

Forskning

Rapporter inom området sensorteknik

Del 1: Laboratorietest av instrumentkomponenter

Del 2: Dynamiska avvikelser som kan uppstå via
impulsledningarna vid mätning av reaktortryck och nivå

Bengt-Göran Bergdahl

December 2002

SKI:s perspektiv

Vilka forskningsmål bidrar detta projekt till?

De övergripande målen för SKI:s forskning är:

- att ge underlag för SKI:s tillsynsverksamhet
- att vidmakthålla och utveckla kompetens och forskarkapacitet inom områden av betydelse för kärnsäkerhetsarbetet samt
- att bidra direkt till säkerhetsarbetet i svensk kärnteknisk verksamhet.

Detta projekt har i huvudsak bidragit till forskningsmålet att ge underlag för SKI:s tillsynsverksamhet i frågan om instrumentering som ingår i reaktorns säkerhetssystem.

Resultat från laborietester med en analog och en digital densitetsomvandlare visar att den gamla analoga enheten är väsentlig snabbare än den nya digitala. För att mätsignaler ska återge reaktorns fysikaliska storheter på ett tillfredsställande sätt, bör den statiska undersökningen av mätsignaler som har säkerhetsmässig betydelse kompletteras med undersökning av även de dynamiska egenskaperna hos samma signaler. Med hjälp av signalanalys kan då också okända filtreringar upptäckas, vare sig de finns i impulsledning, transmittar eller i efterföljande instrumentkomponenter.

Projektinformation

SKI:s projekthandläggare:

Annelie Carlén, Enheten för reaktorteknologi och strukturell integritet

Projektnummer:

14.5-011184-01279

Forskning

Rapporter inom området sensorteknik

Del 1: Laboratorietest av instrumentkomponenter

Bengt-Göran Bergdahl

GSE Power Systems AB
Box 62
611 22 Nyköping

December 2002

Sammanfattning

Mätsignalerna i ett kärnkraftverk har stor betydelse för säkerheten i anläggningen. De används som insignaler till reglersystemen, de påverkar reaktorns säkerhetssystem, de utgör insignaler till driftinstrumenten i kontrollrummet och dessutom utgör de insamlade mätsignalerna underlag för säkerhetsanalyser som genomförs efter en händelse. Sammanfattningsvis innebär detta att det är av vikt att mätsignalerna återger reaktorns fysikaliska storheter på ett tillfredställande sätt. Detta krav gäller både den statiska och den dynamiska visningen.

Instrumentsystemen i de svenska kokvattenreaktorerna är designade med analog teknik. Framst beroende på att reaktorerna byggdes under 1970 och -80 talet. Detta gäller såväl transmitttrar, densitetsomvandlare, isolerförstärkare som regulatorer. Nu sker en modernisering av instrumentsystemen i många anläggningar varvid komponenter byts ut och ersätts med nytillverkade motsvarigheter. I många fall innebär detta att gamla analoga komponenter ersätts av nya digitala.

Den avgörande dynamiska skillnaden mellan exempelvis en analog och en digital transmitter är dödtidsfördröjningen. Den digitala transmittern reagerar med dödtidsfördröjning. Upp till 200 ms noteras som dödtidsfördröjning i jämförelse mellan en analog trycktransmitter (Fujii) och en digital (Hartmann & Braun ASK 800). En dödtid är naturligtvis besvärande när transmittern ger signal till reaktorns säkerhetssystem. Vid byte av en analog transmitter till en digital är det därför viktigt att denna försening i reaktion beaktas. Laboratorietesterna omfattar också en jämförelse mellan en gammal analog densitetsomvandlare (Hartmann & Braun TZA2) och en ny digital (Hartmann & Braun TZA4). Dessa resultat visar att den gamla analoga enheten är väsentligt snabbare än den nya digitala. Stegsvartest från differenstryck till nivå registrerad som en summa av dödtid och tidskonstant var 50 ms för TZA2 och 250 ms för TZA4. Motsvarande tider med trycket som insignal och nivån som utsignal var 50 ms för TZA2 och 900 ms för TZA4.

