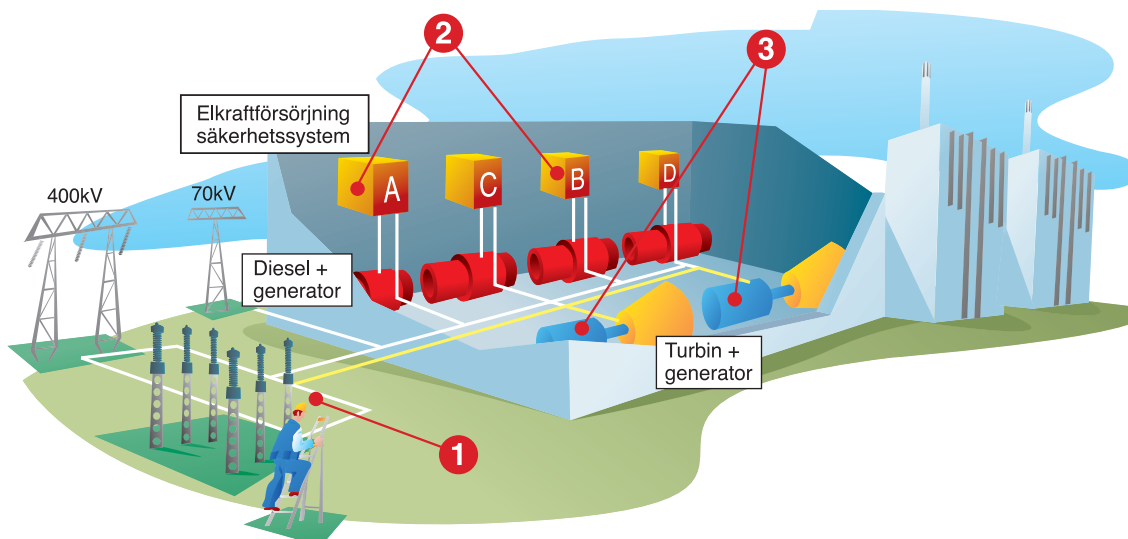


Reviderad 10 mars 2007

Forsmarksincidenten den 25 juli 2006



Tisdagen den 25 juli 2006 kl 13.20 inträffade en störning på Forsmark 1 som då var i drift vid full effekt, 990 MW. Störningen hade sitt ursprung i en kortslutning i 400 kV ställverket utanför Forsmarksanläggningen. Följden blev kraftiga spänningsvariationer som på ett komplicerat sätt fortplantade sig in i flera av elsystemen inne i anläggningen.

Forsmark 2 var avställd för bränslebyte och underhåll. Forsmark 3 kördes vid full effekt men påverkades inte eftersom detta kärnkraftblock är anslutet till ett annat ställverk.

Spänningsstörningen ledde till att Forsmark 1 kopplades bort från det yttre kraftnätet och reaktorn snabbstoppades. Delar av det batterisäkrade växelspänningsnätet slogs ut och bara två av de fyra dieseldrivna generatorerna startade automatiskt. Efter 22 minuter gjordes en manuell spänningssättning i kontrollrummet och därefter startade de två andra dieselaggregaten. Utrustningen i kontrollrummet slogs delvis ut varför informationen till driftpersonalen initialt var begränsad. Reaktorhärden fick hela

tiden tillräcklig kylning och reaktortanken utsattes inte för några onormala belastningar i tryck och temperatur.

Det som gör Forsmarksincidenten säkerhetsmässigt allvarlig är istället att reaktorns djupförsvar av säkerheten inte fungerade tillfredsställande. Flera säkerhetssystem som skall fungera oberoende av varandra blev verkningslösa på grund av en gemensam yttre störning. En viktig princip för reaktorsäkerhet kunde inte upprätthållas. Säkerhetssystemen är nämligen uppbyggda för att minimera risken för fel med gemensam orsak, s.k. "Common Cause Failure".

Mångfalden av automatiskt fungerande säkerhetssystem räckte ändå till så att reaktorn, automatiskt och oberoende av personalen, kunde stängas av och tillräcklig kylning kunde upprätthållas under hela störningsförloppet.

Dessutom kunde driftpersonalen genom att följa särskilda störningsinstruktioner ingripa på ett rationellt sätt och behålla kontrollen över situationen under hela förloppet.

Det som bidrog till allvaret i Forsmarksincidenten var (se bild):

1. Den inledande händelsen, dvs. kortslutningen i det 400 kV ställverk som tillhör Svenska Kraftnäts ansvarsområde, berodde på att ett arbete där inte genomfördes på korrekt sätt.

2. Kortslutningen i ställverket ledde till en kraftigare störning i elsystemen i Forsmark 1 än systemen konstruerats för.

3. Under 2005 genomfördes ett utbyte av elektriska komponenter i Forsmark 1 felaktigt, och efterföljande provning var inte tillräckligt omfattande.

