

Forskning

Haverihantering

En sammanställning och värdering av existerande instrumentering som stöd under haverihantering

APRI 5 – Rapport

Veine Gustavsson

Januari 2006

Forskning

Haverihantering

En sammanställning och värdering av existerande instrumentering som stöd under haverihantering

APRI 5 – Rapport

Veine Gustavsson

SwedPower AB
Box 527
162 16 Stockholm

Januari 2006

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Forskningsprojektet APRI-5 är ett samarbetsprojekt mellan följande organisationer:

- Statens kärnkraftinspektion
- Ringhals AB
- OKG Aktiebolag
- Forsmarks Kraftgrupp AB
- Barsebäck Kraft AB

Projektet är underställd en styrgrupp med representanter från SKI och kraftbolagen enligt följande:

Mauritz Gärdinge, OKG (ordförande)
Oddbjörn Sandervåg, SKI
Ninos Garis, SKI
Anders Hensch, Ringhals
Ingvar Berglund, FKA
Erik Larsen, BKAB
Lennart Agrenius, Agrenius Ingenjörbyrå (projektledare)

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	6
1.1.	Projektets mål	6
1.2.	Projektets avgränsningar	7
1.3.	Störningsinstruktioner vid svenska verk	8
2.	HAVERIFENOMEN: HÄRDNEDSMÄLTNING I BWR	9
2.1.	Behov av information	9
2.2.	Tillgång till information	11
2.3.	Förslag till förbättringar	12
3.	HAVERIFENOMEN: HÄRDNEDSMÄLTNING I PWR	13
3.1.	Behov av information	13
3.2.	Tillgång till information	13
3.3.	Förslag till förbättringar	14
4.	HAVERIFENOMEN: ÅTERKRITICITET I BWR	14
4.1.	Behov av information	15
4.2.	Tillgång till information	15
4.3.	Förslag till förbättringar	15
5.	HAVERIFENOMEN: TANKGENOMSMÄLTNING I BWR	15
5.1.	Behov av information	16
5.2.	Tillgång till information	16
5.3.	Förslag till förbättringar	16
6.	HAVERIFENOMEN: LÄCKANDE INNESLUTNING I BWR	17
6.1.	Behov av information	18
6.2.	Tillgång till information	18
6.3.	Förslag till förbättringar	18
7.	SAMBAND MELLAN MÄTSIGNALER OCH HAVERIFENOMEN	18
7.1.	Tankgenomsmältning	18
7.2.	Läckande inneslutning	19
8.	INTERNATIONELLT ARBETE	20
9.	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	23
	REFERENSER	25
	APPENDIX A: RESULTAT FRÅN MAAP-ANALYSER MED TANK-GENOMSMÄLTNING	27
	APPENDIX B: RESULTAT FRÅN MAAP-ANALYSER MED LÄCKANDE INNESLUTNING	41

1. INLEDNING

Under ett haveri är det av vikt att operatören får tillräcklig information om förloppet i anläggningen för att kunna genomföra haverihanteringen enligt störningsinstruktionerna. Information från processen behövs även i det fall då haveriet utvecklas så att dessa instruktioner inte längre är tillämpliga och beslut om åtgärder istället fattas utgående från kunskapsbaserad dokumentation och expertbedömningar.

Vidare finns behov av information om läget i anläggningen från andra delar av haveriorganisationen än de som är operativt involverade i haverihanteringen. Exempel på detta är information av betydelse för att skydda egen personal samt underlag för att informera myndigheter och allmänheten.

Under det föregående APRI-projektet genomfördes en sammanställning och värdering av kunskapsläget om haverifenomen och haverihantering. Detta arbete avrapporterades i [1]. Ett urval av dessa fenomen, som är av central betydelse för haverihanteringen, ingår i detta projekt, inom APRI 5. Valet av haverifenomen har i hög grad skett med hänsyn till möjligheterna att få information från instrumenteringen i anläggningen. Följande fenomen behandlas: härdnedsmältning, återkriticitet, tankgenomsmältning och läckande inneslutning.

Större delen av projektet behandlar BWR. Härdnedsmältning undersöks dock både för BWR och PWR. Som referensreaktorer har Forsmark 1 valts för BWR och Ringhals 3 för PWR. Dessa reaktorer har valts i den mån detaljerade analyser genomförts. Huvuddelen av innehållet i projektet är dock allmängiltigt för svenska reaktorer. Översiktliga studier genomförs för BWR, både intern- och externpumpsreaktorer.

Information om anläggningens status under ett svårt haveri kommer från mätsignaler. Tillförlitligheten hos dessa signaler är beroende av om mätutrustningen är kvalificerad för att klara den miljö som råder under ett svårt haveri. Exempel på utrustning som är avsedd för sådana förhållanden är den instrumentering för mätning av tryck, temperatur, aktivitet och vattennivå i inneslutningen som sattes in i svenska verk i samband med installation av filtrerad tryckavlastning av inneslutningen.

Större delen av den instrumentering som finns i anläggningarna är inte avsedd för svåra haverier. Detta innebär att mätvärdena kan vara missvisande. Det är ändå i många fall möjligt att utnyttja sådan instrumentering att för registrera trender under ett inledande skede av ett svårt haveri.

Användbarheten beror bland annat på om signalerna kan valideras. Omfattande arbeten har genomförts för att ta fram metoder för validering av signaler från processen. En sammanställning av metoder för validering av mätdata ges i [2].

1.1. Projektets mål

Projektet har haft följande mål:

- Att sammanställa behovet av information för att kunna genomföra åtgärder under haverihanteringen.

- Att gå igenom tillgänglig information från instrumentering och bedöma dess tillförlitlighet.
- Att identifiera områden där brister finns och föreslå förbättringar.
- Att undersöka sambanden mellan centrala haverifenomen och information om förloppet, främst i form av utslag från instrument.

För att säkrare uppnå målen ovan och förankra projektet hos beställarna har en projektgrupp bildats med representanter från verken och SKI. Denna har haft till uppgift att delta i projektarbetet och att parallellt sprida information om arbetet i den egna organisationen.

Gruppen har bestått av följande personer: Ninos Garis och Wiktor Frid, SKI, Henrik Dubik, OKG, Joachim Bende, FKA och Henri Skrede (mot slutet av projektet ersatt av Lennart Isaksson), Ringhals.

1.2. Projektets avgränsningar

För avgränsning av projektet har en utgångspunkt varit den lista över problemområden som behandlades i projekt haverihantering i APRI 4, som avrapporterades i [1].

Denna innehåller följande:

- Tidig tryckavlastning på grund av hög vätgasproduktion
- Återkriticitet vid återflödning av skadad härd
- Tankgenomsmältning
- Ångexplosion efter tankgenomsmältning
- Smältans kylbarhet efter tankgenomsmältning
- Vätgasbrand i reaktorinneslutningen
- Läckande inneslutning
- Vätgasbrand i reaktorbyggnaden
- Haveri under revisionsavställning
- Behov av information för att genomföra åtgärder

I detta projekt har ett urval av haverifenomen skett med hänsyn till möjligheterna att få information från instrumenteringen i anläggningen. Härdnedsmältning behandlas både för BWR och PWR. Vidare ingår följande fenomen för BWR: återkriticitet vid återflödning av skadad härd, tankgenomsmältning och läckande inneslutning. Övriga områden i ovanstående lista har inte tagits med, främst beroende på att möjligheterna att få information från instrumentering i anläggningen är begränsade.

Projektet har avgränsats så att det gäller nuvarande utformning av anläggningarna.

Det förutsätts att ett haveri sker under effektdrift. För avställd reaktor råder speciella förhållanden som inte tas upp i detta projekt.

Vidare omfattar projektet tiden mellan inledande händelse och 24 timmar därefter, men inte långtidsförloppet.

1.3. Störningsinstruktioner vid svenska verk

Information om anläggningens status behövs i kontrollrummet för att genomföra åtgärder i haverihanteringen. Detta gäller framför allt i ett inledande skede av ett haveri då insatser är möjliga för att förhindra eller begränsa härdsador och återställa de kritiska säkerhetsfunktionerna.

I det fall då härdnedsmältning inte kan förhindras och de kritiska säkerhetsfunktionerna inte kan återställas kommer störningsinstruktionerna inte längre att kunna tillämpas. I ett sådant läge kommer beslut om åtgärder att tas av driftledningen med hjälp av tekniskt stöd från en expertgrupp. Även i detta fall behövs information om status i anläggningen som underlag för beslut om åtgärder.

Instruktioner för hantering av störningar finns vid alla svenska verk. För reaktorerna i Forsmark och Oskarshamn kallas dessa ÖSI (övergripande störningsinstruktioner). Motsvarigheten till ÖSI för Ringhals 1 kallas Generalen.

ÖSI för Forsmark 1 ges i [3] och för Oskarshamn 3 i [4]. Generalen ges i [5]. Den följande genomgången utgår från störningsinstruktionerna för F1, O3 och R1. För detta projekt ger valet av dessa anläggningar en heltäckande bild för våra kokvattenreaktorer.

ÖSI för Forsmark 1 innehåller instruktioner i form av flödesscheman baserade på de fyra kritiska säkerhetsfunktionerna reaktivitet, härdkylning, aktivitetsbarriärer och värmesänka. Vidare innehåller F1 ÖSI ytterligare avsnitt som kontroller efter störning, kriterier för haverilarm/höjd beredskap och åtgärder för larmning.

ÖSI för O3 baseras på en uppdelning av anläggningen i tre delar: reaktortank, reaktorinneslutning och maskinstation. För varje del har ett antal parametrar valts ut som är avgörande för respektive dels integritet. För reaktortanken gäller följande: snabbstoppsfunktion, elmatning, vattennivå och tryck.

Generalen för Ringhals 1 består liksom ÖSI av instruktioner i form av flödesscheman för följande områden: reaktivitet, härdkylning, tryckkontroll, värmesänkor och PMR. Den sista delen, PMR, står för Post Mitra Ringhals och avser användning av de konsekvenslindrande systemen: filtrerad tryckavlastning av inneslutningen och sprinkling av inneslutningen med oberoende vattentillförsel.

Som stöd för beslut om åtgärder då ÖSI inte längre kan tillämpas har anläggningsledaren (AL) tillgång till dokumentation av mera generell karaktär än ÖSI. Denna stöddokumentation är kunskapsbaserad och beskriver olika strategier för att återföra anläggningen till ett stabilt sluttillstånd och minimera utsläpp till omgivningen. Exempel på frågeställningar som behandlas i denna stöddokumentation är användning av de konsekvenslindrande systemen.

I Forsmark kallas denna stöddokumentation THAL (Teknisk Handbok för Anläggningsledare) [6]. Inom OKG används RAMA-instruktioner enligt [7]. För Ringhals finns Haveristöd för Blockledning, HSB. Denna finns i två utformningar, HSB-B för Ringhals 1 och HSB-P för Ringhals 2-4. Dessa finns dokumenterade i [8] och [9].

Såväl ÖSI som övrig dokumentation för haverihantering kräver information i form av mätsignaler från processen för att kunna tillämpas.

På motsvarande sätt som för BWR finns störningsinstruktioner som tillämpas i kontrollrummet för PWR efter snabbstopp. För kontroll av anläggningens status används följande kritiska säkerhetsfunktioner i Ringhals PWR:

- Underkriticitet
- Härdkylning
- Värmesänka
- Primärsystemets integritet
- Reaktorinneslutningen
- Massinnehåll i primärsystemet

Dessa finns översiktligt dokumenterade i R3 haveriinstruktion, statusträd, [10]. För varje kritisk säkerhetsfunktion finns ett blockschema (statusträd) med en färgskala grönt, gult, orange och rött beroende på i vilken grad säkerhetsfunktionen är uppfylld. Uppdelningen på dessa fyra nivåer (färger) styrs av villkor baserade på uppmätt information i anläggningen. I de fall en kritisk säkerhetsfunktion inte är helt uppfylld hänvisas i statusträdet till andra instruktioner, som tillsammans med statusträden närmast motsvarar ÖSI för BWR.

I detta projekt har huvudvikten lagts på statusträden för PWR. Skälet är att instruktionerna är betydligt mer omfattande än ÖSI för BWR. Om härdens utloppstemperatur överstiger 650°C och det inte går att återställa härdkylningen sker en övergång till SAMG, Severe Accident Management Guidelines. SAMG används i Kommandocentralen (KC).

Användning av SAMG har följande tre syften:

- Att återställa kylningen av härdens
- Att bibehålla inneslutningen intakt
- Att minimera utsläpp till omgivningen

SAMG beskrivs i [11].

2. HAVERIFENOMEN: HÄRDNEDSMÄLTNING I BWR

Början till ett svårt haveri är otillräcklig kylning av härdens, vilket leder till överhettning av bränslet. Om inte kylningen återställs inträffar nedsmältning av härdens. För att hålla härdens kyld finns som stöd instruktioner som används i kontrollrummet.

2.1. Behov av information

Behovet av information för användning av ÖSI ges av de frågor som ställs i instruktionen. Den information som krävs från processen för att välja väg i ÖSI är av två slag. Den första gäller parametrar som skall kontrolleras och den andra handlar om funktioner hos vissa system. I detta projekt är det främst den första typen av information som är intressant, alltså mätvärden från instrumentering i anläggningen. Sådan information kan ofta relateras till haverifenomen.

För att konkretisera behovet av information vid tillämpning av ÖSI har en genomgång gjorts av avsnitten om härdkylning i ÖSI för Forsmark 1. Behovet av information för användning av ÖSI vid övriga verk liknar det som gäller för F1.

Behovet av information från mätutrustning i anläggningen kan sammanfattas i följande punkter i ÖSI för F1: vattennivå i reaktortanken, tryck i reaktortanken, temperatur i reaktortanken och styrtavslägen. De båda först nämnda parametrarna efterfrågas ett stort antal gånger medan de senare bara förekommer på ett fåtal ställen.

ÖSI för härdkylning i F1 är uppdelad i följande fyra avsnitt:

- Låg nivå
- Hög nivå
- Lågt tryck
- Högt tryck

Kontroll av temperatur i härden finns i avsnittet om härdkylning vid lågt tryck för att få svar på frågan om temperatursänkningen i reaktorn är större än 40°C/h. Kontroll av styrtavslägen finns i avsnittet om härdkylning vid högt tryck.

För tillämpning av instruktionerna för härdkylning förutsätts att reaktorn är underkritisk. Om avstängning av reaktorn misslyckas skall instruktionen för reaktivitet i ÖSI tillämpas.

Även för användning av stöddokumentation till anläggningsledaren finns behov av uppmätt information från instrumentering i anläggningen. På motsvarande sätt som för ÖSI har en genomgång gjorts av behovet av information för att tillämpa stöddokumentation för anläggningsledaren, dvs. THAL, HSB-B och HSB-P. Dessa är kunskapsbaserade handböcker som innehåller beskrivningar av strategier, bland annat för användning av de konsekvenslindrande systemen. Förutom strategier för användning av konsekvenslindrande system innehåller dessa handböcker avsnitt om följande områden:

- Instrumentering
- Personsäkerhetsåtgärder
- Alternativ elmatning
- Kommunikation
- Förteckning över mobil utrustning
- Principer för drift av icke-drabbat block

För Vattenfalls reaktorer används vidare CDA-metoden (Core Damage Assessment), som finns beskriven i [12], för bedömning av härdskadornas omfattning. Den beskrivs också kort i följande avsnitt. För tillämpning av CDA-metoden behövs information om vattennivå i reaktortanken, kylflöde och utslag från aktivitetsmonitorerna i inneslutningen.

Det finns dessutom behov av information om graden av härdsador för andra användningsområden än tillämpning av ÖSI och stöddokumentation för AL i haverihanteringen. Exempel på sammanhang där detta behov av information finns är:

- När det gäller att skydda egen personal
- För bedömning av tillträddbarhet till olika delar av anläggningen
- För att få en uppfattning om risken för utsläpp till omgivningen

- Som underlag för att informera externt om läget.

För att uppfylla detta behövs en bild av härdens status. Det är rimligt att kräva att graden av härdskador uppskattas inom en tiopotens, dvs. 0,1 %, 1 %, 10 % och 100 % bränsleskador.

2.2. Tillgång till information

För att välja rätt väg i ÖSI behövs tillgång till information. Denna information fås från mätpunkter i anläggningarna. De mätsignaler som används har god tillförlitlighet så länge härdskadorna är små. Med ökande bränsleskador blir osäkerheterna större, speciellt för nivåmätningen i härden. Om bränsleskadorna ökar kommer ÖSI inte att kunna användas för att hantera haveriet. I stället genomförs haverihanteringen med användning av annan dokumentation, t.ex. THAL.

2.2.1. CDA

För bedömning av härdens skadeomfattning i Vattenfalls reaktorer används CDA-metoden [12], som beskrivs i det följande. Avsikten är att få fram en grov bild av härdens tillstånd. De nivåer på härdskador som kan uppkomma, kan beskrivas på följande sätt:

- Kapslingskador
- Omfattande kapslingskador
- Centrala delar av härden överhettade
- Stora delar av härden smält

Dessa fyra nivåer på härdskador motsvarar frigörelse av 0,1 %, 1 %, 10 % resp. 100 % av ädelgaserna i härdinventariet.

CDA är en metod som bygger på sammanvägning av information från följande mätningar och enkla hjälpberäkningar:

- Processparametrar
- Aktivitetsmonitorernas utslag
- Vätgasmängd

De processparametrar som är aktuella här är vattennivån i reaktortanken, HC-pumparnas drift och funktionen av nödkylsystem för härden. Detektorutslag från aktivitetsmonitorerna avläses, dels från ordinarie instrumentering, dels från FRISK-detektorer. De senare är kvalificerade för svåra haveriförhållanden.

CDA-metoden är indikativ, det vill säga den ger endast en grov uppfattning om härdens tillstånd. En viktig information för bedömning av härdskador är signalerna från aktivitetsmonitorerna. Det dominerande bidraget till dessa mätdata kommer från ädelgasernas aktivitet. I praktisk tillämpning av CDA jämförs uppmätta värden med på förhand beräknade. Korrigeringar görs för effekthistorik före snabbstopp och för avklingning mellan tidpunkten för snabbstopp och mättillfället.