Rapporten omfattar även en undersökning av trycktransmitttrar av typen TDE 220 som uppvisat avvikande dynamik vid ordinära sortester under reaktordrift. Den avvikande dynamiken för denna transmitter i jämförelse med andra bekräftas av den genomförda laboratorieundersökningen. Det är transmittterns Bourdonrörskonstruktion som bedöms vara orsaken till avvikelserna.

Rapporten visar också resultat från felsökning av en ångtryckstransmitter vid KKM (Kernkraftwerk Mühleberg i Schweiz). Med hjälp av styrda börvärdesändringar av trycket under mätningen av multipla signaler kunde det intermittenta felet avslöjas. Reparationen av transmittern påvisade mekanisk skada i transmitterns elektroniska filter. Detta bedöms vara orsaken till de tillfälliga signalavbrotten.

Slutligen visas två möjligheter som används vid KKM för att undersöka dynamiken för temperaturgivare. Bägge metoderna bygger på kylning av givaren. Den ena sker under effektdrift av reaktorn medan den andra sker vid avställning. Resultaten i form av tidskonstanter och temperaturer lagras varje år i SensBase™ som är GSE Power Systems databas för sortester.

Abstract

The transmitters in a nuclear power plant are of great significance to the plant's safety. They are used as input signals to the automatic control systems and the operating instrumentation in the control room and they affect the plant's safety systems. The sampled signals are also used in safety analyses, which are made after an incident. Therefore, it is important that the signals represent the physical quantities correctly. This requirement applies to both the static and the dynamic representation.

The instrumentation systems in the Swedish BWR's are designed with analogue technique, primarily because the reactors were built in the 1970's and the 1980's. This is true for transmitters, density converters, isolation amplifiers, as well as regulators. The instrumentation systems are now modernized in many plants. This often means that old, analogue components are replaced with new digital ones.

The vital difference between, for example, an analogue and a digital transmitter is the delay time. The digital transmitter reacts with delay time. Up to 200 ms in delay time has been noted for a digital pressure transmitter (Hartmann & Braun ASK 800) compared to an analogue pressure transmitter (Fujii). A delay time is troublesome when the transmitter gives input signals to the plant's safety system. When changing an analogue transmitter to a digital one, it is therefore important to take this delay into account. The laboratory tests also include a comparison between an old analogue density converter (Hartmann & Braun TZA2) and a new digital one (Hartmann & Braun TZA4). The results show that the old analogue unit is much faster than the new digital one. The response time from differential pressure to level signal was 50 ms for TZA2 and 250 ms for TZA4. Corresponding times with pressure as input and level as output was 50 ms for TZA2 and 900 ms for TZA4.

The report also contains an examination of pressure transmitters of type TDE 220, which have shown deviating dynamics at ordinary sensor tests during power operation. The deviating dynamics is confirmed by the laboratory examination reported here. The construction with Bourdon tube is judged to be the reason to the deviations.

The report also shows results from trouble shooting with steam pressure transmitters at the Mühleberg NPP (KKM) in Switzerland. The intermittent fault was detected during measurements of multiple signals by means of controlled changes in the pressure set point. The transmitter service showed that there was a mechanical damage in the electronic filter in the transmitter. This damage was judged to be the reason for the intermittent signal failures.

Finally, two possibilities to examine the dynamics for temperature transmitters are shown. These methods, which are both used at KKM, rely on cooling of the transmitter. One method is used during power operation, the other on during shutdown. The results, in the form of time constants and temperatures, are stored every year in SensBase™, which is GSE Power System's database for sensor tests.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	7
1.1	Vattennivåmätning i en BWR	8
1.2	Analoga och digitala instrumentkomponenter	8
1.3	Rapportens omfattning	8
2	Byte av analoga till digitala instrument-komponenter	9
2.1	Jämförelse mellan analog och digital transmitter i Oskarshamn 2	9
2.2	Jämförelse mellan två digitala och en analog transmitter i Ringhals 1	10
2.3	Jämförelse mellan analoga och digitala densitets-omvandlare	15
2.4	Byte av samtliga instrumentkomponenter i nivå-mätningen	17
3	Laboratorieundersökning av tryckgivare med Bourdonrörkonstruktion	20
4	Experiment med felindikerande ångtrycksensor	24
4.1	Ångtryckstransmittern MP05B2	24
4.2	Byte av transmittern MP05B2	26
5	Undersökningsmetoder för temperatur-givare	28
5.1	Undersökning av lufttemperaturgivare	28
5.2	Undersökning av temperaturgivarna i torus	28
6	Slutsatser	32
7	Referenser	34