Rapporten innehåller först en översikt av principerna för reaktorsäkerheten och därefter en redovisning och analys av händelseförloppet under incidenten. Principerna för reaktorsäkerhet finns också beskrivna i en tidigare skrift utgiven av Analysgruppen vid KSU (ref. 1).

Beskrivningen av händelseförloppet bygger på redovisningar från Forsmarks Kraftgrupp AB (ref. 2) och de bedömningar som Statens Kärnkraftinspektion, SKI, gjort (ref. 3) samt muntliga kontakter.

Innehåll

Reaktorsäkerhet i princip
Reaktorsäkerhet i praktiken
Kortfattad händelselista

Vad hände i Forsmark 25 juli 2006?
Övergripande analys
Vad hade hänt om ...?

Uppföljning och lärdomar
Slutord
Referenser

Reaktorsäkerhet i princip

De tre viktigaste säkerhetsaspekterna förknippade med drift av en kärnkraftsreaktor är:

- Kedjereaktionen i reaktor skall kontrolleras och vid behov snabbt avbrytas
- Den värme som alstras vid kärnklyvningarna i bränslet under drift skall ledas bort
- Den s.k. resteffekten i härdens bränsle skall kylas bort under lång tid efter ett snabbstopp

Till detta kommer att om en härdsmälta trots allt skulle inträffa så skall de radioaktiva ämnena förhindras att nå omgivningarna.

Kontroll av kedjereaktionen

Kedjereaktionen i en reaktor som är i drift innebär att den mängd neutroner som frigörs vid urankärnornas klyvning är i balans med den mängd som absorberas i konstruktionsmaterialet, kylvattnet och uranet. Då driften skall stoppas förs på olika sätt in material (vanligtvis grundämnet bor) som absorberar de fria neutronerna.

I en kokvattenreaktor (BWR) av den sort som finns i Forsmark kan kedjereaktionen stängas av på tre oberoende sätt:

- Snabbstopp som innebär att ett stort antal styrstavar innehållande bor förs in

i härdens underifrån med hjälp av ett hydrauliskt system (stoppar kärnklyvningen efter några sekunder).

- Ett långsammare avstängningssystem som innebär att styrstavarna skruvas in med hjälp av elektriska motorer (styrstavarna helt införda efter några minuter)
- Stora mängder borhaltigt vatten pumpas in i reaktortanken.

Vid Forsmarksincidenten fungerade de två första metoderna i stort sett felfritt. Den tredje metoden behöver användas endast i mycket extrema fall i en BWR.

Bränslets kylning

Då urankärnorna klyvs bildas energi och bränslets överskottsvärme förs bort som ånga till kraftstationens turbiner. Ångan driver turbinhjul och kyls därefter med havsvatten och pumpas som kondensat- och matarvatten tillbaka in i reaktor.

Större delen av bränslets värmeproduktion upphör så snart kedjereaktionen stängs av. Kvar finns dock resteffekten.

Resteffekten

Behovet att kyla reaktorbränslet finns lång tid efter det att kedjereaktionen stoppas. Skälet är resteffekten. Fenomenet är unikt för kärnkraften.

Vid kärnklyvningen avges större delen av energin omedelbart som värme men en mindre del lagras i de radioaktiva klyvningsprodukterna. Denna restenergi avges successivt genom det radioaktiva sönderfallet och omvandlas till värme i bränslet.

Resteffekten sjunker snabbt i början och en timme efter ett snabbstopp är den kvarvarande effekten hos bränslet cirka en procent av nivån då reaktor var i drift.

Reaktorinneslutning med filtrerad tryckavlastning

Den trycktäta reaktorinneslutningen är ett första väsentligt skydd mot radioaktiva utsläpp vid en eventuell (och osannolik) härdsmälta. En sådan inneslutning var ett effektivt skydd vid Harrisburgolyckan men saknades i Tjernobylreaktor.

De svenska reaktorinneslutningarna är sedan drygt 15 år dessutom försedda med en filtrerad tryckavlastning.

Med hjälp av detta system kvarhålls minst 99,99 % av härdens frisläppta radioaktiva ämnen inne i reaktorns inneslutning. Dessa ämnen skulle annars kunna orsaka en radioaktiv markbeläggning (Ref. 4).

Reaktorsäkerhet i praktiken

Säkerhet kräver "förlåtande" system

En grundläggande förutsättning vid utformningen av säkerhetssystemen är insikten att tekniska komponenter och system *kan* fungera på ett felaktigt sätt (eller inte alls) och att människor inte alltid uppträder rationellt.

De tekniska konstruktionerna och de administrativa systemen utformas därför så att de "förlåter fel". Viktiga komponenter och system utformas med stor säkerhetsmarginal och enligt principen "fail-safe". Det innebär att fel som kan medföra störningar i driften av reaktor automatiskt skall leda till ett säkert tillstånd, bland annat att reaktor skall snabbstoppas.

Det finns omfattande administrativa system för kvalitetssäkring som skall tillämpas av konstruktörer, tillverkare, installatörer och driftpersonal, bland annat ska granskningen av alla viktiga anläggningsändringar vara dubblerad.