En annan viktig information för bedömning av härdskador är mätning av vätgashalten i inneslutningen. Mängden vätgas som bildas genom oxidation av kapslingen är ett mått på bränsleskadornas omfattning. Nästan all vätgas bildas genom oxidation av zirkonium som

ingår i kapslingen. Genom att mäta och beräkna mängden vätgas i inneslutningens atmosfär kan mängden zirkonium som deltagit i reaktionen erhållas. På det här sättet får man en grov uppfattning om hur stor del av härden som skadats.

2.2.2. BCCM

Oskarshamn 2 och 3 är utrustade med BCCM (Beckers Core Cooling Monitor), som finns beskriven i [13]. BCCM är en instrumentering avsedd för monitorering av härdkylningen främst i BWR, men kan också användas i PWR. Utformningen är sådan att den enkelt placeras i en ledig detektorposition i en BWR-härd.

BCCM har två moder för mätning: härdkylnings- och temperaturmätning. Härdkylningsmätningen fungerar på följande sätt: När detektorn är omgiven av vatten och härden är kyld har detektorn samma temperatur som omgivningen. Försämras kylningen omges detektorn av ånga och temperaturen stiger. Resistansen i mättråden ökar vilket ger en utsignal. BCCM kan också användas som en temperaturmätare upp till 1300°C, vilket också baseras på ändring av resistansen i mättråden. Det finns separata strömmatningar för dessa båda användningar.

BCCM utvecklades under 1980-talet av KTH under professor Kurt Beckers ledning i samarbete med OKG och Sydkraft. En omfattande uttestning under normaldrift genomfördes i Barsebäck 1 under åren 1988–91. Under uttestningen var tre av detektorerna i varje sond placerade på olika axiella nivåer i härden. Den fjärde detektorn var belägen under härden, nära tankbotten. Med detta arrangemang är det möjligt att detektera både härdnedsmältning och ansamling av smälta på tankbotten. BCCM-detektorerna har visat sig fungera väl, men däremot har signalöverföringen i elektronikenheten som hanterar signalen från detektor till visning i kontrollrum inte varit helt problemfri. Om dessa problem åtgärdats kommer BCCM att kunna ge information om härdens tillstånd om ett svårt haveri inträffar.

2.2.3. Temperaturmätningar

Under senare delen av nedsmältningsförloppet kommer härdrester att samlas på botten av reaktortanken. Detta leder till att tankbotten värms upp. Utrustning för temperaturmätning finns installerad i botten av reaktortanken i följande verk: F1, F2, F3, O3 och R1. Med hjälp av dessa instrument går det att upptäcka om temperaturen i tankbotten stiger till onormalt höga värden. I reaktorerna F1 och F2 finns tre mätpunkter på insidan av reaktortankbotten och i F3 samt O3 finns fyra mätpunkter. Mätområdet är upp till 300°C. Det förväntade beteendet under ett haveri är en stigande signal tills givaren smälter och signalen blir ogiltig.

2.3. Förslag till förbättringar

En säkrare uppskattning av härdskadorna är möjlig att få med hjälp av fast instrumentering i härden. Om BCCM fungerar på avsett sätt är det ett alternativ. Detta skulle ge operatören viktig information om härdens kylning och nedsmältningsförloppet.

I de reaktorer som har temperaturmätning i tankbotten bör dessa signaler utnyttjas för att få fram information om härdens status. Särskilt under den senare delen av nedsmältningsförloppet kan dessa mätpunkter vara viktiga för bedömning av läget.

3. HAVERIFENOMEN: HÄRDNEDSMÄLTNING I PWR

Början till ett svårt haveri är otillräcklig kylning av härden, vilket leder till överhettning av bränslet. Om inte kylningen återställs inträffar nedsmältning av härden. För att hålla härden kyld finns som stöd instruktioner som används i kontrollrummet.

3.1. Behov av information

Störningsinstruktionerna för Ringhals PWR är baserade på följande kritiska säkerhetsfunktioner: underkriticitet, härdkylning, värmesänka, primärsystemets integritet, reaktor- inneslutningens integritet och massinnehåll i primärsystemet.

De kritiska säkerhetsfunktioner som är närmast relaterade till härdens kylning är:

- Härdkylning
- Värmesänka
- Massinnehåll i primärsystemet

I nuvarande statusträd för härdkylning krävs information från processen för följande parametrar:

- Härdens underkylning
- Voidhalt i härden
- Temperatur i härdutloppet mätt med termoelementen

Värmesänka avser ånggeneratorerna och i detta statusträd behövs information om vattennivå, tryck och matarvattenflöde till ÅG.

För massinnehåll i primärsystemet är tryckhållarnivå och voidhalt i härden de parametrar som används. Behov av mätning av kylmedelsinventariet (så kallad nivåmätning) i reaktor- tryckkärlet är en fråga som har diskuterats sedan 80-talet.

3.2. Tillgång till information

För att tillgodose behovet av information ovan finns instrumentering svarande mot de kritiska säkerhetsfunktioner som är relaterade till härdens kylning. De begränsningar som finns diskuteras i det följande.

Voidhalten i härden bestäms genom mätning av strömförbrukningen i huvudcirkulations- pumparnas motorer, enligt [14]. Metoden förutsätter att eltillförsel finns och fungerar alltså inte vid ett haveri med totalt elbortfall.

En god indikation på dålig kylning av bränslets övre del är stigande utslag från de termoelement som finns i härdens utlopp. Om medelvärdet blir större än 650°C skall övergång till SAMG ske. Om bränsleskadorna förvärras ytterligare kan det bli svårt att få ut någon tillförlitlig information från termoelementen.

3.2.1. CDA

Även för PWR i Ringhals har CDA-metoden införts för bedömning av härdens skade- omfattning under ett haveri. Principerna är samma som för BWR, beskrivna ovan.

Gemensamt för båda reaktortyperna är användning av aktivitetsmonitorerna i inneslutningen och uppskattning av vätgasproduktion för att bedöma härdskadorna. En skillnad är att termoelement i härdens utlopp utnyttjas i PWR medan sådana saknas i BWR.

3.2.2. Gammatermometrar

Ringhals 2 har infört gammatermometrar utplacerade i härdens i 12 sonder med 9 detektorer per sond. Detta genomfördes i samarbete med Scandpower och konceptet finns beskrivet i [15]. Gammatermometrarna har använts för brusmätningar och för bestämning av moderatortemperaturkoefficienten. En del problem har uppstått med läckande genomföringar. Själva instrumenten har däremot fungerat och skulle med måttliga insatser kunna utvecklas till mätning av vattennivå under försämrade kylning av härdens. De skulle i så fall kunna få en roll som motsvarar BCCM i BWR.

3.3. Förslag till förbättringar

Liksom i BWR skulle införande av fast instrumentering vara en stor förbättring som skulle ge möjlighet till en säkrare uppskattning av härdskadorna än vad som går att göra idag. En naturlig utveckling är användning av gammatermometrar i alla tre PWR.

Behovet av mätning av kylmedelsinventariet (nivåmätning) i reaktortryckkärlet är fortfarande en öppen fråga.

4. HAVERIFENOMEN: ÅTERKRITICITET I BWR

Under nedsmältning av en härd i BWR kommer styrstavarna att smälta ner före bränslet. Detta innebär att det kan finnas styrstavsfria regioner i härdens med en i stort sett intakt bränslegeometri. Om återflödning av härdens startas under dessa förhållanden kommer den sannolikt att bli återkritisk. Detta är bara möjligt under ett relativt kort tidsintervall. Det förutsätter att återflödning startar innan en alltför stor del av bränslestavarna smält ner.

Återkriticitet leder till effektutveckling i bränslet. Denna kan antingen vara kortvarig (effektspik, eventuellt prompt kriticitet) eller mera utdragen och större än resteffekten. Prompt kriticitet anses inte utgöra något hot mot reaktortankens eller inneslutningens integritet. Ett mera utdraget förlopp kan däremot ge en effektutveckling större än resteffekten, som den filtrerade tryckavlastningen är dimensionerad för. Om detta pågår tillräckligt länge, tills värmesänkan (kondensationsbassängen) gått förlorad, kommer inneslutningen att övertryckas. Sannolikheten att detta skall inträffa är dock låg.

En metod för registrering av återkriticitet har tagits fram av TVO och rapporterats i [16]. Denna bygger på användning av SRM-detektorerna (Source Range Monitoring), som dras ut så att de befinner sig ca 1,5 m under den aktiva härdens. Analyser har utförts för att översätta detektorutslag till reaktoreffekt.

Beräkningar av neutronflödet i SRM-positionerna har utförts för svårt haveri, där bränslegeometrin erhållits från MAAP och MELCOR. Neutronflödet i detektorpositionen beror i hög grad av den axiella effektfördelningen och densiteten av vattnet på tankbotten. Dessa förhållanden beror starkt av haverisekvensen. Därför ger SRM-detektorerna främst kvalitativ information, dvs. om återkriticitet inträffar, men däremot inte något pålitligt värde på effektnivån. För en tillräcklig signal med SRM placerad 1,5 m under härdens krävs

ett neutronflöde av 10^3 n/cm²s. Resultaten av TVO:s beräkningar visar att återkriticitet med en effektnivå av 2–3 % bör kunna detekteras. Lägre nivåer än detta är inte av praktisk betydelse.

4.1. Behov av information

Det inledande förloppet till återkriticitet är förlorad kylning av härden. I störningsinstruktionerna har åtgärder för att återställa härdkylningen högsta prioritet. Några instruktioner för att hantera återkriticitet finns inte. Däremot finns ett behov av information till operatören för att han skall förstå vad som händer i anläggningen under haveriet.

4.2. Tillgång till information

Information från processen finns främst i form av signaler från SRM-detektorerna. Alla reaktorer är inte utrustade med SRM. Detta gäller R1, F1 och F2. Där finns i stället WRNM-detektorer (Wide Range Neutron Monitoring). För fall då effektutvecklingen på grund av återkriticitet är högre än vad som kan avlastas till skrubbern ger mätning av tryck och temperatur i inneslutningen information om förloppet. Detta är då ett alternativt sätt att få information om återkriticitet.

4.3. Förslag till förbättringar

Den metod som används av TVO går också att använda i de svenska reaktorer som är utrustade med SRM. En viktig förbättring är utbildning av operatörerna så att de på ett säkert sätt hanterar denna typ av situationer. I reaktorer med BCCM kan dessa ge information om återkriticitet.

5. HAVERIFENOMEN: TANKGENOMSMÄLTNING I BWR

Om nedsmältning av härden sker kommer smälta att samlas i botten av reaktortanken. Ifall kylningen av härdresterna inte är tillräcklig kommer tankgenomsmältning att inträffa. Tankbotten innehåller svaga punkter i form av genomföringar för styrstavar och instrumentering. Om genomsmältning av reaktortanken sker är det mest sannolikt att det inträffar vid en genomföring. Ett alternativt, men mindre sannolikt scenario är att krypbrott inträffar. I detta fall sker genomsmältningen längs periferin ovanför tankbotten.

Ett viktigt mål i hanteringen av svåra haverier är att hålla smältan kyld i reaktortanken. Om detta lyckas kommer haverifenomen som vätgasförbränning, ångexplosioner i inneslutningen och genomsmältning av bottenplattan att sakna betydelse. Detsamma gäller större och mindre otätheter i inneslutningen mot omgivningen.

Om det inte är möjligt att undvika tankgenomsmältning prioriteras åtgärder för att bibehålla inneslutningens integritet. Genom filtrerad tryckavlastning kan trycket i inneslutningen hållas lågt. Därigenom minskar risken för okontrollerat läckage från inneslutningen till omgivningen. I haverihanteringen eftersträvas ett stabilt sluttillstånd, där trycket i inneslutningen är samma som i reaktortanken. Vidare skall härdresterna vara täckta med vatten och kylning av inneslutningen etablerad.

Så länge det är möjligt att behålla härdresterna i reaktortanken bör åtgärderna i haverihanteringen inriktas på att kyla smältan och förhindra tankgenomsmältning. En

svårighet i detta sammanhang är att operatören inte har en tydlig bild av förloppet och inte vet hur stora mängder smälta som samlats på tankbotten. En väldefinierad gräns är tidpunkten för tankgenomsmältning. Därefter är det helt klart att åtgärderna i haverihanteringen skall syfta till att bibehålla inneslutningens integritet.

Efter tankgenomsmältning fylls inneslutningen med vatten så att härdresterna blir kylda. För Forsmark ges strategin för vattenfyllning av inneslutningen i THAL. Nivån väljs så att öppningen i tankbotten på grund av tankgenomsmältning blir täckt med vatten. Detta innebär att aktivitet som frigörs från härdrester i tanken tvättas ur i inneslutningen om tryckavlastning med 362 sker.

5.1. Behov av information

Information om tankgenomsmältning behöver vara snabbt tillgänglig, lätt att tolka och tillförlitlig. Under det inledande skedet i ett svårt haveri har kylningen av härden i reaktortanken högsta prioritet. Om detta inte lyckas inträffar tankgenomsmältning. Ett behov av information finns beträffande tidpunkten för tankgenomsmältning.

5.2. Tillgång till information

Det finns mätsignaler i inneslutningarna som är användbara för att detektera tankgenomsmältning. Beräkningar utförda i förväg för några typfall, kan vara till hjälp när det gäller att tolka den uppmätta informationen.

Instrumentering för mätning av tryck, temperatur och aktivitet, installerad samtidigt som de konsekvenslindrande systemen och kvalificerad för svåra haveriförhållanden, finns tillgänglig.

Vidare finns utrustning för temperaturmätning installerad i botten av reaktortanken i följande verk: F1, F2, F3, O3 och R1. Denna instrumentering har kort beskrivits ovan i avsnittet om härdnedsmältning för BWR. Den kan också användas för att ge information om tankgenomsmältning. I detta fall kommer troligen några av givarna att förstöras och ge ogiltig signal.

För att dra nytta av den förstnämnda typen av instrumentering, det vill säga tryck, temperatur och aktivitet i inneslutningen, är det viktigt att studera trender av mätutslagen under haveriet. Om tankgenomsmältning inträffar kommer dessa mätvärden att uppvisa en momentan ökning. Detta utvecklas närmare i avsnitt 7.

5.3. Förslag till förbättringar

Ett förslag till förbättring är att mer än idag utnyttja tillgänglig instrumentering för att detektera tankgenomsmältning. Detta gäller både den utrustning för temperaturmätning i tankbotten som vissa reaktorer är utrustade med och de mätpunkter för tryck, temperatur och aktivitet som finns i alla inneslutningarna.

Tillgång till resultat från beräkningar utförda i förväg på ett antal haverisekvenser med tankgenomsmältning kan vara ett stöd i utvärderingen av mätvärdena för tryck, temperatur och aktivitet. Dessa beräkningar utförs både för extern- och internpumpsreaktorer. Vidare

beror tryck- och temperaturtransienten vid tankgenomsmältning av ett antal parametrar, relaterade till haverisekvensen, som:

- Andel smälta som lämnar reaktortanken vid genomsmältning
- Trycket i reaktortanken vid genomsmältning
- Om ångexplosion inträffar efter tankgenomsmältning.

6. HAVERIFENOMEN: LÄCKANDE INNESLUTNING I BWR

I detta avsnitt behandlas gasformiga läckage från inneslutningen som inte är direkt orsakade av haverifenomen. Ofta beror dessa läckage på att system som ansluter till inneslutningen inte isolerats.

Storleksmässigt kan läckage från inneslutningen indelas i litet, medelstort och stort läckage. Denna uppdelning har använts i PSA-studien för Ringhals 1, som finns avrapporterad i [17]. Ett litet läckage som byggs upp genom bidrag från flera läckageställen brukar kallas diffust läckage.

Utsläppet från inneslutningen beror av tillgången till sprinkling. För PSA-studien för Ringhals 1 innebär detta att utsläppen vid litet, medelstort och stort läckage beskrivs med hjälp av sex utsläppskategorier. Exempel på de olika graderna av läckage är:

- Stort läckage – oisolerat mavasystem, 415. Läckagearean är i detta fall ca 1200 cm². Utsläppet sker via turbinsystemen genom läckande ventiler och turbinernas axeltätningar.
- Medelstort läckage – utebliven isolering eller ventilfel i hjälpmavasystem, 416. Läckagearean ligger i intervallet 1–6 cm².
- Litet läckage – oisolerat varmhållningsflöde för ångledning till nödkylsystem för härden, 323, eller hjälpmava, 416.

Radiologiska konsekvenser av diffust läckage har undersökts för Forsmark 1-3 och avrapporterats i [18] och [19]. Scenariot är ett totalt elbortfall, det vill säga nödventilationen, system 749, är inte i drift. Om inneslutningen inte är tät kommer aktivitet, främst ädelgaser och jod, att läcka ut – speciellt via skalventiler.

Aktivitetskoncentrationen i inneslutningen beräknades med MAAP. Läckagemängder från inneslutningen har uppskattats, där hänsyn tagits till tryck- och temperaturfördelning i inneslutningen under haverisekvensen. En modell för beräkning av transporten av aktivitet från inneslutningen ut till olika delar av anläggningen togs fram. Dosrater beräknades för ett antal manöverplatser som måste vara tillräddbara under haveriet. Resultaten från dessa beräkningar ger dosrater i intervallet 2–25 mSv/h beroende på manöverplats.

I EU-projektet OPTSAM (Optimisation of Severe Accident Management Strategies for the Control of Radiological Releases), avrapporterat i [20], undersöktes hur åtgärder inom haverihanteringen påverkar utsläppen till omgivningen under ett svårt haveri. Vår del i OPTSAM omfattade en undersökning av hur de konsekvenslindrande systemen (filtrerad tryckavlastning och sprinkling av inneslutningen med oberoende vattentillförsel) kan användas för att reducera trycket och därmed också diffust läckage.

6.1. Behov av information

Det finns behov av information om läckage från inneslutningen av följande skäl:

- Information om läckageställe och omfattning är en förutsättning för att det skall vara möjligt att sätta in motåtgärder för att minska läckaget.
- Om inte inneslutningen är intakt behövs underlag för att bedöma storleken av utsläppen till omgivningen för att avgöra om skyddsåtgärder behövs.