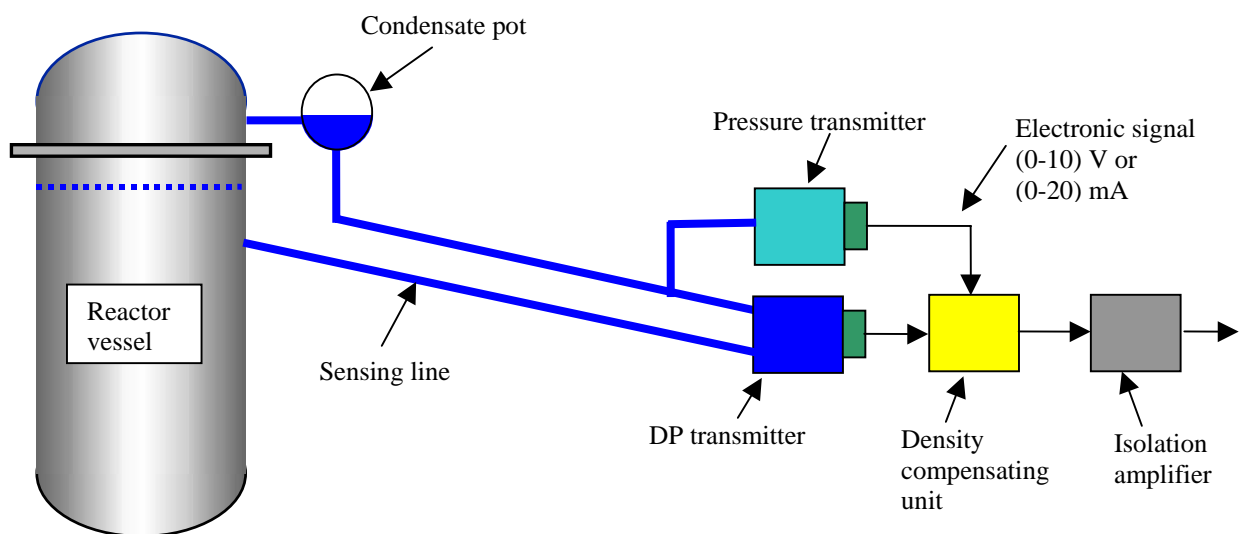
1 Bakgrund

Mätsignalerna i ett kärnkraftverk har stor betydelse för säkerheten i anläggningen. De används som insignaler till reglersystemen, de påverkar reaktorns säkerhetssystem, de utgör insignaler till driftinstrumenten i kontrollrummet. Och dessutom utgör de insamlade mätsignalerna underlag för säkerhetsanalyser som genomförs efter en händelse. Sammanfattningsvis innebär detta att det är av vikt att mätsignalerna återger reaktorns fysikaliska storheter på ett tillfredställande sätt. Detta krav gäller både den statiska och den dynamiska visningen.

Mätsystemen består av ett flertal komponenter som är kopplade till varandra. För exempelvis mätningen av vattennivån i reaktorn återfinns impulsledningar, transmittorer för differenstryck och reaktortryck samt densitetsomvandlare. Se Figur 1.1. Därefter kan ytterligare instrumentkomponenter, exempelvis isolerförstärkare, förekomma i instrumentsystemet.

För att nå målet med god statisk visning genomförs årligen kalibrering av transmittorerna i anläggningen. En observerad statisk avvikelse korrigeras i samband med denna. Och på detta sätt finns rutiner för att tillse att mätsystemen har acceptabel noggrannhet hos den statiska visningen.

Den dynamiska egenskapen hos mätsystemens ingående komponenter undersöks däremot sällan eller aldrig i en kokvattenreaktor. Detta innebär att transienter som sker i anläggningen kan återges filtrerat hos insamlade mätdata utan att upptäckas. Icke önskade filtreringar hos mätsignalerna innebär också att säkerhetssystemet reagerar med tidsfördröjning vid en transient.