30-minutersregeln

Viktiga säkerhetsfunktioner är automatiserade för att minska risken för mänskliga fel. Därför har de svenska kärnkraftverken konstruerats efter 30-minutersregeln. Den innebär att åtgärder som behövs inom 30 minuter efter en störning skall ske automatiskt. Operatören *kan* ingripa men behöver inte göra det.

Därmed kan operatörerna utan tidspress skaffa sig överblick över störningen innan de beslutar om åtgärder.

Avbrottsfri elförsörjning

Elförsörjningen till viktiga pumpar, ventiler, manöverutrustning och till kontrollrummet måste fungera i alla situationer. Därför finns en rad olika sätt att förse viktig utrustning med el:

- Från det yttre 400 kV-nätet
- Från det yttre 70-kV-nätet
- Via den egna elproduktionen, s.k. hus-turbindrif

- Från flera oberoende nät, uppbackade av dieseldrivna elgeneratorer som startar automatiskt vid bortfall. Dessutom finns elnät, uppbackade av batterier, som säkrar avbrottsfri elförsörjning till viktiga säkerhetsfunktioner.

Effektivt djupförsvar kräver således att elkraften kan tillföras via flera *olika* typer av system (diversifieringsprincipen). Elkraften skall också komma från flera parallella av varandra oberoende enheter (redundans eller övertalighet).

Ett exempel är att det i Forsmark finns fyra parallella dieseldrivna elgeneratorer med separat elförsörjning, och att det vid störningar räcker med att två av dem är i drift för att förse anläggningen med nödvändig el.

I den följande texten kallas de fyra parallella underliggande elmatningssystemen för Sub A, B, C och D.

Kortfattad händelselista

Till den ovane läsaren: Texten i denna faktaruta är hämtad från ref. 2 och bara en lätt språklig bearbetning har gjorts. Många detaljer kan därför vara svårbegripliga för den som inte är expert.

Avsikten med texten är inte att ge läsaren några detaljkunskaper utan snarare en känsla av hur händelseförloppet upplevdes i kontrollrummet.

Klockan 13:20:20 En frånskiljare i 400 kV-ställverket öppnas, vilket medför en ljusbåge och tvåfasig kortslutning.

+ 0 sek De båda aggregatbrytarna i Forsmark 1 löser ut på grund av underspänning, dvs stationen kopplas bort från 400 kV-nätet.

+ 0 sek Reaktoreffekten styrs ner genom ett delsnabbstopp. Övergång till husturbindrift och dumpning av ånga till kondensorn.

+ 2 sek Likriktare i UPS-systemen (A- och B-Sub) löser på reglerfel och växelriktarna i samma system (A- och B-Sub) löser på överspänning.

+ 2 sek Första ”Kontroller vid störning” enligt ÖSI (Övergripande StörningsInstruktioner) initieras av driftvakten i kontrollrummet.

+ 5 sek Ena turbinen snabbstoppas på grund av lågt kraftoljetryck.

+ 18 sek Omkoppling till direktmatning i det batterisäkrade växelspanningsnätet (Sub A) pga låg spänning. Mätkedjor matade av 220 V nätet (Sub A) spänningslösa under 2 sek. varvid bl.a. kanal A i snabbstoppkedjan löser ut.

+ 24 sek Ordinarie inmatningsbrytare till 500 V dieselsäkrat nät öppnar i Sub A och Sub C pga underfrekvens på 500 V-skenorna. Mätkedjor matade av det batterisäkrade nätet Sub A blir återspänningslösa.

+ 24 sek Dieselstart och inkoppling i Sub C. Inkoppling av Sub A misslyckas.

+ 33 sek Andra turbinen snabbstoppas på grund av högt tryck i turbinkondensorn.

+ 35 sek Omkoppling till direktmatning i Sub B pga låg spänning. Mätkedjorna matade av Sub B blir

spänningslösa under 2 sek. varvid bl.a. kanal B i snabbstoppkedjan löser ut. Eftersom både A- och B-kanalerna då hade löst ut fås automatiskt fullständigt snabbstopp av reaktorn.

+ 36 sek Ena generatorbrytaren löser på grund av låg effekt (mindre än 5 MW).

+ 36 sek Omkoppling till 70 kV inmatning i Sub A och C pga underspänning på 6 kV ställverket.

+ 37 sek Ordinarie inmatningsbrytare till 500 V dieselsäkrat nät öppnar i Sub B och D på grund av underfrekvens, mindre än 47 Hz, i mer än 3 sekunder på 500 V-skenorna. Dieselstart och inkoppling i Sub D erhålls. Inkoppling av diesel Sub B misslyckas.

+ 40 sek Driftvakten begär resursförstärkning från driftstaben och det inkommande eftermiddagsskiftet.

+ 43 sek Andra generatorbrytaren löser på grund av låg effekt.

+ 43 sek Omkoppling till 70 kV inmatning via Sub B och D pga av underspänning i 6 kV-nätet.