6.2. Tillgång till information

Den information som finns tillgänglig för att detektera läckage är trycket i inneslutningen. Om trycket i inneslutningen avtar snabbare med tiden än vad som skulle vara fallet med intakt inneslutning indikerar detta att läckage förekommer. Även rumsvakter (tryck, temperatur, nivå) och strålningsmätare i reaktorbygganden kan ge indikation om läckande inneslutning.

6.3. Förslag till förbättringar

På förhand beräknade förlopp för trycket i inneslutningen kan vara till nytta. Dessa kan ge en indikation på om inneslutningen är tät eller inte. Denna typ av beräkningar kan också ge en uppfattning om läckagets storlek.

7. SAMBAND MELLAN MÄTSIGNALER OCH HAVERIFENOMEN

Att undersöka samband mellan mätsignaler och haverifenomen ingår som en del i projektet. Instrumentering, som är kvalificerad för svåra haverier, för mätning av tryck, temperatur, vätgashalt och vattennivå i inneslutningen finns i alla svenska reaktorer. Dessa storheter kan också beräknas med MAAP.

Två haverifenomen har valts ut för närmare studier, nämligen tankgenomsmältning och läckande inneslutning. Ett antal haverisekvenser har identifierats där dessa fenomen spelar en central roll. MAAP-beräkningar har genomförts för att få fram samband mellan mätsignaler (främst tryck och temperatur i inneslutningen) och förloppen vid tankgenomsmältning eller läckande inneslutning.

7.1. Tankgenomsmältning

I de MAAP-körningar som genomförts är förloppet vid tankgenomsmältningen relativt snabbt, vilket leder till att ökningen av tryck och temperatur i inneslutningen också sker snabbt. För Forsmark 1 har följande fyra sekvenser beräknats med MAAP:

1. Totalt elbortfall med system 365 (sprinkling av inneslutningen) tillgängligt efter 2 timmar
2. Totalt elbortfall med system 365 tillgängligt efter 8 timmar
3. Liten LOCA (5 cm^2) samt förlust av all spädmatning och felfungerande tvångsnedblåsning
4. Stor LOCA (1257 cm^2) och bortfall av kylning av kondensationsbassängen

I appendix A ges en mera detaljerad beskrivning av förutsättningarna för dessa sekvenser och resultat från körningarna med MAAP. En sammanställning av tidsförlopp för tryck, temperatur och vattennivå i olika delar av inneslutningen ges också i appendix A.

I sekvens 1 inträffar tankgenomsmltning 5,5 h efter inledande händelse. En kraftig tryckökning sker då i nedre drywell och i övre drywell, från ca 2 till 3 bar. Vidare ger MAAP en temperaturspik i wetwells gasfas. Dessutom stiger vattentemperaturen i nedre drywell kraftigt vid genomsmältningen. Slutligen inträffar ändringar av vattennivåer i wetwell och nedre drywell.

I sekvens 2 antas att sprinklingen av inneslutningen startas 8 timmar efter inledande händelse. I övrigt är förutsättningarna identiska med sekvens 1. Tryck, temperatur och vattennivåer uppvisar samma tendenser vid tankgenomsmltning som i fall 1.

I sekvens 3 inträffar tankgenomsmltning 4 h efter inledande händelse. I detta fall ger MAAP-beräkningarna kraftiga ökningar både i tryck och temperatur i nedre drywell, övre drywell och wetwell. Vattentemperaturen i nedre drywell stiger också kraftigt.

I sekvens 4 är förloppet betydligt långsammare än i sekvenserna 1-3 och tankgenomsmltning inträffar först 44 h efter inledande händelse. Tryckspikar uppkommer då både i nedre drywell, övre drywell och wetwell. Vattentemperaturen i nedre drywell stiger momentant liksom gastemperaturen i wetwell. Dessutom ändras vattennivåerna kraftigt i wetwell och nedre drywell vid tankgenomsmltning.

Före tankgenomsmltning i sekvens 4 förekommer också kraftiga variationer i tryck och temperatur. Tryckavlastning sker 24 h efter inledande händelse, vilket leder till en kraftig sänkning av trycket i inneslutningens olika delar. En relokering av smälta till nedre plenum inträffar ca 38 h efter inledande händelse. Detta ger momentana ökningar av tryck och temperatur i övre och nedre drywell samt i wetwell.

En slutsats av ovanstående resultat är att det i många fall bör vara möjligt att identifiera när tankgenomsmltning inträffar med användning av mätvärden för tryck, temperatur och vattennivå i inneslutningen. Detta förutsätter dock att tillräckligt omfattande beräkningar genomförs på förhand för sekvenser av olika slag för att resultaten skall vara användbara som stöd i haverihanteringen.

7.2. Läckande inneslutning

MAAP-beräkningar har genomförts för läckande inneslutning i två sekvenser. Den första är ett totalt elbortfall med system 365 tillgängligt 2 timmar efter inledande händelse och den andra en liten LOCA med förlust av all spädmatning. För dessa sekvenser har tre fall beräknats, nämligen intakt inneslutning och 5 cm² resp. 25 cm² läckagearea. Det har antagits att läckaget uppkommer då trycket i inneslutningen når 0,3 MPa absolut. Förutsättningar och resultat för dessa fall beskrivs närmare i appendix B.

Som framgår av figurerna i appendix B skiljer sig tryckkurvorna åt avsevärt beroende på om inneslutningen är tät eller om läckage med areor enligt ovan förekommer. Därför bör det vara möjligt att få en uppfattning om inneslutningens täthet om haverisekvensen är känd.

8. INTERNATIONELLT ARBETE

Under projektet har en genomgång av internationellt arbete gjorts, vilket sammanfattas i detta avsnitt. En översikt av aktiviteter i Västeuropa inom området under tiden 1990–2002 ges i [21], där behovet av och tillgången till information för haverihanteringen diskuteras. I rapporten ges också synpunkter på instrumentering vid införande av haverihantering för svåra haverier. Information från processen kan komma från följande källor: instrumentering, komponenters status, provtagning mm. Informationen till operatören måste svara mot vad som krävs för att genomföra haverihanteringen. Det är vidare viktigt att behovet av information identifieras på ett systematiskt och strukturerat sätt.

En systematisk metod för att tillgodose behovet av information för haverihanteringen skall innehålla följande delar:

- Specifikation av behovet av information
- Sammanställning av tillgänglig instrumentering
- Kännedom om begränsningar för mätutrustningen under haveriförhållanden
- Identifiering av nödvändig komplettering av instrumentering.

Två olika angreppssätt finns för haverihantering, nämligen ”Top-down” och ”Bottom-up”. ”Top-down” utgår från övergripande säkerhetsfunktioner och är en strukturerad metod för att koppla dessa till strategier för haverihantering. Därigenom blir det också möjligt att identifiera behovet av information till operatören. ”Top-down” omfattar följande fyra steg:

- Identifiering av övergripande säkerhetsfunktioner
- Ta fram strategier för att uppfylla säkerhetsfunktionerna
- Beskriva behovet av information för att tillämpa dessa strategier
- Undersöka om existerande instrumentering är tillräcklig för att ge denna information
- Komplettera mätutrustningen om så behövs.

Operatörens roll i haverihanteringen är att utvärdera status för säkerhetsfunktionerna. Om så krävs skall åtgärder vidtas för att säkerhetsfunktionerna skall hållas inom tillåtna värden, varvid strategierna i haverihanteringen tillämpas. Slutligen skall operatören kontrollera att åtgärderna har haft avsedd effekt.

”Bottom-up” är en metodik som utgår från en inventering av alla tillgängliga resurser för haverihantering, varvid inte bara instrumentering utan även personal och system inräknas. Därefter undersöks möjligheterna att hantera de haverisekvenser som kan uppkomma. ”Bottom-up” omfattar följande fyra steg:

- Sammanställning av alla tillgängliga resurser för haverihantering i form av system, hårdvara, instrumentering, information och personal
- Identifiering och beskrivning av huvudfaserna i representativa haverisekvenser
- Testa förmågan att hantera dessa sekvenser med tillgängliga resurser
- Komplettera resurserna för haverihanteringen om det finns brister.

Ett viktigt underlag för att få fram sekvenserna som skall hanteras är PSA-studier för anläggningen ifråga. Sekvenserna grupperas med hänsyn till följande kriterier: inledande händelse, system vars felfunktion ger härdsador, inneslutningens status och tidsförlopp. För varje grupp beskrivs representativ sekvens, haveriets faser och åtgärder inom haveri-

hanteringen. Faserna i sekvensen väljs så att åtgärder kan kopplas till varje fas. Som exempel kan faserna och åtgärderna kopplade till dessa i ett totalt elbortfall definieras på följande sätt:

- Återställning av härdkylningen innan bränsleskador inträffat
- Återställning av härdens kylning före tankgenomsmältning
- Kylning av härdresterna efter tankgenomsmältning
- Återställning av system för att bibehålla intakt inneslutning
- Åtgärder för att begränsa utsläppen till omgivningen

Instrumenteringens prestanda är avgörande för möjligheterna att få information till haverihanteringen. Mätutrustning i anläggningarna är främst avsedd att fungera under normal drift och DBA-haverier. På grund av konservatism i dimensioneringen är det dock i många fall möjligt att i begränsad utsträckning också använda instrumenteringen under svåra haverier. En uppskattning av hur denna konservatism kan utnyttjas ges i [22]. Bedömningen är att instrumenteringen kan användas under 2–3 timmar i början av ett svårt haveri. Signalvalidering är ett sätt att kontrollera tillförlitligheten av mätvärden från ett instrument. Grunden för signalvalidering kan vara en redundant mätning.

Information om tillståndet i anläggningen går också att få genom användning av indirekta metoder. Ett exempel på en sådan är att dra nytta av informationen att mätutrustning upphör att fungera. I vissa fall kan även fungerande instrumentering användas på ett okonventionellt sätt. Ett exempel på detta är härdövervakningsdetektorerna i TMI-2. Dessa visade stora fluktuationer under den period av haveriet då härdskadorna uppkom. Senare analyser visade att det fanns ett samband mellan detektorutslagen och vattennivån i härdens. Om denna typ av information skall kunna användas i haverihanteringen är det nödvändigt att på förhand ta fram underlag som går att tillämpa i ett verkligt haveri.

Vid införande av haverihantering för svåra haverier har följande principer varit centrala:

- Förhindrande av härdskador ges hög prioritet
- Existerande utrustning och instrumentering används så långt möjligt
- Mindre uppgraderingar görs där det är kostnadseffektivt.

Ett exempel på ett koncept utvecklat efter dessa principer är SAMG (Severe Accident Management Guidelines) framtaget av WOG (Westinghouse Owners Group). SAMG är ett generiskt material och måste anpassas efter anläggningen där det implementeras.

Generellt innehåller svåra haverier komplexa fenomen. Det är dock möjligt att utforma haverihanteringen i termer av ett litet antal kritiska beslut. Dessa beslut baseras vidare på ett fåtal nyckelparametrar. Därför är behovet av information för hantering av svåra haverier relativt begränsat.

Förutom de krav på information från anläggningen som är kopplade till haverihanteringen finns andra intressenter. En sådan är organisationen för haveriberedskap, som behöver prognoser för utsläpp till omgivningen som underlag för beslut om åtgärder. Vidare kommer myndigheter, media och allmänhet att kräva information.

En metod för utvärdering av behovet av information för PWR under ett svårt haveri, utvecklad av Idaho National Laboratory i USA, finns beskriven i [23]. Denna består av följande fem steg:

- Steg 1: Analys av troliga haverier och deras koppling till anläggningens säkerhetsfunktioner.
- Steg 2: Sammanställning av information som personalen involverade i haverihanteringen behöver för att förstå förloppen i anläggningen.
- Steg 3: Bedömning av instrumenteringens tillförlitlighet under svåra haveriförhållanden.
- Steg 4: Beskrivning av miljön i inneslutningen under ett svårt haveri.
- Steg 5: Utvärdering av instrumenteringens förmåga att ge tillräcklig information för hantering av haveriet.

I det följande ges kommentarer till de fem stegen ovan.

Steg 1: analys av troliga haverier innebär att information samlas om de sekvenser som skall kunna hanteras. En viktig källa till sådan information är PSA-studier för anläggningen.

Steg 2: bestämning av den information som behövs för att hantera haveriet kan göras på två sätt. Det första innebär att ett antal haverisekvenser från PSA-studien för anläggningen tas som utgångspunkt för att identifiera behovet av information. Detta kräver dock en genomgång av ett stort antal sekvenser för att få en heltäckande beskrivning. Den andra metoden utgår från säkerhetsfunktionerna hos anläggningen och relaterar dessa till strategier för haverihantering. Därefter kan den information som behövs identifieras. Detta är ett strukturerat arbetssätt ("top-down approach"), vilket är att föredra framför den metod som bygger på PSA-resultat.

Steg 3: instrumenteringens begränsningar beror av dess mätområden och prestanda i svår haverimiljö. Det är nödvändigt att få fram information om hela kedjan från mätpunkt till presentation av mätresultat. Att signalöverföring och elmatning fungerar är avgörande för att instrumenteringen skall kunna användas.

Steg 4: miljön i inneslutningen under ett haveri bestäms främst av temperatur, tryck, strålningsnivå och fuktighet. Dessa parametrar beror av graden av bränsleskador. I [23] har förloppet delats in i följande fem faser:

- Initiering av sekvensen med nedblåsning och kylmedelsförlust
- Upphettningsnivå av bränslet och härdförläggning
- Nedsmältning av härden
- Ansamling av härds smälta i nedre plenum
- Tankgenoms smältning och ex-vessel fenomen som tex. vätgasbrand.

För var och en av dessa faser beräknas variationsområdet för tryck, temperatur osv. för ett antal utvalda sekvenser.

Steg 5: utgående från resultat i steg 3 och 4 ovan utvärderas tillgänglighet av instrumentering under haveriets faser. Metoden som beskrivits har tillämpats på PWR med stor, torr inneslutning. Detta finns beskrivet i [24].

Ett viktigt område är strålningsnivåerna i anläggningen. Detta påverkar tillträddbarheten till olika utrymmen och kan också ge en indikation på risken för utsläpp till omgivningen. Ett exempel på beräkningsverktyg för beräkning av strålningsnivåerna i anläggningen ges i [24], som beskriver ett system för Loviisa framtaget av Fortum. Programmet kan också användas för uppskattning av utsläpp till omgivningen.

Som input kräver programmet information om haveriförloppet utgående från mätvärden i anläggningen. Förutom typ av inledande händelse ges status för system som påverkar frigörelse och transport av aktivitet. Programmet innehåller modeller för frigörelse av fissionsprodukter från härden, deponering i primär- och sekundärsystem, transport och deponering i inneslutningen, läckage från inneslutningen och utsläpp till omgivningen. Systemet är avsett för beräkningar för de första timmarna och dagarna under ett svårt haveri. De fissionsprodukter som ingår har därför begränsats till ädelgaser, jod, cesium och tellur. Programmet är upplagt i excel och är mycket användarvänligt.

Generellt är det i många fall möjligt att dra nytta av instrumentering under ett svårt haveri, även om den inte är avsedd för dessa förhållanden. Ett exempel på detta ges i [25]. I denna rapport beskrivs instrumentering i form av termoelement placerade på reaktortanken i BWR för att övervaka temperaturvariationer under uppgång eller nedgång i effekt. Denna instrumentering har ingen given roll i hanteringen av svårt haveri, men den går att dra nytta av ändå. Beräkningar med MAAP 4.0 har utförts för tre svåra haverisekvenser: totalt elbortfall, liten LOCA och stor LOCA. Dessa analyser visar att temperaturen i positionerna för termoelementen ökar linjärt mellan tiden för härdavtäckning och härdrelokering. Som information under ett haveri är trenden i uppmätta temperaturer minst lika väsentlig som ändringen i absolutnivå.

9. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

En generell slutsats av arbetet med denna rapport är att behovet av information för att genomföra åtgärder under haverihanteringen i stort sett tillgodoses med information från befintlig instrumentering i anläggningarna. Den enda tydliga svaghet som noterats är mätning av vattennivå i reaktortanken i BWR. Bättre information om tillståndet i härden skulle vara möjligt att få genom temperaturmätning med fast instrumentering.

En annan slutsats är att det finns exempel på instrumentering som inte utnyttjas som informationskälla i haverihanteringen även om detta skulle vara möjligt. Ett exempel på detta är mätning av temperatur i botten av reaktortanken.

Vidare ges följande rekommendationer:

- För att få bättre kontroll på härdens status behövs en tillförlitlig mätning av vattennivån i reaktortanken.
- För hantering av återkriticitet i BWR rekommenderas utbildning av operatörerna så att de förstår situationen om den skulle uppkomma.

- För att få information om senare delen av nedsmältningsförloppet och tankgenomsmältning kan temperaturmätning i tankbotten utnyttjas.
- Som stöd för att detektera tankgenomsmältning kan förhandsberäknade typfall av tidsförlopp för tryck och temperatur vara av värde.
- För att få information om läckage från inneslutningen rekommenderas användning av inneslutningstryckets beroende av tiden i sekvenser beräknade i förväg.
- Generellt är det värdefullt att i förväg gå igenom och dokumentera mätområden för instrumentering som kan vara användbar under ett haveri.
- Att mätutrustning upphör att fungera bör tas tillvara som information.