Figur 1.1 Mätsystem för vattennivån i en kokvattenreaktor.

1.1 Vattennivåmätning i en BWR

Figur 1.1 ger en bild av mätsystemet för vattennivån i reaktorn. Differenstrycktransmittern (blå) är ansluten till tryckkuttagen på reaktortanken via tvenne impulsledningar. Transmitterns elektriska utsignal är proportionell mot skillnaden mellan kondensationskärlets nivå och nivån i reaktortanken. Denna signal utgör DP-signal som sedan i sin tur påverkar den densitetskompenserande enheten (gul). Se Figur 1.1.

Densitetskompenseringen har som framgår av Figur 1.1 differenstrycket DP och reaktortrycket som insignaler. Medan enhetens utsignal är den densitetskompenserade nivåsignalen. Därefter följer en isolerförstärkare i instrumenteringen, se Figur 1.1.

1.2 Analoga och digitala instrumentkomponenter

Instrumentsystemen i de svenska kokvattenreaktorerna är designade med analog teknik. Främst beroende på att reaktorerna byggdes under 1970 och -80 talet. Detta gäller såväl transmittar, densitetsomvandlare, isolerförstärkare och regulatorer.

Nu sker en modernisering av instrumentsystemen i många anläggningar varvid komponenter byts ut och ersätts med ny tillverkade motsvarigheter. I många fall innebär detta att gamla analoga komponenter ersätts av nya digitala.

Vid byte av instrumentkomponenter måste hänsyn tas till miljökvalificering, tillförlitlighet, förväntad livslängd och så vidare. Dessutom är det viktigt att undersöka att den ersatta komponenten har en dynamik som är acceptabel.

1.3 Rapportens omfattning

Föreliggande rapport presenterar resultat från undersökningar med instrumentkomponenter. Gemensamt för undersökningarna är att komponenterna utsätts för störningar antingen i laboratorium eller under speciella driftförhållanden som medgivit experiment.

Undersökningarna omfattar:

- Jämförelser mellan analoga och digitala transmittar och densitetsomvandlare.
- Jämförelser mellan olika analoga trycktransmittar av olika konstruktion.
- Drifterfarenhet med felaktig trycksensor samt experiment för att identifiera felet.
- Beskrivning av metoder för test av temperaturgivare på plats i anläggningen.

2 Byte av analoga till digitala instrumentkomponenter

I processindustrin pågår en mycket intressant utveckling när det gäller instrumentering och övervakning. Trenden är att gamla analoga instrumentkomponenter byts ut mot nya digitala. Det handlar till exempel om digitala transmittar och digitala regulatorer. I processindustrin har dessutom fältbussen funnits sedan flera år tillbaka. Med hjälp av den kan samtliga transmittar vara förbundna i ett nätverk. Och från central plats i anläggningen kan en godtycklig transmitt adresseras för exempelvis förändring av det fysikaliska området.

När det gäller fältbussen lär det dröja innan den kommer till användning i kärnkraftverk. Orsaken är naturligtvis de speciella kvalitetskrav som gäller i branschen. De digitala regulatorerna, transmittarna och övriga digitala instrumentkomponenter har däremot redan börjat sitt intåg. Övergången till digitala instrumentkomponenter sker gradvis. Gamla analoga enheter som inte längre finns i lager ersätts med moderna digitala. Typiskt är också att de analoga gränssnitten behålls. En digital transmitt har exempelvis en analog utsignal. Samma sak gäller vid byte av regulator. Oftast är det analoga ingångar och utgångar som gäller. Det finns till och med exempel där den digitala regulatorns interna signaler D/A-omvandlas för att motsvara de mätmöjligheter som fanns i den gamla utbytta analoga regulatorn.

Föreliggande kapitel sammanställer några resultat som erhållits vid olika mätkampanjer som GSE Power Systems genomfört. Och fokus i framställningen är komponenternas dynamiska egenskaper. Jämförelserna mellan analoga och digitala komponenter som sker i detta kapitel görs med de filtrerande inställningar som gällde för komponenten. Rapporten diskuterar inte varje komponents möjlighet till valbar filtrering.