+ 45 sek Första ”Kontroller vid störning” enligt ÖSI utförs. Reaktoreffekten konstateras vara den förväntade med hjälp av signaler från neutrondetektorer i härden. Man märker dock att för hälften av styrstavarna (Sub A och B) saknas indikering om att de gått helt in i härden.

Situationen upplevs som stressande men indikeringsbilden känns igen från simulatorträning av liknande driftfall.

+ 5 min Driftvakten påbörjar systematiska kontroller enligt ÖSI. Sjunkande vattennivå i reaktortanken konstateras.

+ 8 min Man ser också att inte alla snabbstoppstavarna indikeras

vara i innerläge. Kontroll av utslag på neutrondetektorer visar dock entydigt att reaktorn är helt avstängd. Man anser därför att samtliga stavar verkligen är införda i härden.

+ 14 min Två av fyra kretsar i hjälpmatarvattenssystemet noteras vara i drift och ge tillräckligt flöde till reaktortanken.

+ 15 min Sjunkande nivå i reaktortanken leder till kontroll av att minst två kretsar i härnöd kylsystemet är i drift.

+ 20 min Första genomgången enligt ÖSI slutförd. Driftvakten kallar operatörerna till snabbmöte.

+ 22 min Manuell återställning av spänningen på dieselsäkrad 500 V skena i Sub A.

22 min Manuell återställning av spänningen på dieselsäkrad 500 V skena i Sub B.

+ 23 min Indikering av att alla styrstavarna är inne erhålls. Driftläget ”varm avställd reaktor” verifieras.

+ 24 min Driftvakten börjar om i ÖSI eftersom förutsättningarna ändrats i och med att dieselskenorna, Sub A och B spänningssatts.

+ 26 min Drivmuttrarna till samtliga styrstavar konstateras vara i innerläge.

+ 27 min Vattennivån i reaktortanken konstateras överstiga 3,1 m.

+ 30 min Vattennivån i reaktortanken konstateras överstiga 4,7 m.

+ 45 min Andra genomgången av ÖSI slutförd. Driftvakten svarar ”Ja” på ÖSI-frågan ”Är reaktorn säkert underkritisk och driftläget stabilt?”.

Vad hände i Forsmark den 25 juli 2006?

Vid arbete i 400 kV ställverket tillhörande Svenska Kraftnät utanför Forsmarks kärnkraftverk öppnades en fränkskiljare efter en felaktig driftläggning. Då uppstod en ljusbåge över fränkskiljaren och en tvåfasig kortslutning i 400 kV-nätet med ett kraftigt spänningsfall som följde.

Som följd av kortslutningen kopplades de två elgeneratorerna i Forsmark 1 automatiskt bort från det yttre elnätet vilket i sin tur medförde en kortvarig kraftig överspänning i det inre elnätet.

Reaktoreffekten styrdes då ner automatiskt till 25 % effekt, dels genom att härdens vattenflöde minskade, dels genom ett snabbstopp med en del av styrstavarna.

Anläggningen övergick därvid till s.k. husturbindrift, dvs elgenerering enbart för anläggningens egna behov. Strax därefter snabbstoppades reaktorn helt.

De kraftiga spänningsvariationerna fortplantades ner genom transformatorer som matar anläggningens lokala kraftsystem och en del säkerhetssystem.

I var och en av de fyra subarna finns ett system för avbrottsfri kraftförsörjning som kallas UPS (Uninterruptible Power Supply), se nedan, som med hjälp av batterier skall säkra avbrottsfri kraft till viktiga säkerhetssystem.

För UPS-systemen i två Subar, A och B, ledde överspänningen till att dess funktioner blockerades och den avbrottsfria elskenan i dessa subar blev spänningslös. I Sub C och D skedde inget avbrott varför komponenter matades från

dessa två subar fungerade på avsett sätt.

Det var de inbyggda komponentskydden i lik- och växelriktare som ledde till att två av de fyra UPS-systemen slogs ut.

Vid störningar ges automatiskt startsignal till de fyra dieseldrivna generatorerna som skall leverera reservkraft till stationen, en generator i varje sub. Samtliga dieselgeneratorer startade automatiskt. Eftersom inkopplingen av dem är beroende av el från det avbrottsfria nätet i respektive sub avbröts driften av två generatorer. De två andra dieselgeneratorerna, i Sub C och D, levererade kraft till det interna nätet under hela förloppet.

Växelspänningsnätet matar också den utrustning som mäter vattennivån och trycket i reaktortanken. Även här gäller en uppdelning på fyra subar. Då två av de fyra mätsystemen inte fungerade utlöstes som förväntat automatiskt snabbstopp av reaktorn.

Mätning, registrering och övervakningsmöjligheter i kontrollrummet försvann delvis eftersom dessa funktioner matas från Sub A och B i det avbrottsfria nätet.