REFERENSER

1. V. Gustavsson, Haverihantering- En sammanställning och värdering av kunskapsläget om haverifenomen och haverihantering, SKI Rapport 02:49, november 2002
2. Wach et al., Instrument and Signal Validation in Accident Situations, EUR 16915, 1996
3. Forsmark 1, Övergripande störningsinstruktion för driftvakt, ÖSI 900:17, 2000-11-23
4. OKG, Block 3, Övergripande störningsinstruktioner (ÖSI), Reg. nr 3-D12.1, utgåva 8, 1997-06-26
5. Ringhals 1, "Generalen" Riktlinjer vid incidenter, 1-D6-171, utgåva 3, 1994-09-01
6. S. Hennigor, V. Gustavsson, Teknisk handbok för anläggningsledare, THAL, Forsmark 1 och 2, 1997-04-01
7. RAMA-instruktion, O3
8. R1, HaveriStöd för Blockledningen. HSB-B. 1741952/2.0, 2003-02-03.
9. G. Löwenhielm, Ringhals 2,3 och 4, HaveriStöd för Blockledning (HSB-P), Ringhals instruktion nr 0809, utgåva 1, 1993-03-01
10. R3, Haveriinstruktion H-F.0, Statusträd, Westinghouse F-0, Rev 1C, Darwin ID: 920706053
11. R2-R4 SAMG Beskrivning av haveriinstruktioner för allvarliga haverier, SAMG-instruktioner, för Ringhals PWR reaktorer. Slutrapport och underlag för säkerhetsgranskning. 1729199/2.0. 2002-06-01.
12. S. Rolandsson, Core Damage Assessment (CDA)- Att bestämma en härskadas omfattning vid haveri, Rapport PT-74/92
13. K. Becker et al. Performance Studies of a Novel Core Cooling Monitor in a Boiling Water Reactor, CSNI Specialist Meeting on Instrumentation to Manage Severe Accidents, 1993
14. J. Berggren, Ringhals PWR-block, Användning av strömmätning på huvud-cirkulationspumparnas motorer för voidbestämning vid otillräcklig härdkyllning, Rapport, BEZ 51/89
15. O. Moen, K. Ramslo, Application of Radcal Gamma Thermometers Installed in Forsmark 1 and Ringhals 2 for Monitoring during Inadequate Core Cooling, Scandpower Report Nr. 5.36.11/Task 1, 85.02.05

16. H. Sjövall, Instrumentation for Severe Accident Management in Olkiluoto 1 and 2, OECD Workshop on Operator Training and Instrumentation Capabilities, Lyon, France, 12-14 March 2001
17. S-O Andersson, V. Gustavsson, A. Hallman, P. Hellström, G. Jung, H. Strümpel, U-K Wendt, Ringhals 1, PSA nivå 2, Rapport GE 34/96
18. E. Appelgren, L-O Höglund, V. Gustavsson, FRISK- Radiologiska konsekvenser av diffust läckage, Forsmark 1 och 2, Rapport PK-126/87
19. V. Gustavsson, Radiologiska konsekvenser av diffust läckage i Forsmark 3 vid FRISK designfall, Rapport PK-61/88
20. Project on Optimisation of Severe Accident Management Strategies for the Control of Radiological Releases (OPTSAM), CEC Project FIKS-CT1999-00013
21. B. De Boeck (AVN), M. Vidard (EdF), J. Royen (NEA), Instrumentation Needs and Capabilities for Severe Accident Management, EUROSAFE 2003
22. Instrumentation and signal validation under extreme conditions, Proceedings of the FISA 95 symposium on EU research on severe accidents, EUR 16896, 1996
23. Duane J. Hanson, William C. Arcieri, Leonard W. Ward, Assessing information needs and instrument availability for pressurized water reactors during severe accidents, Nuclear Engineering and Design 148 (1994):233-254
24. T. Routamo, T. Eurajoki, P. Lundström, SaTu- Support System for Radiation Experts, OECD/CSNI SAM Workshop on Operator Training and Instrumentation Capabilities, Lyon, France, 12-14 March 2001
25. Bill Berger, Use of RPV thermocouples for accident management, FAI Technical Bulletin, No 0294-1, Fauske & Associates, Inc.

APPENDIX A: RESULTAT FRÅN MAAP-ANALYSER MED TANKGENOMSMÄLTNING

Beräkningar utförda av Håkan Wennerström, SwedPower. Följande fyra sekvenser har analyserats med MAAP (version 4.0.5):

1. Totalt elbortfall och system 365 tillgängligt efter 2 timmar.
2. Totalt elbortfall och system 365 tillgängligt efter 8 timmar.
3. Liten LOCA (5 cm²) samt förlust av all spädmatning. Även tvångsnedblåsning med system 314 antas felfungera.
4. Stor LOCA (1257 cm²) och bortfall av kylning av kondensationsbassängen med 322/711/715.

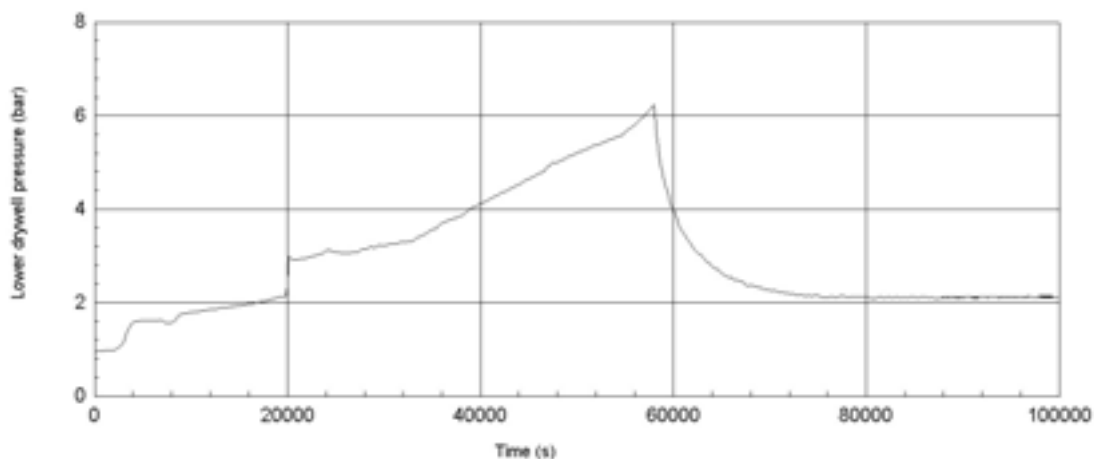
Sekvens 1: Totalt elbortfall och system 365 tillgängligt efter 2 timmar

Initialt antas totalt elbortfall. Sprinkling i inneslutningen med system 365 (75 kg/s, 20°C) antas komma igång 2 timmar efter inledande händelse. 365 stoppas när nivån i kondensationsbassängen når vakuumbrytarna (+121,5). I nedanstående händelselista sammanfattas resultatet från beräkningen.

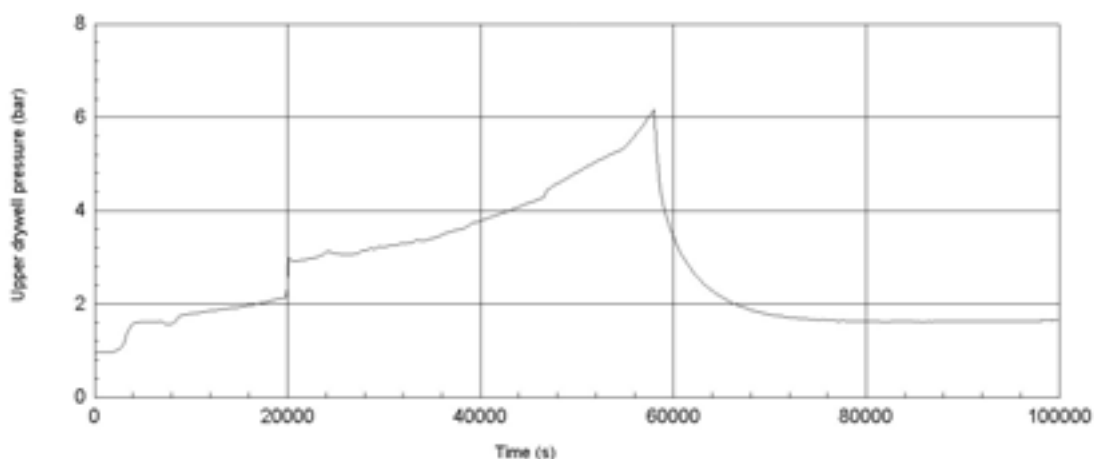
Händelse	Tidpunkt [s]
Bortfall av yttre nät	0
Bortfall av inre dieselsäkrat nät	0
Signal för snabbstopp erhålls	0
Trip av huvudcirkulationspumpar (313)	0
Trip av matarvattenpumpar (415)	0
Turbinernas pådragsventiler stänger	0
I-isolering (låg nivå L4)	234
Huvudångskalventilerna (411) stänger	234
Tvångsavblåsning med diversifierade 314-ventiler	234
Vattennivån i härden har nått härdens övre kant	1148
Vattenfyllning av nedre DW med 322 påbörjas (30 min efter I-isolering)	2039
Manuell sprinkling med av inneslutningen med system 365 påbörjas (75 kg/s)	7200
Relokering av härdmaterial till nedre plenum påbörjas	8326
Tankgenomsmältning	19983
Nivån i kondensations bassängen når vakuumbrytarna (+121,5) och 365 stoppas	46687
Sprängbleck i system 362 brister (5,7 bar a i inneslutningen)	58125
Beräkningen avslutas	100000

I figurerna nedan återfinns tryck, temperatur och vattennivå som funktion av tiden för primär-system samt olika delar av inneslutningen för sekvens 1.

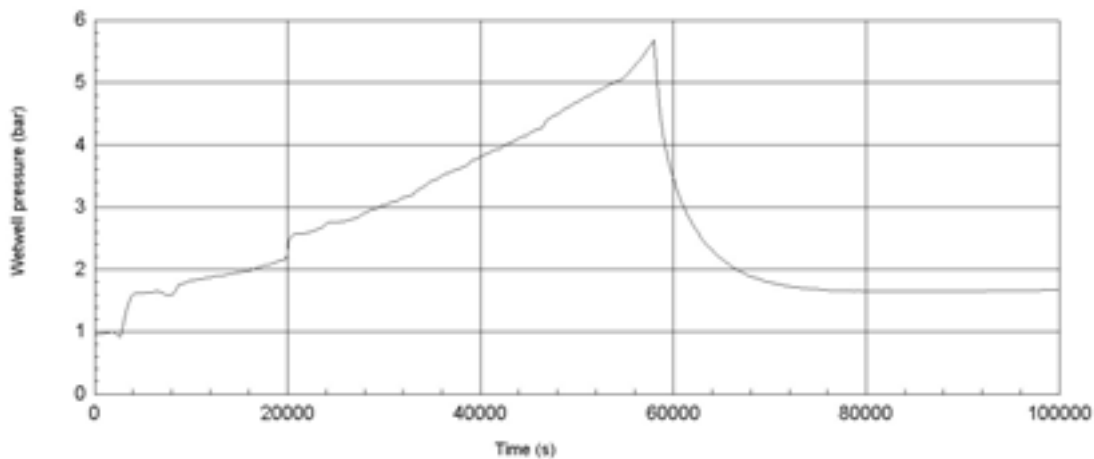
**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**



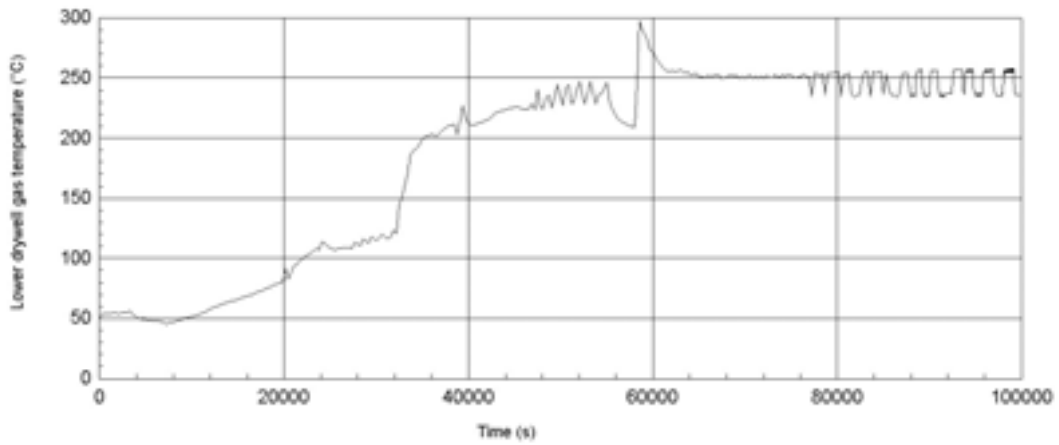
**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**



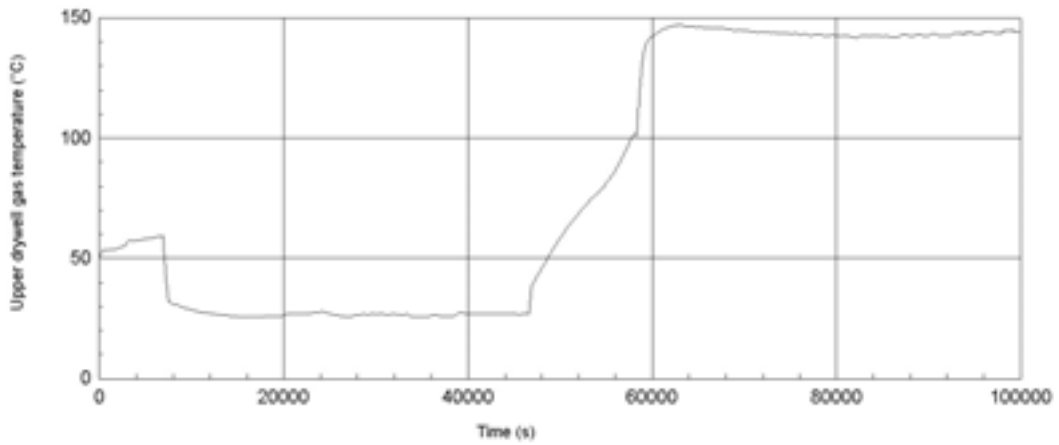
**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**



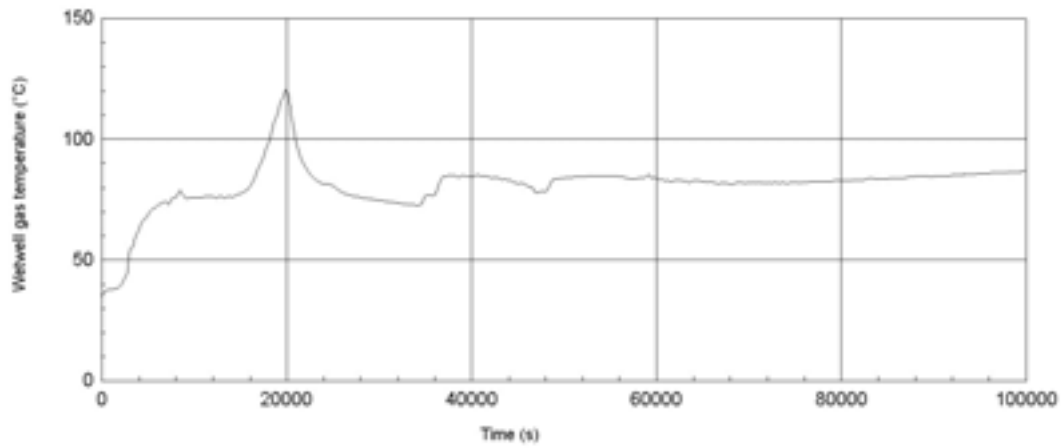
**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**



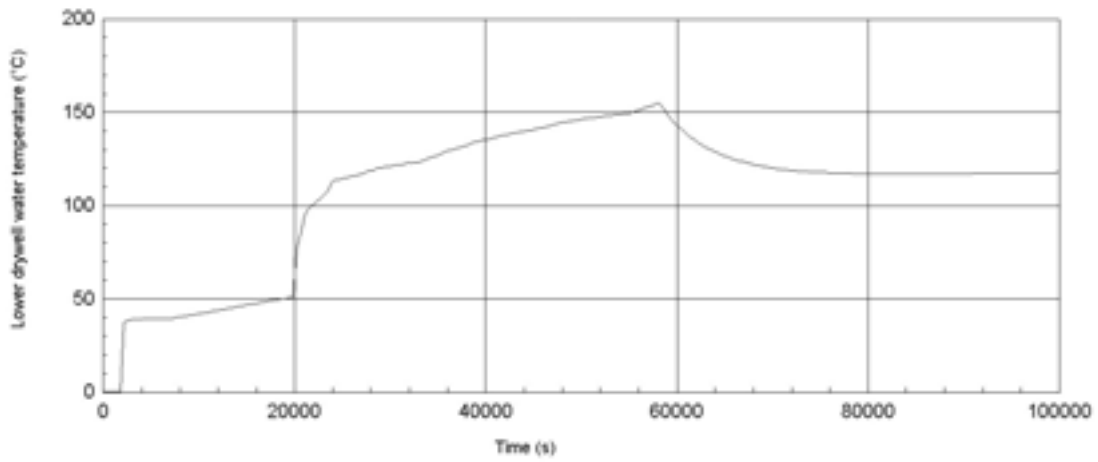
**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**



**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**



**MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 2H.**

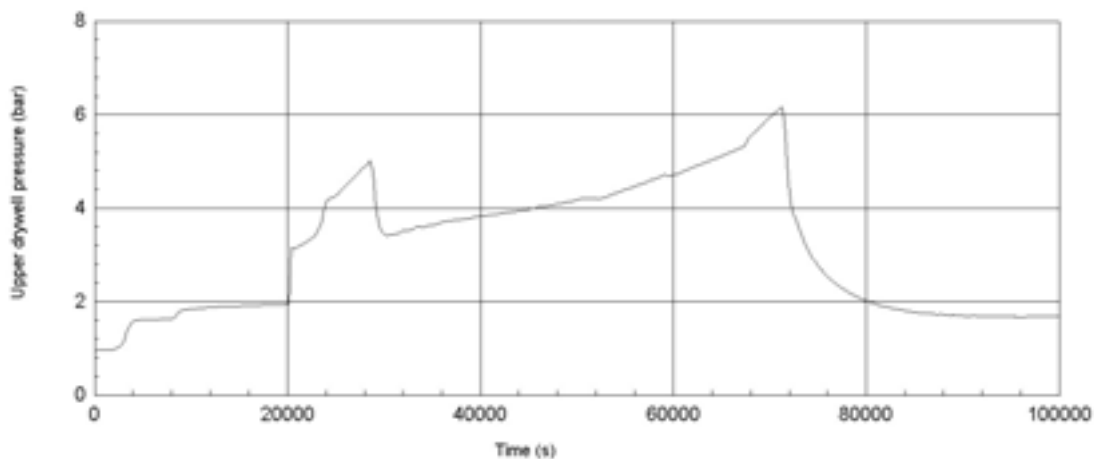


Sekvens 2: Totalt elbortfall och system 365 tillgängligt efter 8 timmar

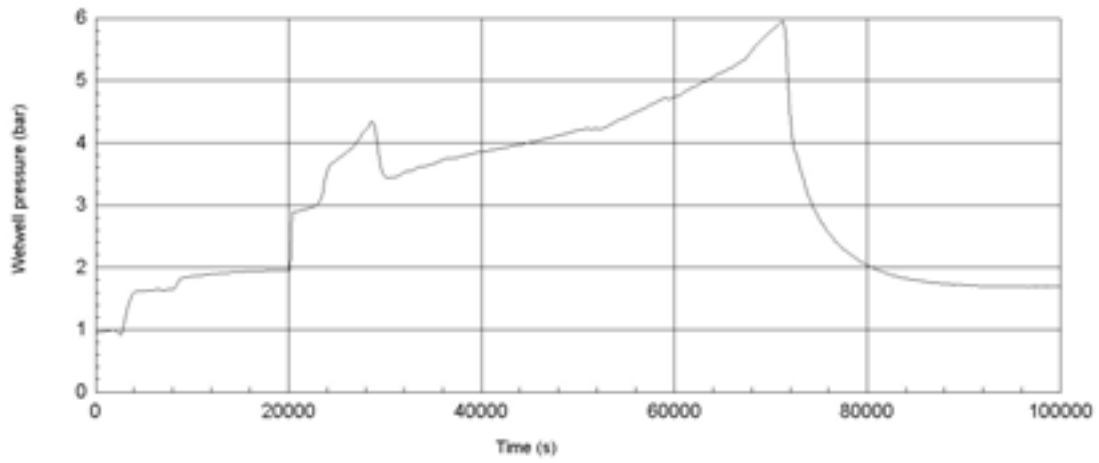
Initialt antas totalt elbortfall. Sprinkling i inneslutningen med system 365 (75 kg/s, 20°C) antas komma igång 8 timmar efter inledande händelse. 365 stoppas när nivån i kondensationsbassängen når vakuumbrytarna (+121,5). I nedanstående händelselista sammanfattas resultatet från beräkningen.