2.1 Jämförelse mellan analog och digital transmitt i Oskarshamn 2

I samband med en sensorundersökning vid Oskarshamn 2 1997 genomfördes en jämförelse mellan en analog och en digital trycktransmitt. Jämförelsen gjordes i laboratorium där transmittarna utsattes för ett gemensamt snabbt varierande tryck samtidigt som deras elektriska utsignaler registrerades, se Figur 2.1. Av praktiska skäl var det tryckluft som användes. Detta förhållande begränsade i viss mån snabbheten hos tryckändringarna.

Transmittersignalerna från den analoga transmittern Fujii och den digitala ASK 800 visas i Figur 2.2 för hela experimentet. Figuren bekräftar i denna skala att det är förhållandevis god överensstämmelse mellan de bägge signalerna. En närmare granskning av signalerna i en mer upplöst tidsskala påvisar den dynamiska skillnaden mellan transmittarna, se Figur 2.3. Den digitala transmittern ASK 800 reagerar med fördröjning i förhållande till den analoga transmittern Fujii på den trycksänkning som visas i Figur 2.3.

I Figur 2.4 klargörs de dynamiska begrepp som kommer att användas för att beskriva dynamiken. Figuren visar en stegformig insignal samt en utsignal som reagerar med transporttidsfördröjning och en tidskonstant som leder till att utsignalen växer upp till samma nivå som insignalens steg. Transporttiden benämns T_d och tidskonstanten T_c . Tidskonstanten definieras som den tid det tar för signalen att förändras till 63 % av slutvärdet när transporttiden borträknats, se Figur 2.4. Transporttiden är en ren fördröjningstid innan komponenten ifråga börjar reagera.

Erfarenheterna visar att de analoga komponenterna har en dynamik som kan beskrivas med en tidskonstant utan transporttid. De digitala komponenterna däremot har en respons som kännetecknas av såväl transporttid som tidskonstant.

För att återknyta till resultaten i Figur 2.3 har transporttiden skattats till $T_c = 200$ ms för den digitala transmittern ASK 800. Det är dessutom möjligt att utläsa att ASK 800 har längre tidskonstant T_c än Fujii. Detta framgår av att lutningen till kurvan för Fujii vid trycksänkningen är brantare än för ASK 800.

Med hjälp av processidentifiering har en modell beräknats som beskriver sambandet mellan de bägge signalerna. I detta fall antas Fujii som insignal och ASK 800 som utsignal och stegsvarstesten av den identifierade modellen presenteras i Figur 2.5. Resultatet visar att $T_d + T_c = 330$ ms. Observera att detta är den dynamiska skillnaden mellan de bägge transmittarna.

Med hjälp av Figur 2.6 visas APSD för signalerna från de tvenne transmittarna ASK 800 och Fujii under laboratorierexperimentet. Kurvorna visar att APSD åtföljer varandra fram till 1 Hz sedan dämpas ASK 800 betydligt i jämförelse med Fujii. Det är således den extra filtreringen som ASK 800 är behäftad med som åstadkommer den observerade dämpningen.

Enligt en notering från experimenten i Oskarshamn hade ASK 800 ett internt filter med tidskonstanten $T_c = 0,125$ sekunder. Detta kan förklara skillnaden i lutningen för transmittersignalerna vid trycksänkningen som den visas i Figur 2.3.

2.2 Jämförelse mellan två digitala och en analog transmitter i Ringhals 1

En undersökning av transmittar liknande den som beskrivs i Kapitel 2.1 har genomförts vid Ringhals 1. I detta fall undersöktes två digitala och en analog transmitter i laboratorium. Trycktransmittarna var av fabrikat Hartmann & Braun AVI 200, Rosemount 3051C-smart samt Hartmann & Braun ASK 800. Av dessa är AVI 200 analog medan de bägge övriga är digitala.