Kondensat- och matarvattenpumparna, som under normaldrift försörjer reaktortanken med vatten, stoppades samtidigt med reaktorn. Reaktorn kylde därefter till att börja med genom att ånga blåstes från tanken till reaktorinneslutningens kondensationsbassäng och av inpumpning via de två hjälpmatarvattenpumparna i Sub C och D. Reaktortrycket sjönk inom 30 minuter från 70 till 6 bar och vattennivån i reaktortanken till 1,9 meter

över reaktorhårdens överkant.

Vid ett snabbstopp skall alla styrstavar gå in i härdens. När de är helt införda skall detta indikeras i kontrollrummet, men så blev det inte den här gången.

Stavindikeringarnas signal kommer från de eldrivna skruvarna som för in stavarna som en backup till den snabba automatiska inskjutningen. På grund av spänningsbortfallet i Sub A och B gick bara hälften av de eldrivna skruvarna igång. Därför saknades indikeringen från hälften av stavarna att de verkligen var införda i härdens.

En detaljerad analys av mätvärdena för neutronflödet övertygade dock personalen att reaktorn verkligen var helt avstängd.

Efter 22 minuter genomfördes i kontrollrummet en manuell återinkoppling av dieselskenorna i Sub A och B mot ordinarie nät. Följden blev att:

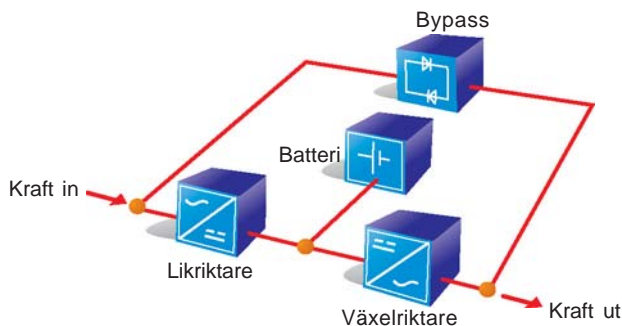
- Övervakningsmöjligheterna i kontrollrummet återställdes.
- Inskruvningen av styrstavarna fullföljdes även i Sub A och B och indikering erhöles om att alla stavarna var inne.
- Kapaciteten för inpumpning av vatten till reaktortanken ökade och normal vattennivå återställdes snabbt.

Efter omfattande kontroller kunde kontrollrumspersonalen 45 minuter från den inledande händelsen i loggboken föra in ett kort konstaterande ”*reaktorn är säkert underkritisk och driftläget stabilt*”.

Avbrottsfri kraft

Uninterruptible Power Supply (UPS)

UPS skall försörja växelspänningsnätet med batterisäkrad avbrottsfri elkraft under en störning i minst två timmar. Batterierna i varje UPS matas genom likriktare från det ordinarie växelspänningsnätet under normaldrift. Vid avbrott försörjer batterierna säkerhetsutrustningen med växelspänning via växelriktare. Både lik- och växelriktare har inbyggda komponentskydd som utlöstes i två av subarna vid elstörningen.



Övergripande analys

Ställverket

Då Svenska Kraftnät upprättade anvisningen för åtgärder i 400 kV ställverket felbedömde man behovet av att blockera jordfelskydd i samband med manövrering av frånskiljaren. Detta fick till följd att samlingsskeneskyddet inte löste bort kortslutningen tillräckligt snabbt.

Om blockeringen utförts skulle felet ha brutits bort efter ca 0,1 sekund med hjälp av samlingsskeneskyddet. Detta hade givit en mildare störning som liknat ett vanligt lastfrånslag och som sannolikt inte medfört några konsekvenser för stationens inre elförsörjning.

Generatorbrytarnas funktion

Underfrekvenskydderna fungerade på ett felaktigt sätt för bägge turbingeneratorerna. När stationens förbindelse med ställverket brutits och turbinsnabbstoppet utlösts skulle underfrekvenskydderna för generatorerna ha öppnat generatorbrytarna när frekvensen sjunkit under en viss nivå.

Nya generatorskydd för övervakning av underfrekvens hade installerats 2005. De äldre skydderna var oberoende av fasföljden i 3-fasnätet men de nyinstallerade är beroende av rätt fasföljd.

Bristande insikt om detta medförde också att provningen efter montaget blev bristfälligt utförd och inte avslöjade inkoppling med felaktig fasföljd.

Rätt fungerande underfrekvenskydd hade medfört spänningssättning på 6 kV-skenorna med stabilt nät.

UPS

Det batterisäkrade växelspänningsnätet skall förse utrustning som är nödvändig för säker avställning av reaktorn med avbrottsfri elkraft. Vid störningen blev det emellertid avbrott i växelspänningsmatningen från UPS-systemet i Subarna A och B.

UPS-systemen installerades i Forsmark 1 och 2 för drygt tio år sedan, med parametrar för utlösning av systemet och dess komponentskydd som rekommenderats av leverantören. De ersatte då en utrustning baserad på mekanisk teknologi, vilken hade större tålighet mot elektriska störningar.

Tester som efter incidenten utförts hos leverantören av UPS-erna har visat att överspänningsskydderna fungerade som förväntat vid spänningsvariationer mellan 85 – 110 % av nominell nivå.