Händelse	Tidpunkt [s]
Bortfall av yttre nät	0
Bortfall av inre dieselsäkrat nät	0
Signal för snabbstopp erhålls	0
Trip av huvudcirkulationspumpar (313)	0
Trip av matarvattenpumpar (415)	0
Turbinernas pådragsventiler stänger	0
I-isolering (låg nivå L4)	234
Huvudångskalventilerna (411) stänger	234
Tvångsavblåsning med diversifierade 314-ventiler	234
Vattennivån i härden har nått härdens övre kant	1148
Vattenfyllning av nedre DW med 322 påbörjas (30 min efter I-isolering)	2039
Relokering av härdmaterial till nedre plenum påbörjas	8326
Tankgenomsmältning	20237
Manuell sprinkling med av inneslutningen med system 365 påbörjas (75 kg/s)	28800
Nivån i kondensations bassängen når vakuumbrytarna (+121,5) och 365 stoppas	67568
Sprängbleck i system 362 brister (5,7 bar a i inneslutningen)	71492
Beräkningen avslutas	100000

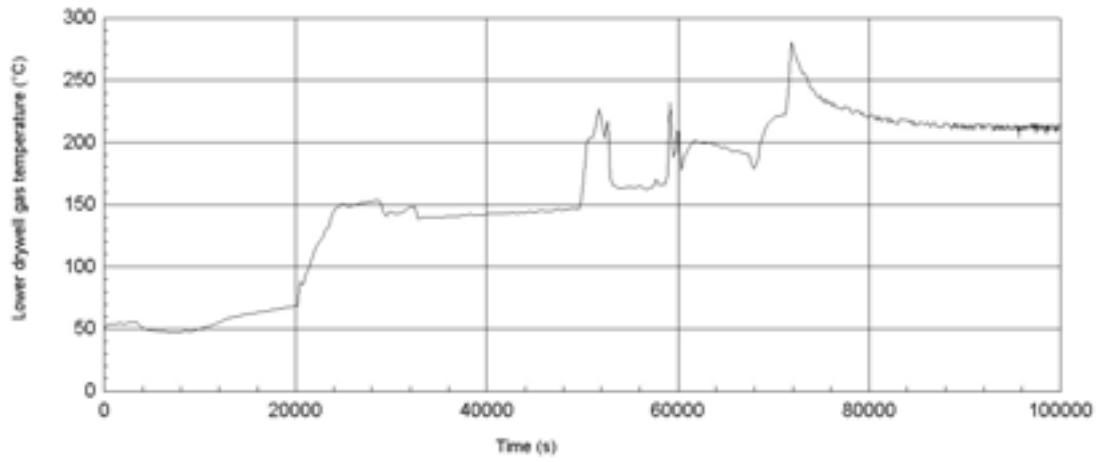
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START 365 AFTER 8H.



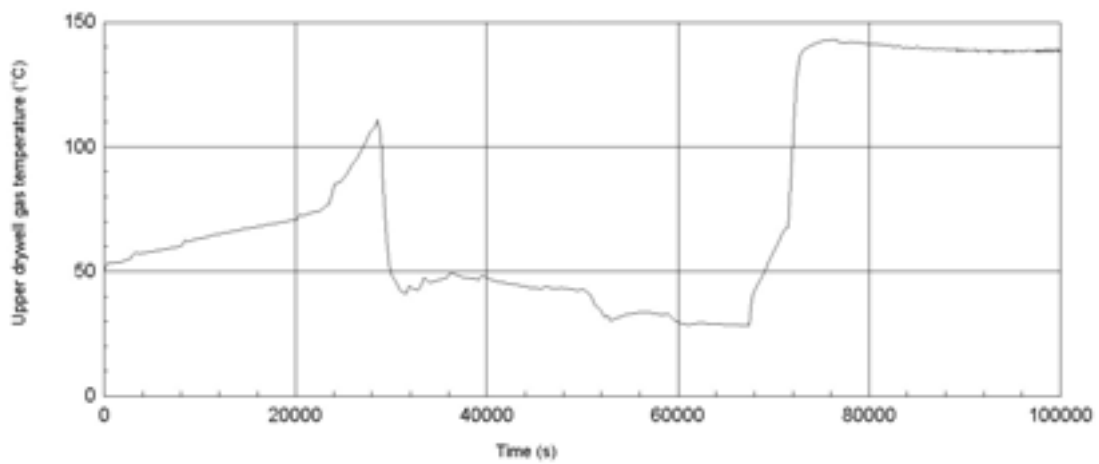
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 8H.



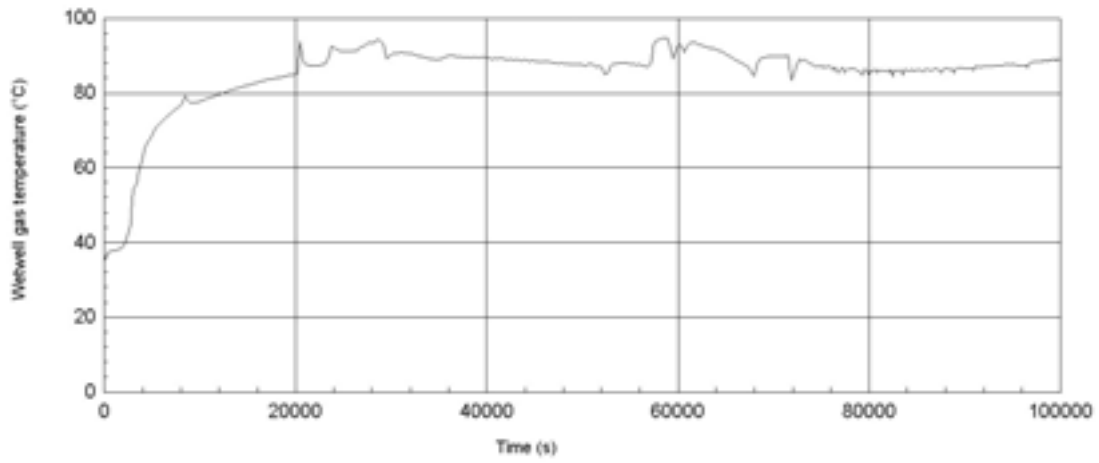
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 8H.



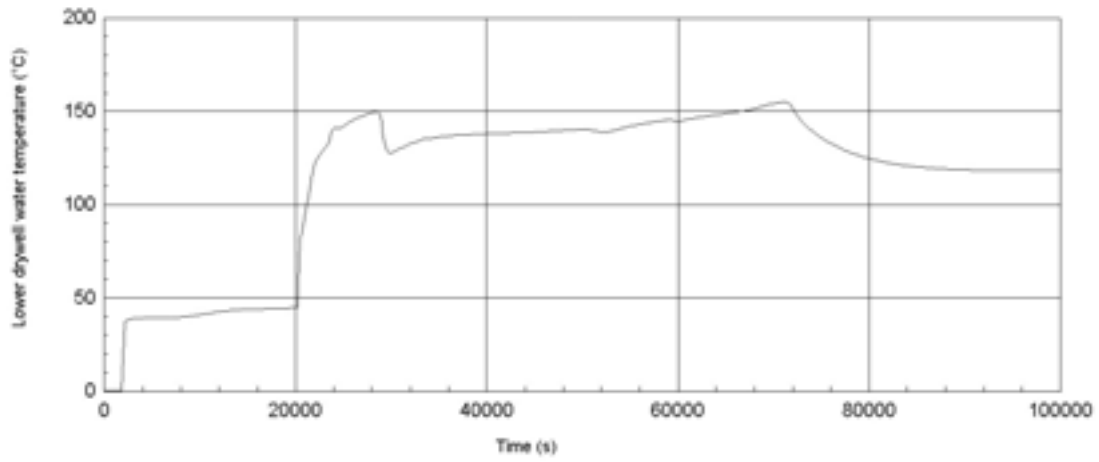
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 8H.



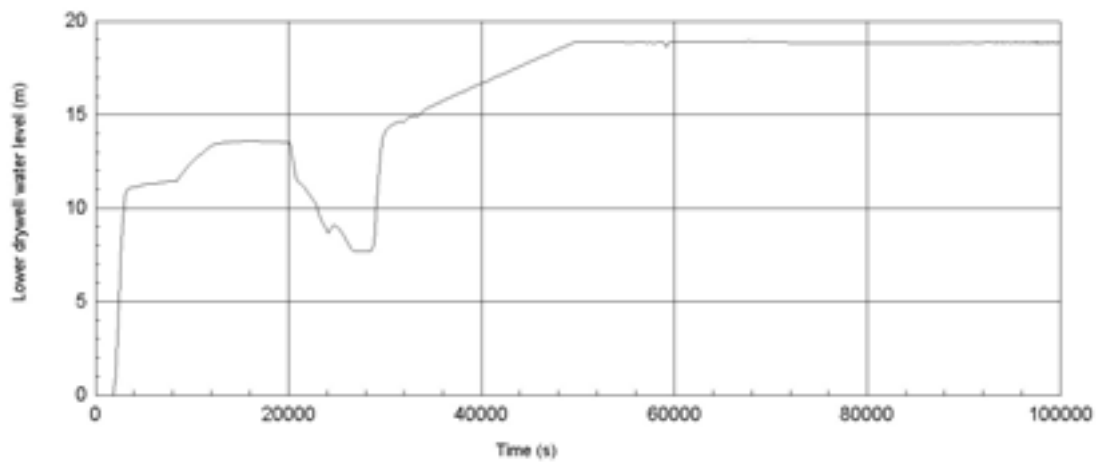
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 8H.



MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 8H.



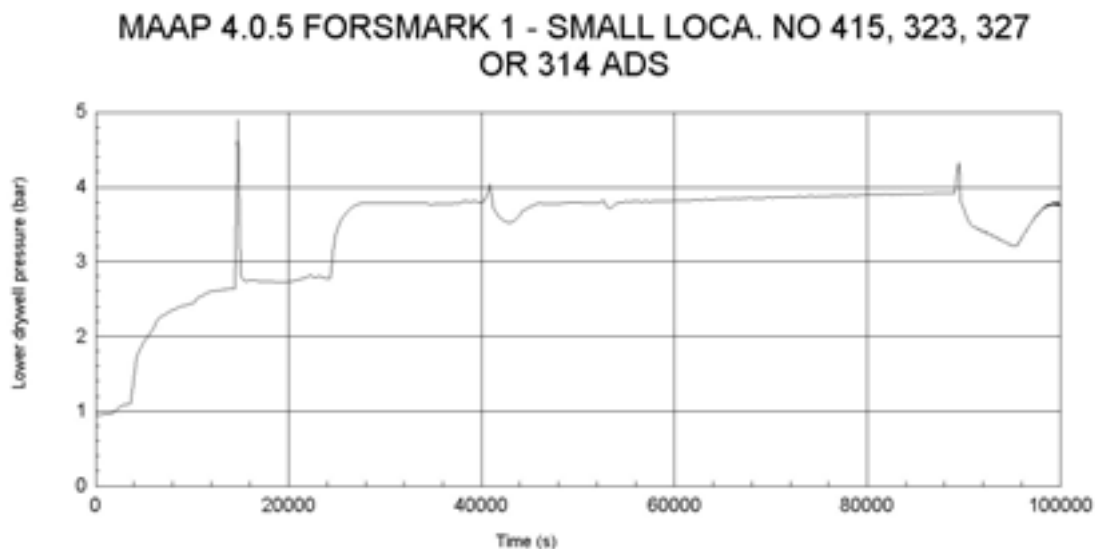
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - STATION BLACKOUT. START
365 AFTER 8H.



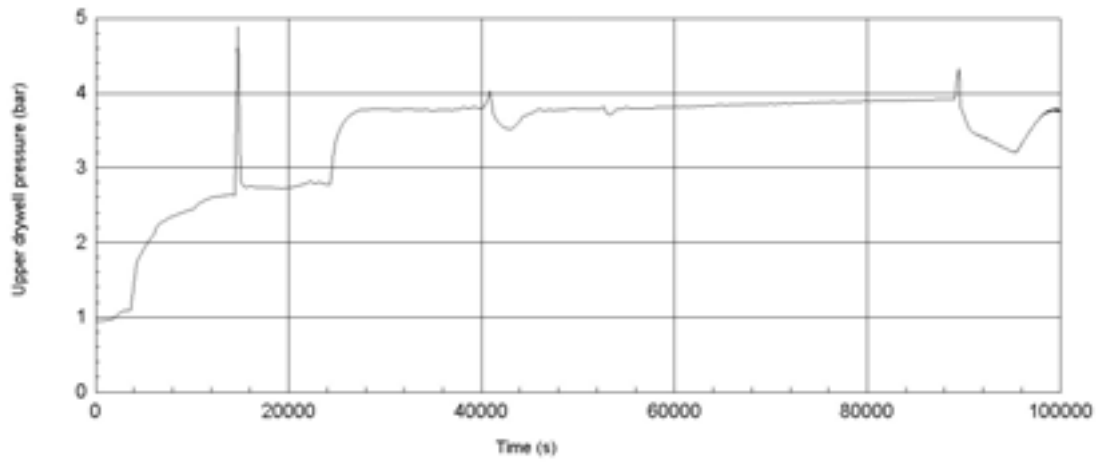
Sekvens 3: Liten LOCA och bortfall av all spädmatning. Felfungerande tvångsnedblåsning med 314

Initialt antas liten LOCA (5 cm²) på nivå +133.6 (nivå för ångledningsstutsar). Bortfall av såväl 327 som 323 postuleras. Tvångsnedblåsning med både ordinarie och diversifierade 314-ventiler antas fela. Matarvattensystemet (415) antas stoppa samtidigt med inledande händelse. I nedanstående händelselista sammanfattas resultatet från beräkningen.