På liknande sätt som i testerna vid Oskarshamn anslöts de tre transmittar till en gemensam tryckkälla, se Figur 2.7. Därefter startades insamlingen av mätsignaler under samtidig variation av trycket. Resultaten av tryckförändringarna framgår av Figur 2.8 och 2.9. Det är kvalitativt samma mönster som vid undersökningen i Oskarshamn. De bägge digitala transmittarna har en dödtidsfördröjning medan den analoga transmittern är snabbast till att börja med. En bedömning av transporttiden har gjorts och resultatet är $T_d = 95$ ms för ASK 800 samt $T_d = 60$ ms för Rosemount 3051C-smart. Det är också intressant att notera att transmittern Rosemount 3051C saknar internt filter i detta fall.

Dess signal har av detta skäl en kantigare form än de övriga signalerna. En annan iakttagelse som kan göras är att Rosemount 3051C-smart visserligen har transporttid i jämförelse med den analoga transmittern AVI 200 men detta till trots hinner Rosemount 3051-C ifatt AVI 200, se Figur 2.8 och 2.9. Orsaken till detta är att tidskonstanten T_c är kortare för Rosemount 3051-C än för AVI 200. Dessutom framgår det att ASK 800 har den längsta tidskonstanten T_c , se Figur 2.8 och 2.9.

I Figur 2.10 presenteras APSD för de tre transmittersignalerna från laboratorie-experimenten. Det är uppenbart att APSD för de tre signalerna sammanfaller upp till 2 Hz därefter blir frekvensgången olika. ASK 800 har den mest dämpade karaktären av de tre signalerna. AVI 200 och Rosemount 3051C följs åt tämligen väl upp till 7-8 Hz varefter brusinnehållet hos Rosemount 3051C ökar i förhållande till AVI 200. Detta troligen som en följd av signalens tidigare påpekade kantigare (högfrekventare) form.

Sammanfattningsvis kan sägas att den avgörande dynamiska skillnaden mellan en analog och en digital transmitter är tidsfördröjningen. Den digitala transmittern reagerar med dödtidsfördröjning. Detta kan vara besvärande till exempel när transmittern ingår i en reglerkrets. En dödtidsfördröjning ger ökad fasvridning i det återkopplade systemet och kan därför äventyra stabiliteten. En dödtid är naturligtvis också besvärande när transmittern ger signal till reaktorns säkerhetssystem. I detta fall blir reaktionen fördröjd med den tid som motsvarar dödtiden. Vid byte av en analog transmitter till en digital är det viktigt att denna försening i reaktion beaktas.

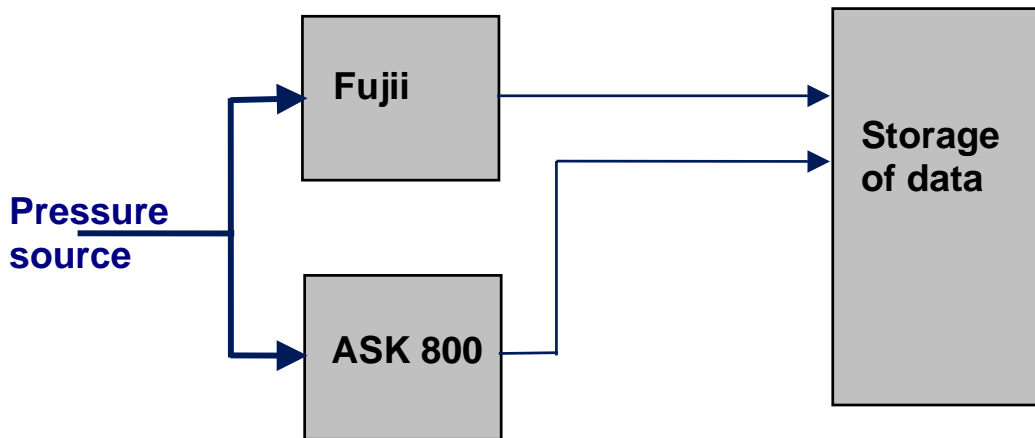
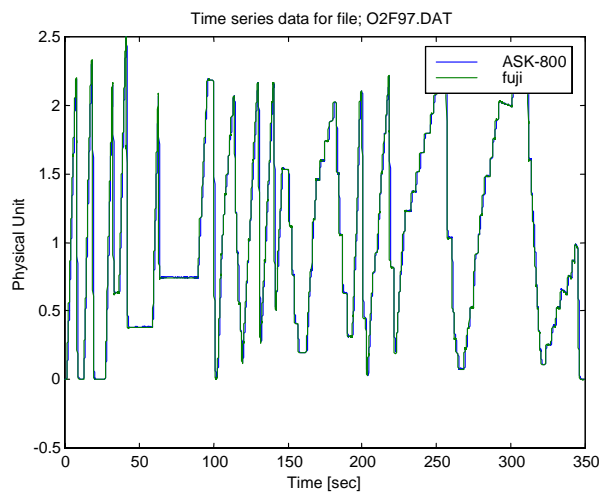
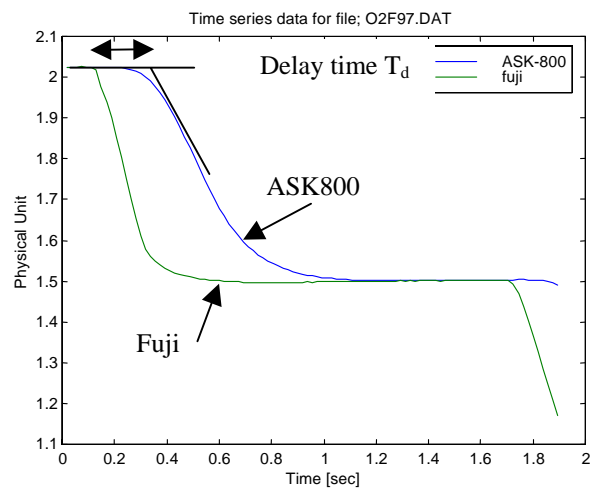