Vid den mycket kraftigare spänningsstörning som i verkligheten ägde rum var det logiskt att UPS-systemen inte kunde fungera.

Att UPS-arna i Sub A och B slogs ut men inte i Sub C och D beror med all sannolikhet på små skillnader i de elektriska kretsarna till de olika Subarna. Detta

kan ha lett till att spänningsstörningarna blev mindre i C/D än i A/B.

Diesलगeneratorerna

Alla fyra dieslarna startade automatiskt men de två i Sub A och B kopplades inte in på sina respektive 500 V-skenor eftersom de var beroende av hjälpspanning från det avbrottsfria växelspänningsnätet.

Händelsen visar dels på hur vitala de avbrottsfria växelspänningsskenorna är för anläggningens säkerhet, dels att det fanns funktionella samband mellan skenorna som gjorde att de kunde slås ut av en gemensam orsak.

Kontrollrummet

Skiftlaget tog hand om störningen enligt rutiner som tränats i simulator på fall av samma typ som Forsmarksincidenten. Bland annat användes speciella instruktioner i form av "Första kontroller" och "Övergripande StörningsInstruktioner" (ÖSI) på ett korrekt sätt.

Trots en oklar signalbild och släckta dataskärmar utförde personalen sitt arbete enligt instruktionerna synnerligen effektivt.

Vad hade hänt om...?

Forsmark och SKI gör gemensamt bedömningen:

- Om fler än två UPS-er och sammanhørende dieslar inte hade fungerat så hade man ändå haft god marginal mot torrkokning i härden och skador på bränslet.

- Om tre i stället för två subar hade slagits ut hade kontrollrumspersonalen manuellt utlöst tvångsnedblåsning av ånga från reaktorn till bassängen i reaktorinneslutningen.

De tre dieselskenorna hade manuellt kunnat spänningssättas inom cirka 20 minuter med hjälp av ordinarie nät.

- Om fyra störningspåverkade subar slagits ut skulle dieselskenorna ha spänningssatts manuellt från ordinarie nät i så god tid att man haft goda marginaler mot härdsador.

- Om ingen av dieslarna kopplats in och dessutom 70 kV-nätet blivit spänningsslöst hade det varit nödvändigt med operatörsinsatser inom 40 - 60 minuter för en manuell spänningssättning. Bränsleskador i begränsad omfattning hade då kunnat uppträda.

- Om alla fyra subar blivit spänningsslösa, och inga operatörsingripanden gjorts

inom åtta timmar, skulle med stor sannolikhet allvarliga härdsador – en härds smälta – ha inträffat. Då hade de konsekvenslindrande systemen i form av reaktorinneslutningens filterade tryckavlastning satts i funktion utan operatörsingripande. Dessa system hade förhindrat allvarliga utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen.

Detta är en situation som med avseende på konsekvens för omgivningen kan jämföras med reaktorolyckan i Harrisburg 1979, där man trots en utvecklad härds smälta erhöll mycket små utsläpp till omgivningen.

Uppföljning och lärdomar

Kraftföretagen och SKI

Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA) startade omedelbart efter incidenten en djupgående analys av störningen. Den 20 augusti redovisades analysen och förslag till åtgärder för SKI.

SKI startade också en egen utredning. Även i Oskarshamn och Ringhals började man analysera om svagheter liknande dem i Forsmark 1 kunde finnas.

SKI beslöt att Forsmark 2 samt Oskarshamn 1 och 2 inte skulle få vara i drift förrän utredningar redovisats och ombyggnader skett, eftersom delvis samma utrustning fanns vid dessa anläggningar.

Däremot ansågs att Forsmark 3, Oskarshamn 3 och de fyra anläggningarna i Ringhals kunde hållas i drift utan ombyggnader.

OKG beslöt att göra en större ombyggnad av Oskarshamn 1, som beräknas kunna tas vid drift strax efter årsskiftet 2006/2007.

Den 14 september beslutade SKI att tillåta start av Oskarshamn 2 och den 28 september gavs tillstånd för återstart av Forsmark 1 och 2. SKIs beslut innefattar också krav på mer långsiktiga analyser och åtgärder vid de fyra berörda anläggningarna.

Framför allt skall tänkbara stora störningar på det yttre nätet och möjligheten att sådana fortplantar sig in i anläggningarnas elsystem utredas i detalj.

Brister i djupförsvaret

SKI har i sina föreskrifter om säkerhet i kärntekniska anläggningar (Ref.5) bestämmelser om hur brister i barriärer och i djupförsvaret skall hanteras och rapporteras.

SKI anger tre kategorier av brister:
- *Kategori 1* gäller konstaterade allvarliga brister i en eller flera barriärer eller i djupförsvaret, samt grundade misstanke om att säkerheten är allvarligt hotad.

- *Kategori 2* gäller brister i en barriär eller i djupförsvaret av mindre allvarligt slag än det som hänförs till kategori 1, samt grundad misstanke om att säkerheten är hotad.

