgärdas.

11.8. Översyn av informationshanteringen i kritiska situationer.

Erfarenheterna från elavbrottet visar att Svenska Kraftnäts förmåga att effektivt hantera informationsprocessen i krisartade situationer måste bli bättre. Detta gäller främst de delar av informationen som fungerade mindre väl, bl.a. till olika myndigheter och branschföretag. Förbättringar kan ske bl.a. genom ökat fokus på rutiner, strukturering, arbetsfördelning och hjälpmedel samt genom fler övningar. Följande ska göras:

Svenska Kraftnäts krisplan med tillhörande material, utrustning etc. skall ses över och justeras, där detta bedöms vara nödvändigt. Planen prövas genom återkommande krisövningar.

Kommunikationen med elbranschens företag och organ i samband med störningar i elsystemet behöver effektiviseras. Lämpliga åtgärder för att uppnå en bättre kommunikation ska identifieras och genomföras i samarbete mellan företrädare för Svenska Kraftnät och övriga branschen.

Under det stora elavbrottet blev inte olika myndigheters önskemål om direkt information tillräckligt uppfyllda. Svenska Kraftnät kommer att analysera de problem som påvisats samt att förbättra rutiner och kontaktvägar gentemot berörda myndigheter.

Sveriges Radios Sändningsledning erbjuder en snabb och effektiv kanal för att nå ut med information till myndigheter, massmedier och ytterst de berörda av en elstörning. Denna möjlighet ska Svenska Kraftnät nu förbättra, bl.a. genom att installera en anpassad version av Sändningsledningens s.k. OJJE-system i Nätkontroll.

Andra nya system för att snabbt sprida information vid en störning, t.ex. via SMS-meddelanden, studeras och eventuellt installeras. Informationen via Svenska Kraftnäts externa hemsida på Internet skall bli snabbare och effektivare.

Dessutom skall rutinerna för att ta emot medierna vid huvudkontoret, att snabbare få ut pressmeddelanden o.dyl. ses över.