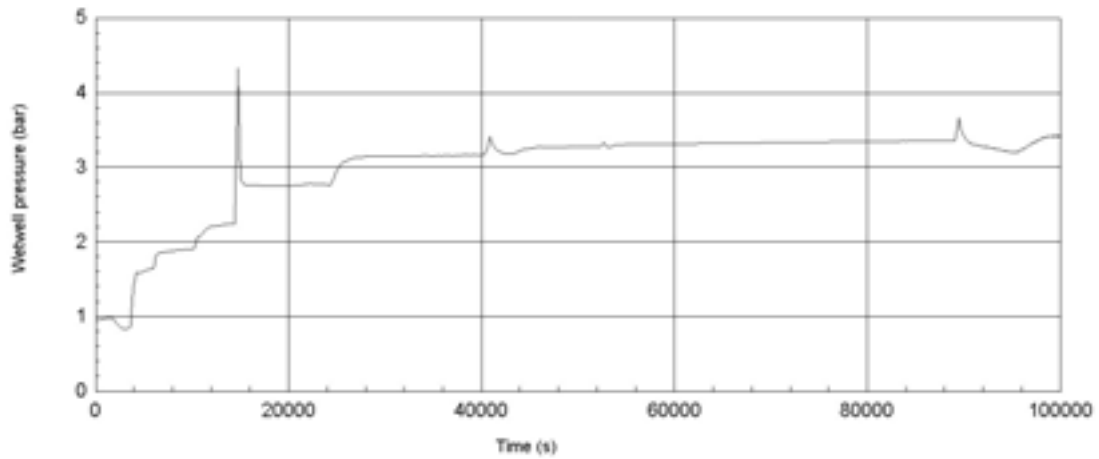
Händelse	Tidpunkt [s]
Liten LOCA (5 cm ²)	0
Trip av matarvattenpumpar (415)	0
Trip av huvudcirkulationspumpar (313)	3
Turbinernas pådragsventiler stänger pga låg nivå L2	12
Reaktorn snabbstoppas pga låg nivå L2	13
I-isolering pga låg nivå L4	41
Huvudångskalventilerna (411) stänger	41
Vattennivån i härden har nått härdens övre kant	1042
Vattenfyllning av nedre DW med 322 påbörjas (30 min efter I-isolering)	1845
Relokering av härdmaterial till nedre plenum påbörjas	10291
Tankgenomsältning	14711
Beräkningen avslutas	100000



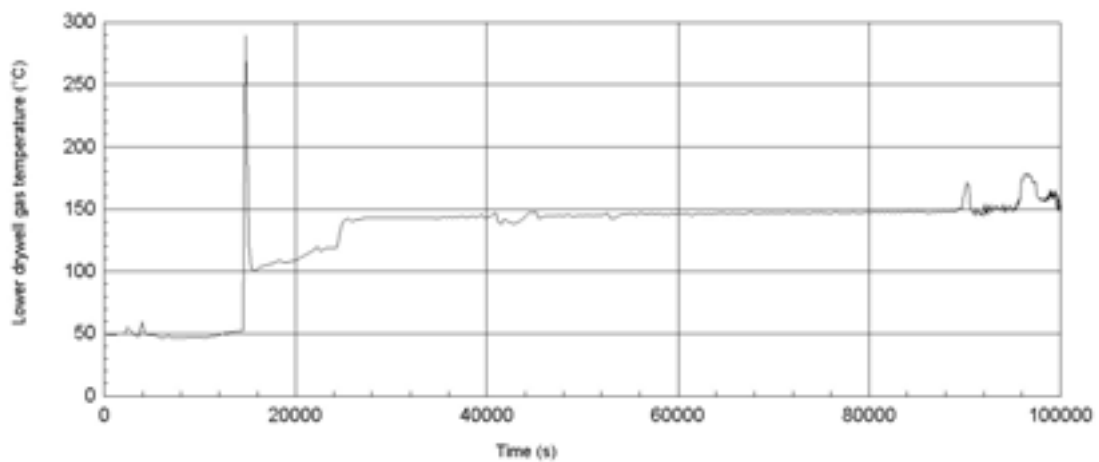
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - SMALL LOCA. NO 415, 323, 327
OR 314 ADS



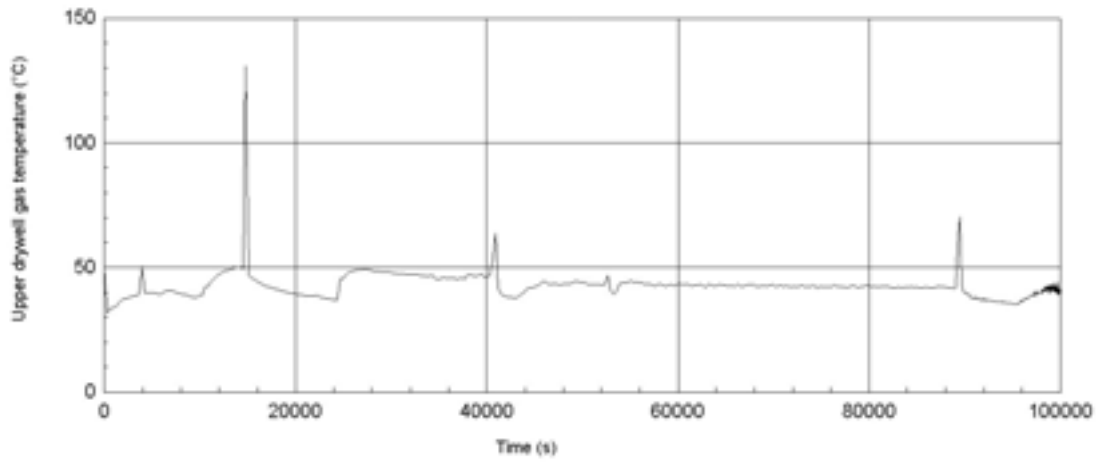
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - SMALL LOCA. NO 415, 323, 327
OR 314 ADS



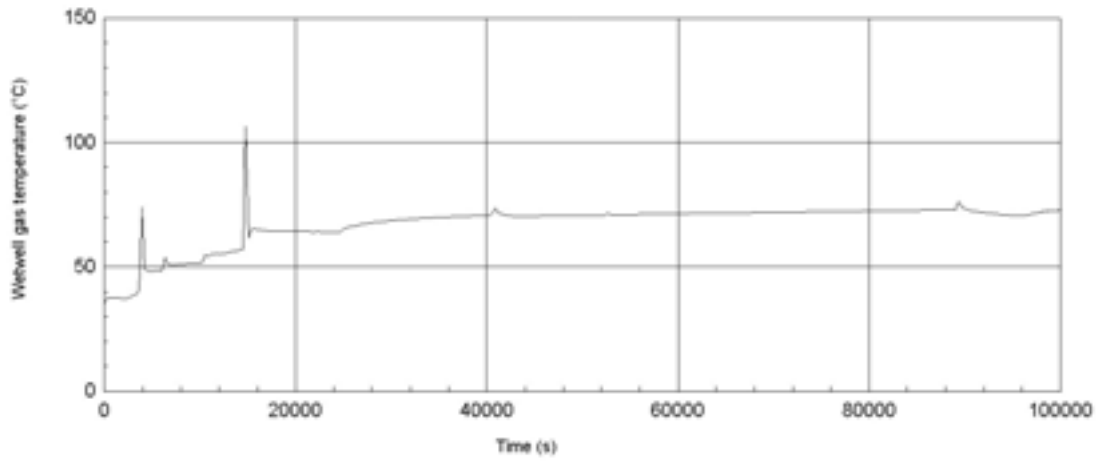
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - SMALL LOCA. NO 415, 323, 327
OR 314 ADS



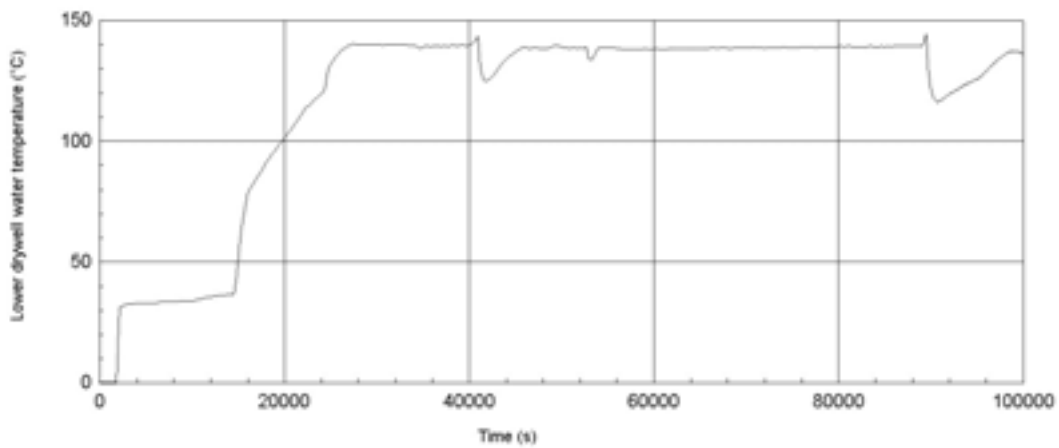
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - SMALL LOCA. NO 415, 323, 327
OR 314 ADS



MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - SMALL LOCA. NO 415, 323, 327
OR 314 ADS



MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - SMALL LOCA. NO 415, 323, 327
OR 314 ADS

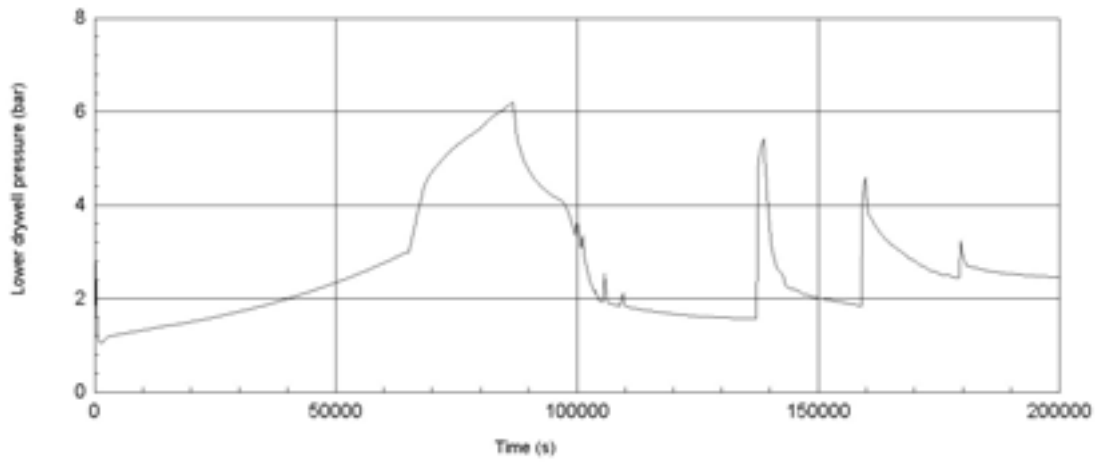


Sekvens 4: Stor LOCA och bortfall av kylning av kondensationsbassängen med system 322/711/715

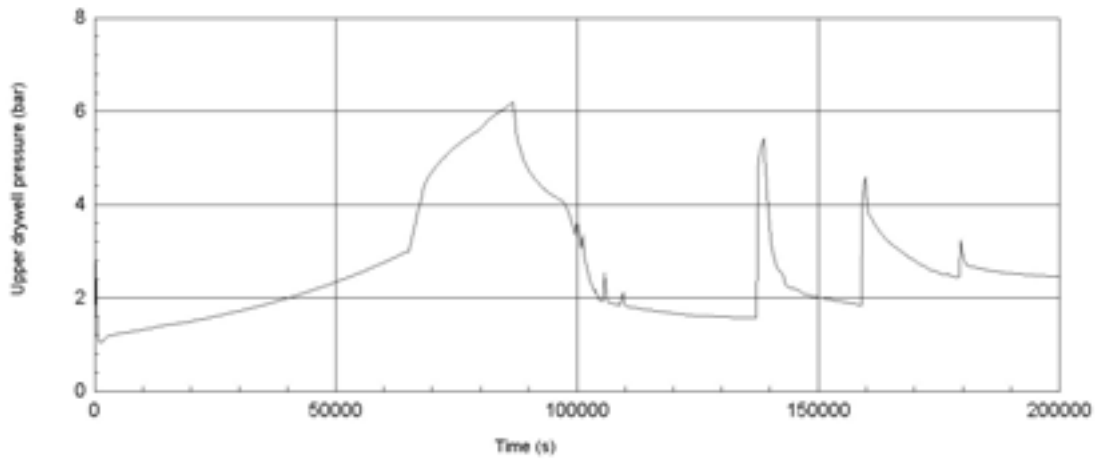
Initialt antas stor LOCA (1257 cm²) på nivå +133.6 (nivå för ångledningsstutsar). Bortfall av kylkedja 322/711/715 för kylning av kondensationsbassängen antas initialt. Matarvatten-systemet (415) antas stoppa samtidigt med inledande händelse. I nedanstående händelselista sammanfattas resultatet från beräkningen.

Händelse	Tidpunkt [s]
Stor LOCA (1257 cm ²)	0
Trip av matarvattenpumpar (415)	0
Kylkedjan 322/711/715 faller bort	0
Reaktorsnabbstopp	0.3
I-isolering	0.3
Huvudångskalventilerna (411) stänger	0.3
Trip av huvudcirkulationspumpar (313)	0.3
Turbinernas pådragsventiler stänger	0.3
Inpumpning med 327 påbörjas	5
Sprinkling av inneslutningen med 322 påbörjas	20
Låg nivå L4 i reaktor ger tvångsavblåsning med de diversifierade 314-ventilerna	64
Reaktortryck <12bar och inpumpning med 323 påbörjas	132
Vattenfyllning av nedre DW med 322 påbörjas (30 min efter I-isolering)	1800
733-tanken är tom och 327 stoppar	15009
Temperaturen i kondensationsbassängen > 120 °C vilket antas leda till att 323-inpumpning och 322-sprinkling stoppar.	64964
Sprängbleck i system 362 brister (5,7 bar a i inneslutningen)	86892
Vattennivån i härden har nått härdens övre kant	96730
Relokering av härdmaterial till nedre plenum påbörjas	137293
Tankgenomsmältning	158995
Beräkningen avslutas	200000

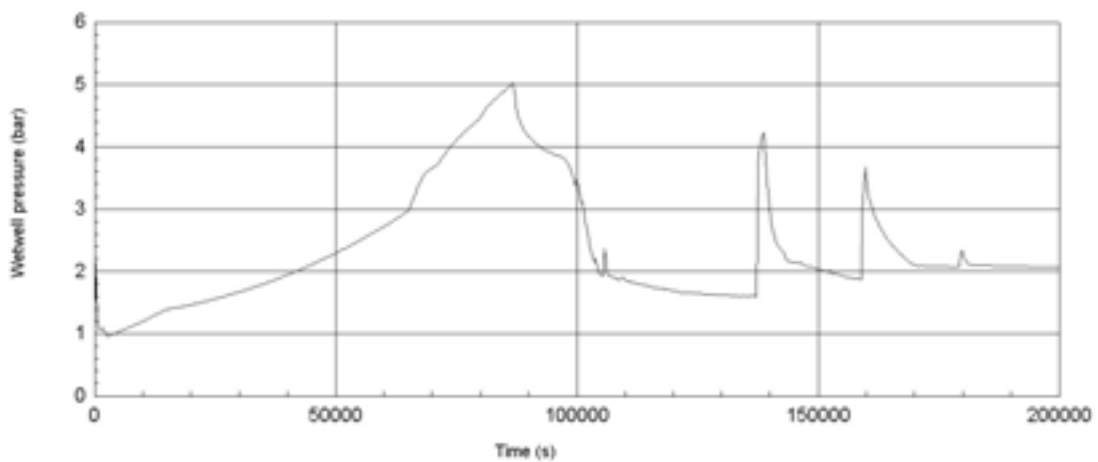
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OFF CONDENSATION POOL COOLING



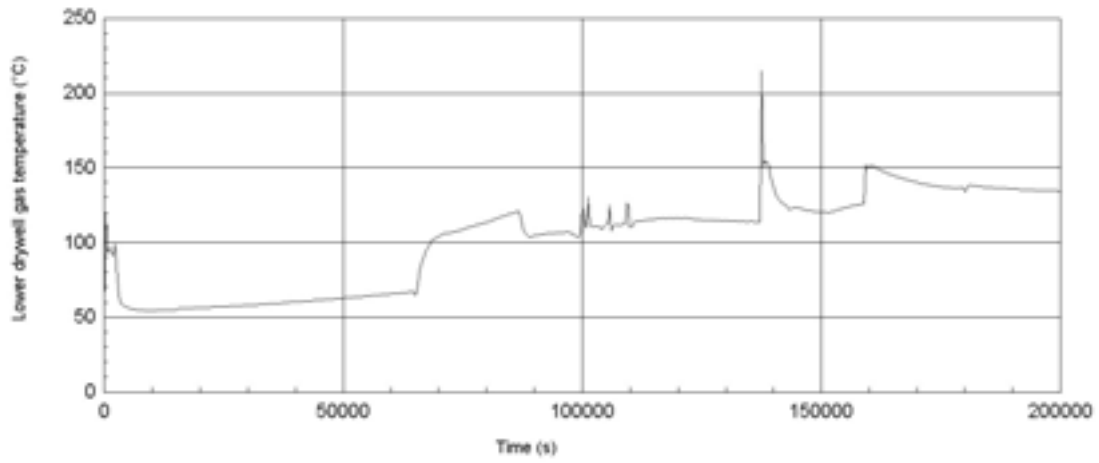
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OFF CONDENSATION POOL COOLING



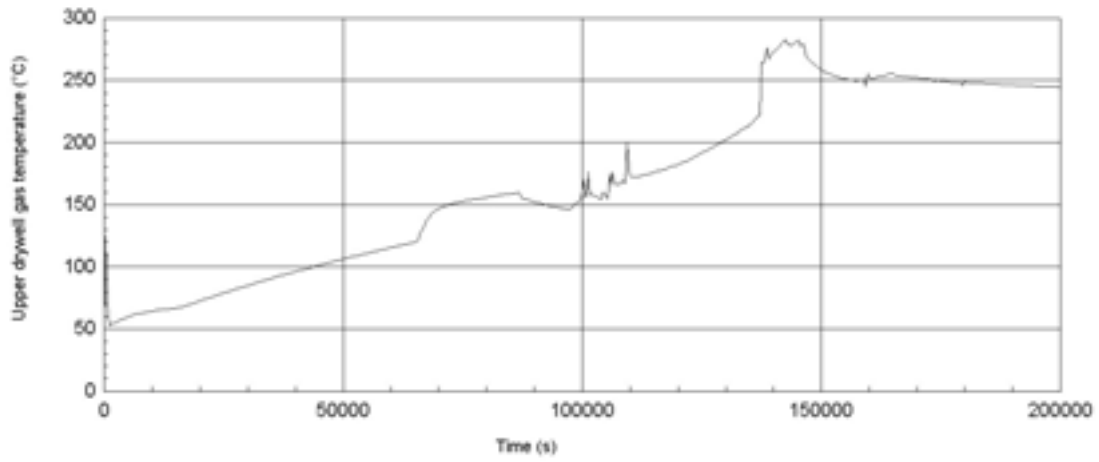
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OFF CONDENSATION POOL COOLING



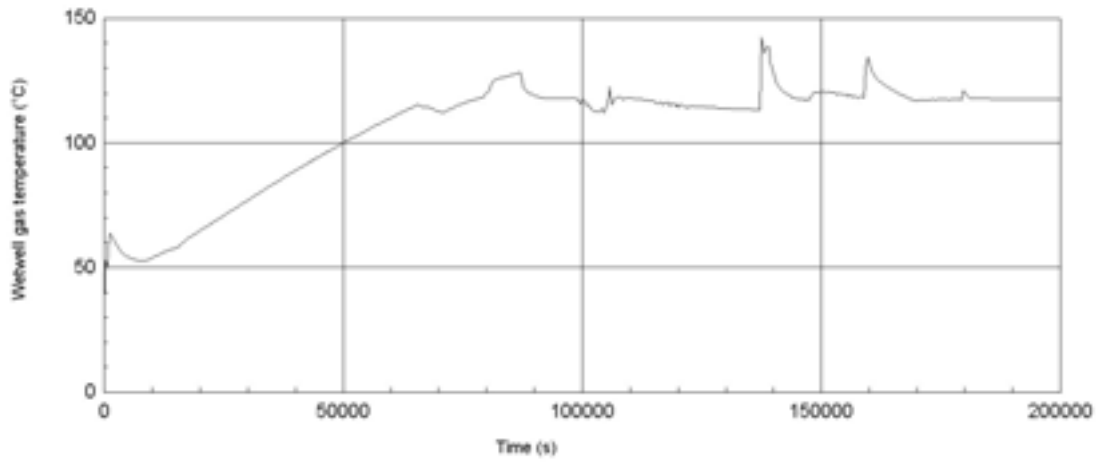
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OF CONDENSATION POOL COOLING