- *Kategori 3* gäller tillfälliga brister i djupförsvaret.

När en händelse eller brist av Kategori 1 har inträffat skall anläggningen utan dröjsmål bringas i säkert läge.

Innan anläggningen får återgå i drift utan särskilda begränsningar skall de utredningar som genomförts och de åtgärder som vidtagits med anledning av bristen vara säkerhetsgranskade, prövade och godkända av SKI.

Händelsen i Forsmark tillhörde Kategori 1.

Långsiktig uppföljning och konsekvens

Under hösten 2006 påbörjade Forsmark en djupgående kritisk granskning av säkerhetskulturens utveckling inom företaget. Man fann då att en viss försämring ägt rum under de senaste åren. Därför har företagsledningen startat ett omfattande studie med avsikt att förbättra de interna förhållandena. Ett samlat program kommer att presenteras under våren 2007.

I samband med incidenten stängdes reaktorns effektproduktion av automatiskt. Driftledningen väntade med att kyla ner systemet till s.k. kall avställning av Forsmark 1 eftersom man först ville analysera situationen. Först efter ett dygn påbörjades nerkyllning av systemen. Enligt SKI skall reaktorsystemen stängas av helt och kylas ner så snart som möjligt efter det att en incident av *Kategori 1* (se ovan) har inträffat.

SKI har i sin djupare analys kommit fram till att driftledningen genom att fördröja nerkyllningen av reaktorsystemen

kan ha brutit mot en grundläggande regel i kärntekniklagen.

I slutet av januari 2007 överlämnade därför SKI ärendet till åklagarmyndigheten i Uppsala för ställningstagande om ett brott mot kärntekniklagen begåtts och om åtal därför bör väckas.

Internationellt

Detaljerade analyser av Forsmarksincidenten har redovisats för de internationella kärnkraftorganisationerna IAEA, FNs atomenergiorgan i Wien, och WANO, the World Association of Nuclear Operators (Ref. 6).

Via dessa organisationer nås alla kärnkraftverk och reaktorsäkerhetsmyndigheter världen över med en detaljerad redovisning av erfarenheterna från incidenten i Forsmark.

På många håll kommer dessa erfarenheter att leda till fördjupade analyser och eventuellt ombyggnader av reaktorsäkerhetssystem.

IAEA har tidigare formulerat den s.k. INES-skalan med vars hjälp händelser i en reaktor klassas ut säkerhetssynpunkt (Ref. 7).

Skalan går från 0 för mindre avvikelse till 7 för stor olycka. De lägre nivåerna (1 - 3) kallas händelser eller incidenter, och de övre nivåerna (4 - 7) olyckor.

Enligt SKI är händelsen i Forsmark på nivå 2. Som jämförelse kan nämnas att Tjernobylnakatastrofen var en olycka på nivån 7 och härdsmltan i Harrisburg i USA klassades som nivå 5.

I Sverige har sedan INES-skalan började användas 1991 rapporterats totalt 29 händelser klassade INES-1, sex INES-2 och en INES-3.

Den sistnämnda var inte relaterad till kärnkraftverksamhet, utan avsåg en transport av annat radioaktivt material.

Slutord

Forsmarksincidenten innebar inte några skador på bränslet eller reaktortanken. Inte heller i övrigt skadades några viktiga komponenter.

Det allvarliga var att det s.k. djupförsvaret för reaktorns säkra drift inte fungerade fullt ut.

En viktig princip i uppbyggnaden av djupförsvaret, nämligen att en enskild störning inte skall kunna påverka flera olika säkerhetssystem, kunde inte upprätthållas.

De viktiga skälen till att störningen fick omfattande konsekvenser i statio-

nens el- och säkerhetssystem var två felaktigheter.

Den ena var att driftomläggningen i ställverket inte gjordes på ett korrekt sätt.

Den andra var att konstruktörerna i säkerhetsanalyserna inte antagit att så

höga spänningstoppar skulle uppstå som i detta fall blev följden av kortslutningen. Utan ettdera av dessa misstag hade omläggningen i ställverket inte lett till någon allvarlig störning i Forsmark 1.

Trots dessa brister kunde en säker avställning av reaktorn ske med god marginal tack vare att andra delar av djupförsvaret fungerade som avsett.

Simulatorträning

Dessutom visade personalen i Forsmarks kontrollrum att simulatorträning och de speciella störningsinstruktionerna gör det möjligt för operatörerna att fungera rationellt även i en pressad situation.

All kontrollrumspersonal grundutbildas vid fullskaliga kraftverkssimulatorer och får sedan återträning minst två gånger per år.

I simulatorernas kontrollrum kan realistiska övningar av mycket omfattande haverisituationer genomföras.

Forsmarksincidenten visar på ett konkret sätt värdet av att kärnkraftverkens skiftlag tränas i kraftverkssimulatorer.

Forsmarksincidenten har nu programmerats in i de svenska simulatorerna och troligen också i flera utländska.

Minskad elproduktion

De svenska kärnkraftverken svarar för nära hälften av elbehovet i landet. Incidenten i Forsmark den 25 juli ledde till att fyra reaktorer med en sammanlagd effekt av cirka 3 000 MW stod avställda under ungefär två månader.

En av dem, Oskarshamn 1, på cirka 500 MW, fick ett driftavbrott på drygt fem månader på grund av Forsmarksincidenten. De fyra reaktorerna producerar un-

gefär en tredjedel av Sveriges kärnkraft och drygt 15 procent av elbehovet.

Under augusti – september 2006 var det varmt i Sverige och elbehovet var litet. Om incidenten hänt under en kall vinter hade två månaders avställning av fyra reaktorer lett till behov av ökad import av elkraft. Troligen hade man inte kunnat importera tillräckligt med el, och därför hade sannolikt en effektbrist uppstått i det svenska elnätet.

Tack

Yngve Flodin, Vattenfall Power Consultant AB, har bidragit med idéer och konstruktiv kritik.

Carl-Erik Wikdahl

carl-erik@wikdahl.se

Illustrationer: *Lasse Widlund*

Referenser

1. "Är kärnkraften säker?" Bakgrund (Nummer 1, maj 2004) skriven av Carl-Erik Wikdahl och utgiven av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns på www.analys.se
2. "Forsmark 1 – Störningsanalys – Bortfall 400 kV samt utebliven dieselstart i A- och B-sub". Revision 6 daterad 2006-10-13. Rapporten finns tillgänglig på Forsmarks hemsida www.vattenfall.se/forsmark/nyhetsarkiv/SenasteNytt/2006-08-23
3. "Granskning av FKA:s ansökan om återstart av Forsmark 1 och 2 med anledning av händelsen på Forsmark 1 den 25 juli 2006". SKI 2006/799 daterad 2006-09-14. Rapporten finns på SKIs hemsida www.ski.se. Klicka först på "Publicerat" och därefter på "20060914 Beslut/Föreläggande"
4. "Säkerhetsfiltret. Ny teknik ökar svensk kärnkraftsäkerhet". Bakgrund (Nummer 9, november 1988). skriven av Evelyn Sokolowski och utgiven av Analysgruppen vid KSU. Rapporten kan beställas från www.analys.se
5. Statens kärnkraftinspektions författningssamling, SKIFS 2004:1. "Statens kärnkraftinspektions föreskrifter om säkerhet i kärntekniska anläggningar". Rapporten finns på SKIs hemsida, www.ski.se
6. "Kärnsäkerhetskonventionen" Bakgrund (Nr 2, april 2006) skriven av Lars Högberg och utgiven av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns på www.analys.se
7. "INES-skalan och dess fallgropar". Kärnkraftfakta (Nr 15, 1998) skriven av Per-Åke Bliselius och utgiven av Analysgruppen vid KSU. Rapporten finns på www.analys.se

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU)

Kärnkraftsäkerhet och Utbildning AB (KSU) är ett företag inom Vattenfallkoncernen och ansvarar för vissa gemensamma säkerhets- och utbildningsfrågor på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB, OKG Aktiebolag och Ringhals AB.

Företaget utbildar kontrollrumsoperatörerna vid kärnkraftverken i Forsmark, Oskarshamn och Ringhals genom bland annat träning i simulatorer och teoretiska kurser i kärnkraftteknik.

KSU utvärderar störningar som inträffat i svenska och utländska kärnkraftverk och är den svenska länken i ett internationellt nätverk för utbyte av drifterfarenheter.

Företaget svarar genom Analysgruppen för vetenskapligt grundad samhällsinformation inom kärnkraftområdet.

Analysgruppen vid KSU

Analysgruppen är en självständigt arbetande expertgrupp som deltar i samhällsdebatten om kärnkraft och strålning. Genom KSU är gruppen knuten till kraftindustrin. Gruppen utser själv sina ledamöter efter vetenskaplig kompetens, branschfarenhet och personligt engagemang.

Huvuduppgiften är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp i samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Gruppen redovisar resultaten främst genom publikationerna *Bakgrundoch Fakta*-serien som också är tillgängliga på Internet: www.analys.se

Hemsidan täcker området kärnkraft i Sverige och utomlands och har även ett omfattande länkbibliotek.

Hans Ehdwall, fil.kand, ansvarig erfarenhetsåterföring, KSU

Yngve Flodin, civilingenjör, reaktorsäkerhetsexpert, Vattenfall Power Consultant AB

Martin Luthander, civilingenjör, public affairs elproduktion Norden, Vattenfall AB

Mats Harms-Ringdahl, professor, strålningsbiolog, Stockholms universitet

Gunnar Hovsenius, tekn lic, energi/miljöfrågor, Hovsenius Konsult AB

Carl-Göran Lindvall, ingenjör, strålskyddsföreståndare, Barsebäck Kraft AB

Anders Pechan, informationskonsult

Agneta Rising, fil. kand, miljöchef, Vattenfall AB

Carl-Erik Wikdahl, civilingenjör, konsult, Energikommunikation AB