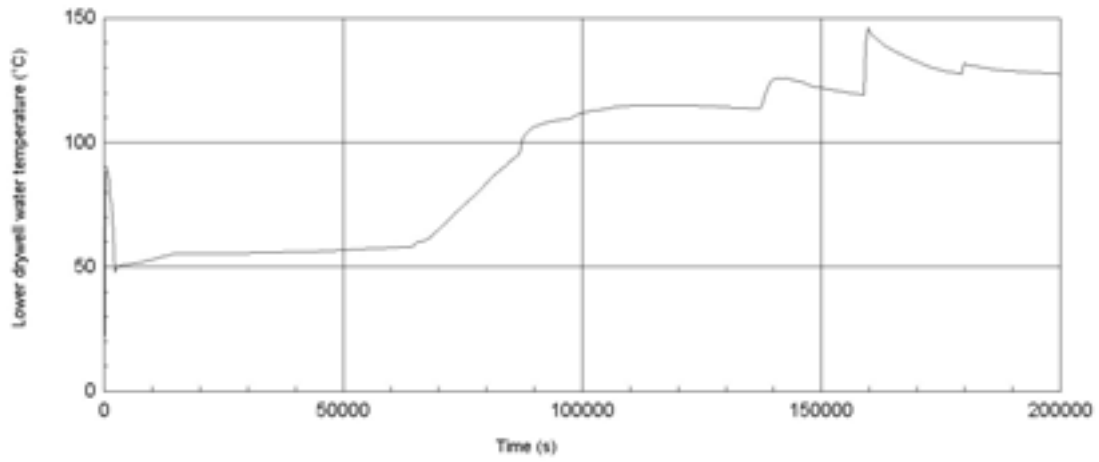
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OF CONDENSATION POOL COOLING



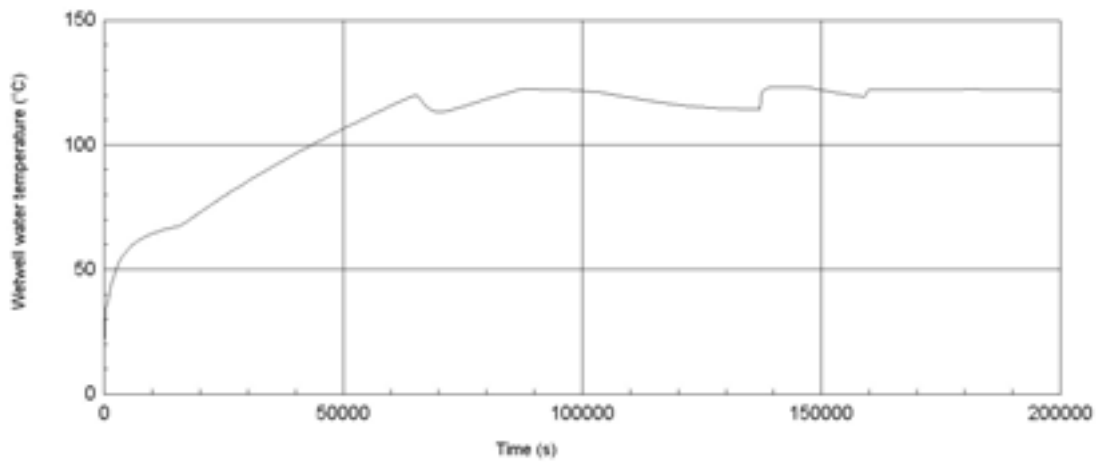
MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OF CONDENSATION POOL COOLING



MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OF CONDENSATION POOL COOLING



MAAP 4.0.5 FORSMARK 1 - LARGE LOCA AND LOSS OF CONDENSATION POOL COOLING



APPENDIX B: RESULTAT FRÅN MAAP-ANALYSER MED LÄCKANDE INNESLUTNING

Beräkningar utförda av Håkan Wennerström, SwedPower. Följande 6 fall har analyserats med MAAP (version 4.0.5):

1. Totalt elbortfall och system 365 tillgängligt efter 2 timmar.
2. Som Fall 1 med 5 cm² inneslutningsläckage när trycket når 3 bar (absolut).
3. Som Fall 1 med 25 cm² inneslutningsläckage när trycket når 3 bar (absolut).
4. Liten LOCA (5 cm²) samt förlust av all spädmatning. Även tvångsnedblåsning med system 314 antas felfungera.
5. Som Fall 4 med 5 cm² inneslutningsläckage när trycket når 3 bar (absolut).
6. Som Fall 4 med 25 cm² inneslutningsläckage när trycket når 3 bar (absolut).

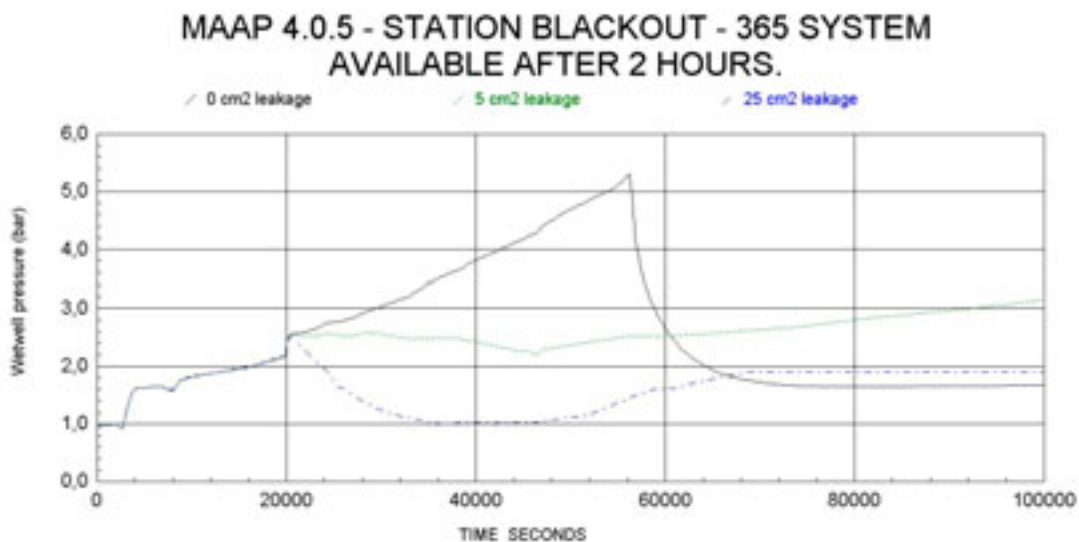
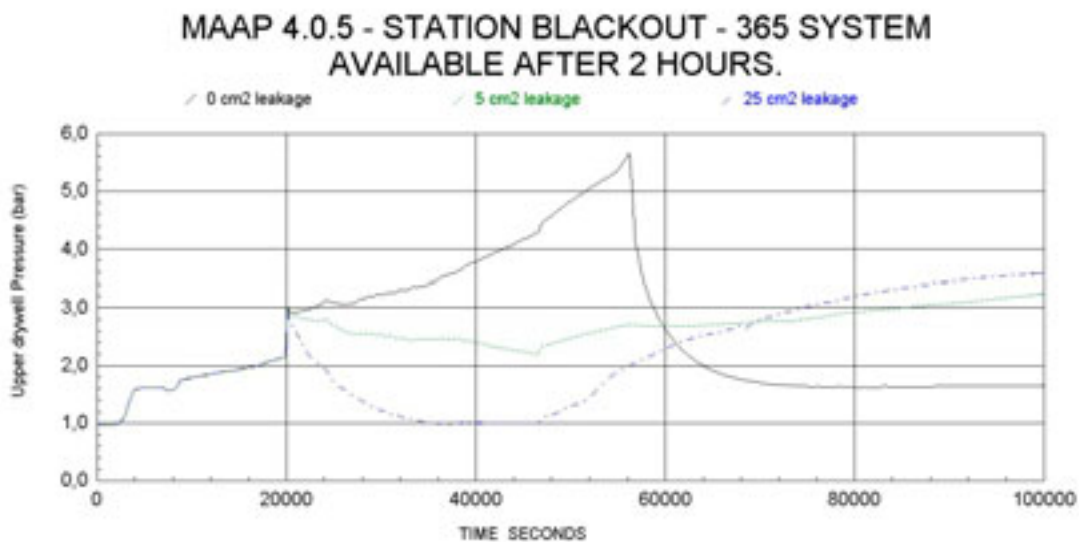
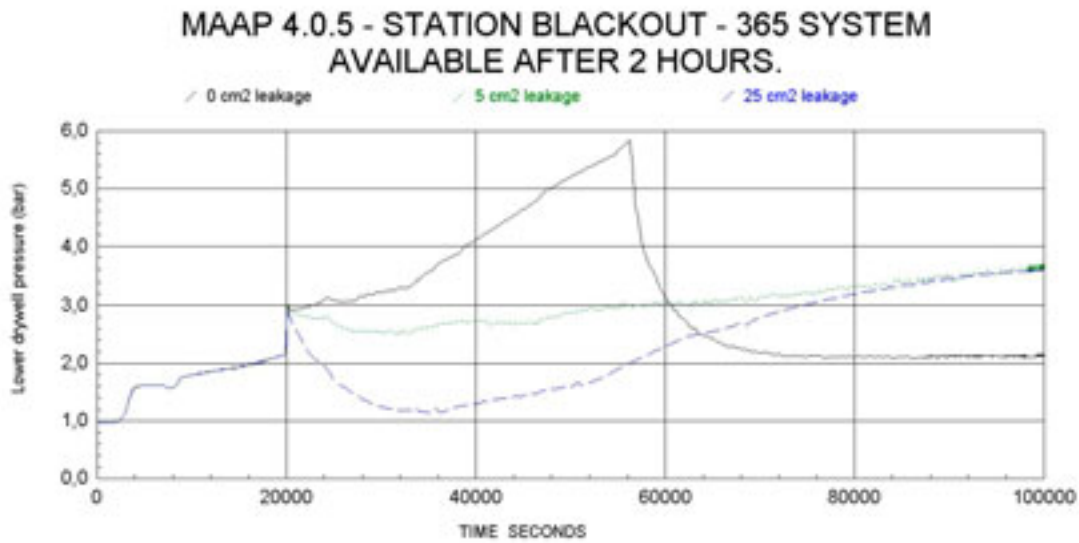
Fall 1-3: Totalt elbortfall och system 365 tillgängligt efter 2 timmar

Initialt antas totalt elbortfall. Sprinkling i inneslutningen med system 365 (75 kg/s, 20°C) antas påbörjas 2 timmar efter inledande händelse. 365 stoppas när nivån i kondensationsbassängen når vakuumbrytarna (+121,5).

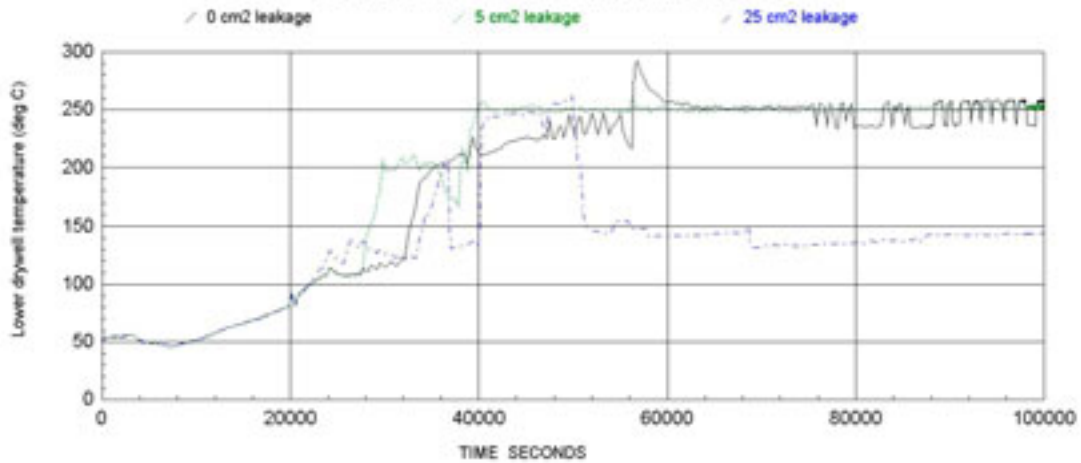
För Fall 2 och 3 postuleras 5 respektive 25 cm² inneslutningsläckage när trycket i inneslutningen når 3 bar (a). För Fall 1 postuleras inget läckage. I nedanstående händelselista sammanfattas resultatet från beräkningarna.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Händelse	Tidpunkt [s]	Tidpunkt [s]	Tidpunkt [s]
Bortfall av yttre nät	0	0	0
Bortfall av inre dieselsäkrat nät	0	0	0
Signal för snabbstopp erhålls	0	0	0
Trip av huvudcirkulationspumpar (313)	0	0	0
Trip av matarvattenpumpar (415)	0	0	0
Turbinernas pådragsventiler stänger	0	0	0
I-isolering (låg nivå L4)	234	234	234
Huvudångskalventilerna (411) stänger	234	234	234
Tvångsavblåsning med diversifierade 314-ventiler	234	234	234
Vattennivån i härden har nått härdens övre kant	1148	1148	1148
Vattenfyllning av nedre DW med 322 påbörjas (30 min efter I-isolering)	2039	2039	2039
Manuell sprinkling med av inneslutningen med system 365 påbörjas (75 kg/s)	7200	7200	7200
Relokering av härdmaterial till nedre plenum påbörjas	8326	8326	8326
Tankgenomsmältning	19983	19983	19983
Tryck i inneslutningen > 3 bar (a). Inneslutningsläckage postuleras för fall 2 och 3.	20011	20011	20011
Nivån i kondensations bassängen når vakuumbrytarna (+121,5) och 365 stoppas	46687	46748	46825
Sprängbleck i system 362 brister (5,7 bar(a) i inneslutningen)	56394	-	-
Beräkningen avslutas	100000	100000	100000

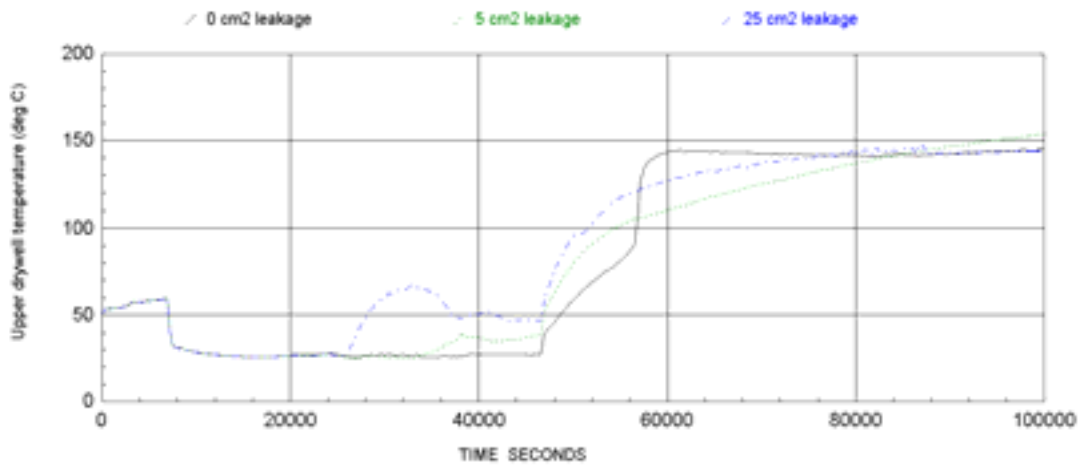
I figurerna nedan återfinns tryck, temperatur och vattennivå som funktion av tiden för olika delar av inneslutningen för Fall 1-3.



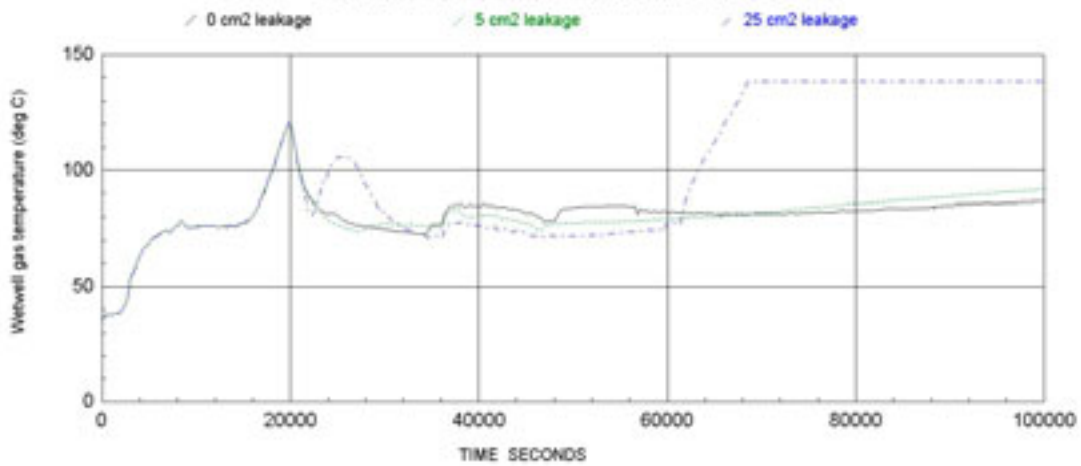
MAAP 4.0.5 - STATION BLACKOUT - 365 SYSTEM AVAILABLE AFTER 2 HOURS.



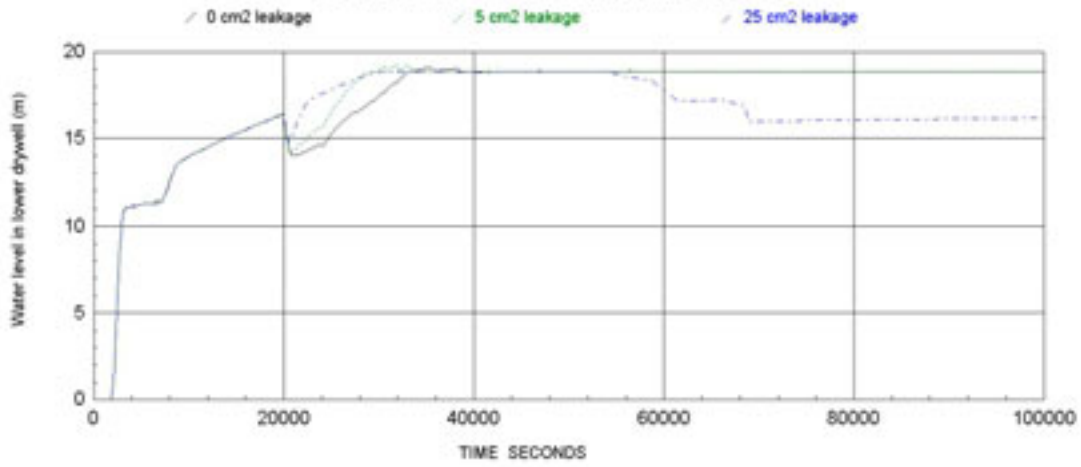
MAAP 4.0.5 - STATION BLACKOUT - 365 SYSTEM AVAILABLE AFTER 2 HOURS.



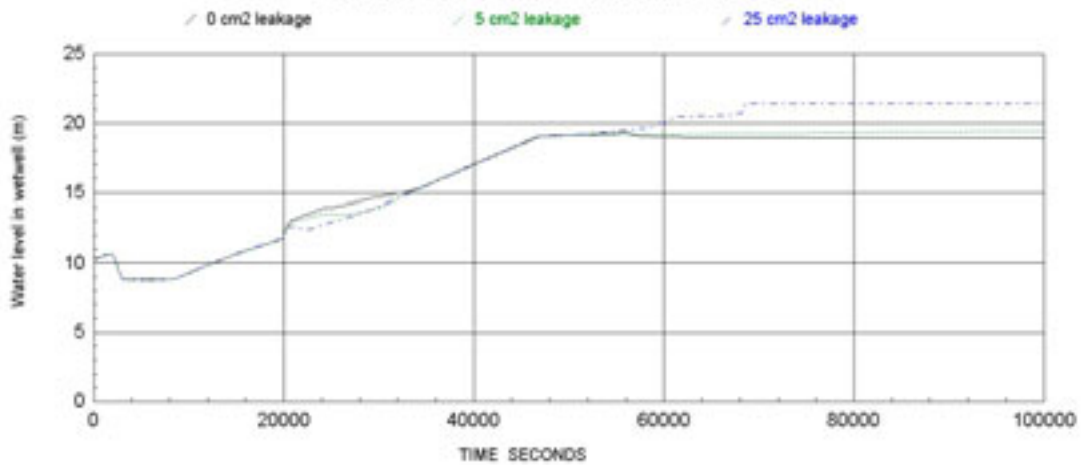
MAAP 4.0.5 - STATION BLACKOUT - 365 SYSTEM AVAILABLE AFTER 2 HOURS.



**MAAP 4.0.5 - STATION BLACKOUT - 365 SYSTEM
AVAILABLE AFTER 2 HOURS.**



**MAAP 4.0.5 - STATION BLACKOUT - 365 SYSTEM
AVAILABLE AFTER 2 HOURS.**



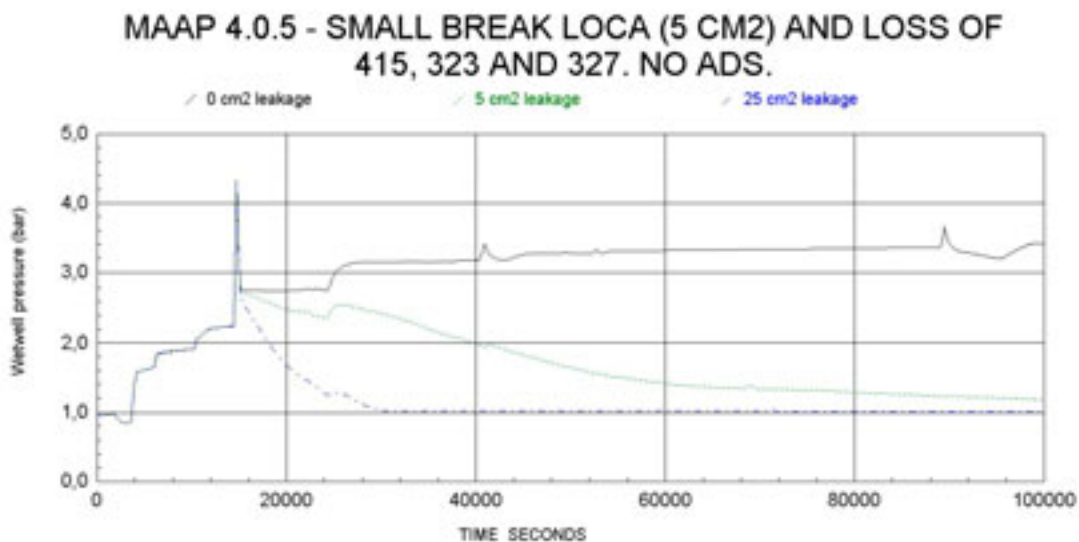
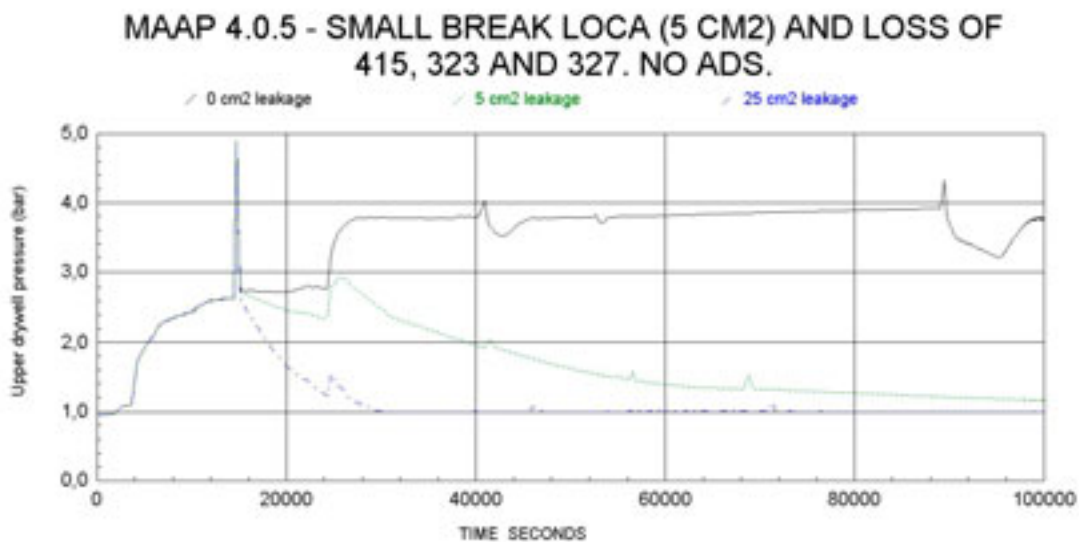
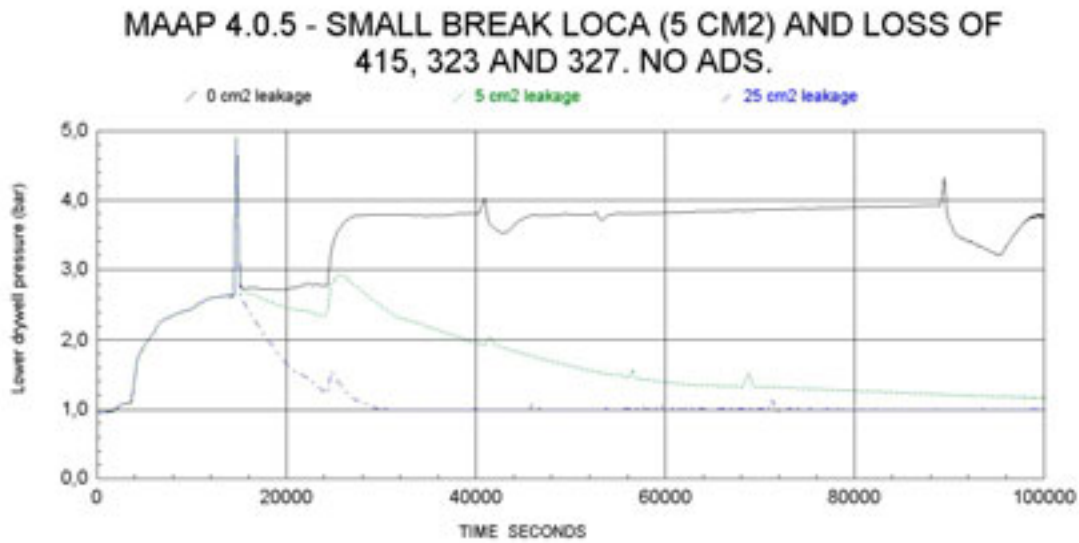
Fall 4-6: Liten LOCA och bortfall av all spädmatning. Felfungerande tvångsnedblåsning med 314.

Initialt antas liten LOCA (5 cm²) på nivå +133.6 (nivå för ångledningsstutsar). Bortfall av såväl 327 som 323 postuleras. Tvångsnedblåsning med både ordinarie och diversifierade 314-ventiler antas fela. Matarvattensystemet (415) antas stoppa samtidigt med inledande händelse.

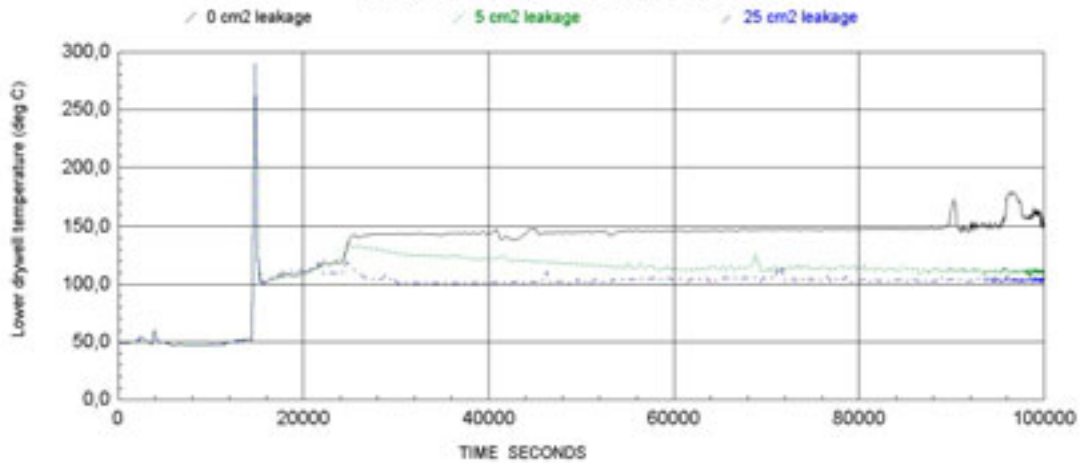
För Fall 5 och 6 postuleras 5 respektive 25 cm² inneslutningsläckage när trycket i inneslutningen når 3 bar (a). För Fall 4 postuleras inget läckage. I nedanstående händelselista sammanfattas resultatet från beräkningarna.

Händelse	Tidpunkt [s]
Liten LOCA (5 cm ²)	0
Trip av matarvattenpumpar (415)	0
Trip av huvudcirkulationspumpar (313)	3
Turbinernas pådragsventiler stänger pga låg nivå L2	12
Reaktorn snabbstoppas pga låg nivå L2	13
I-isolering pga låg nivå L4	41
Huvudångskalventilerna (411) stänger	41
Vattennivån i härden har nått härdens övre kant	1042
Vattenfyllning av nedre DW med 322 påbörjas (30 min efter I-isolering)	1845
Relokering av härdmaterial till nedre plenum påbörjas	10291
Tankgenomsmältning	14711
Tryck i inneslutningen > 3 bar (a). Inneslutningsläckage postuleras för fall 5 och 6.	14717
Beräkningen avslutas	100000

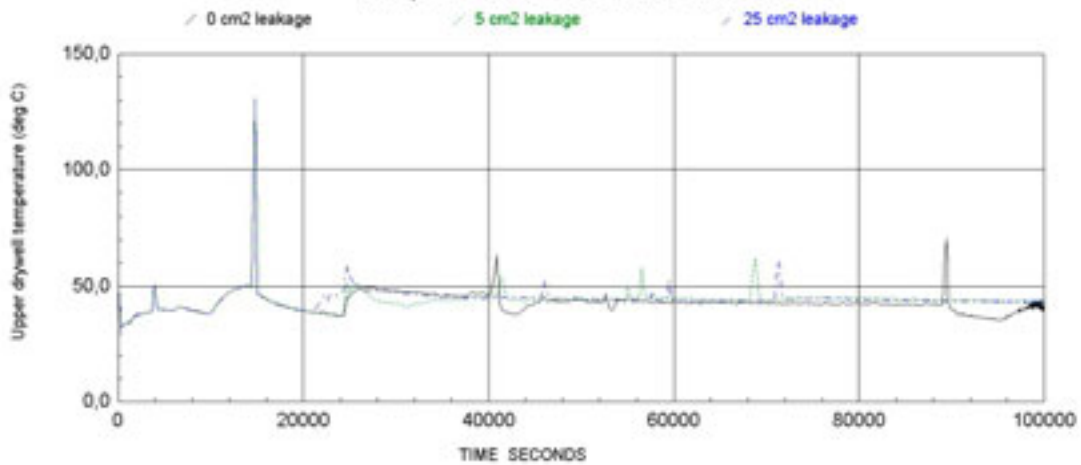
I figurerna nedan återfinns tryck, temperatur och vattennivå som funktion av tiden för olika delar av inneslutningen för Fall 4-6.



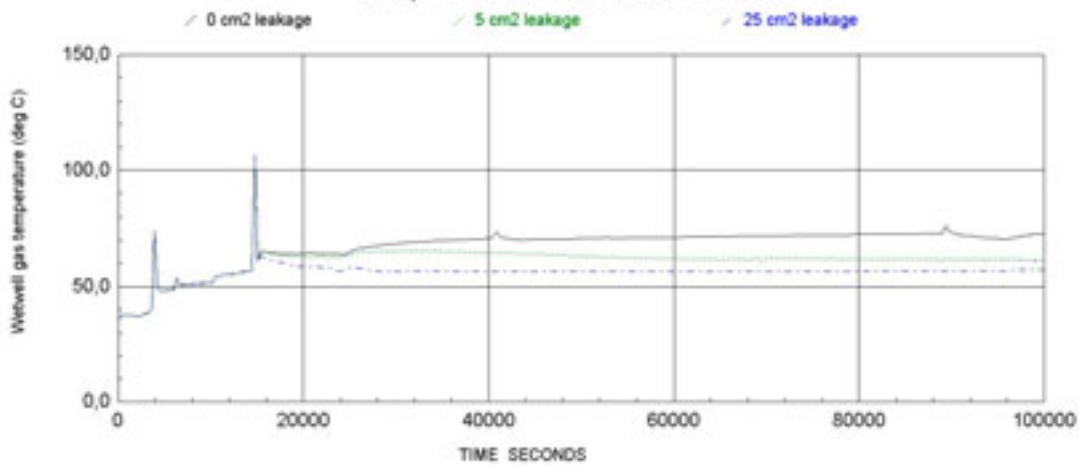
MAAP 4.0.5 - SMALL BREAK LOCA (5 CM2) AND LOSS OF 415, 323 AND 327. NO ADS.



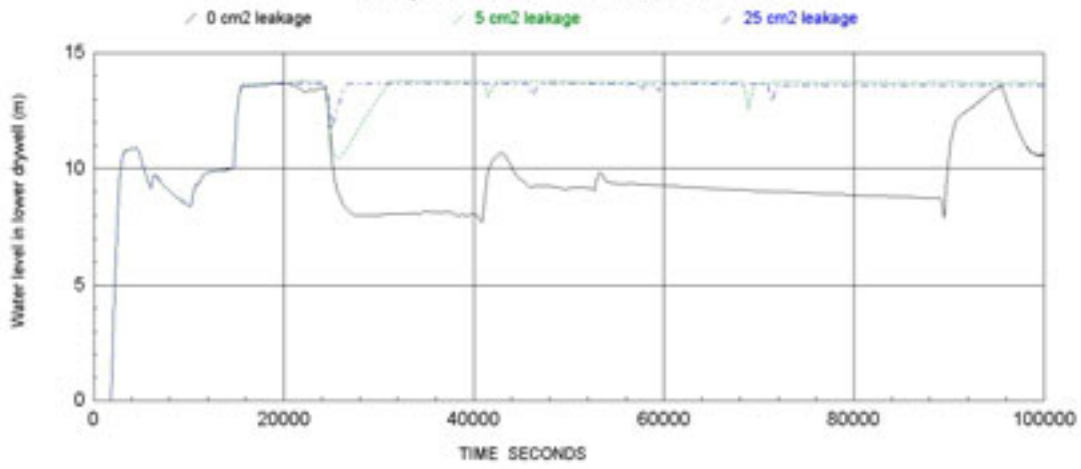
MAAP 4.0.5 - SMALL BREAK LOCA (5 CM2) AND LOSS OF 415, 323 AND 327. NO ADS.



MAAP 4.0.5 - SMALL BREAK LOCA (5 CM2) AND LOSS OF 415, 323 AND 327. NO ADS.



MAAP 4.0.5 - SMALL BREAK LOCA (5 CM²) AND LOSS OF 415, 323 AND 327. NO ADS.



MAAP 4.0.5 - SMALL BREAK LOCA (5 CM²) AND LOSS OF 415, 323 AND 327. NO ADS.