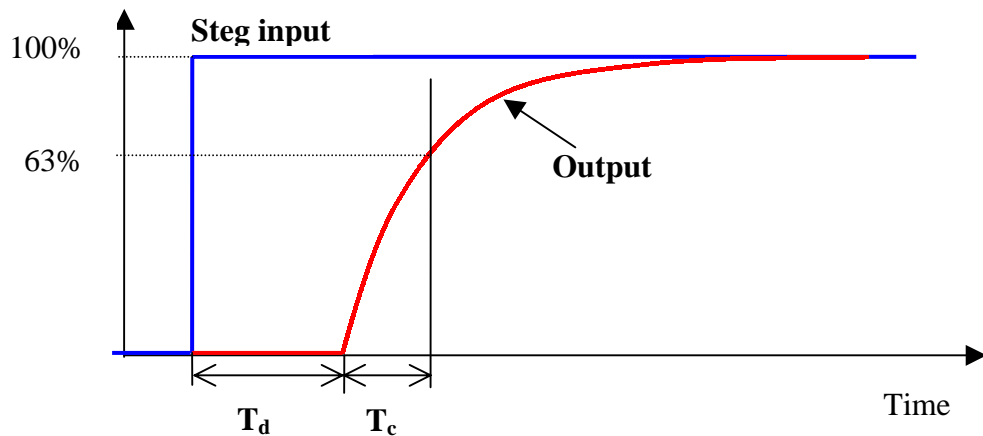
Figure 2.1 Laboratorietest av den digitala trycktransmittern ASK 800 i jämförelse med den analoga transmittern Fujii. Oskarshamn 2, 1997.



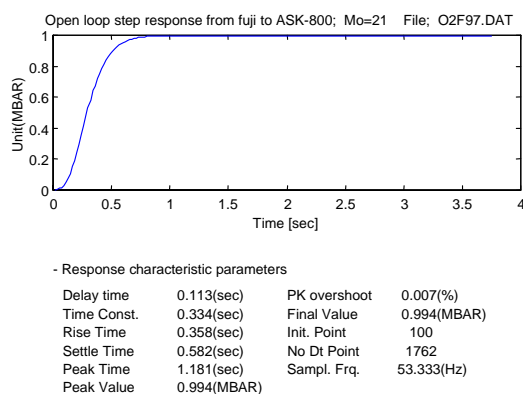
Figur 2.2 Utsignalerna från transmittarna ASK 800 och Fujii som funktion av tiden under variation av trycket P . Se också Figur 2.1 ovan. Från Oskarshamn 2, 1997.



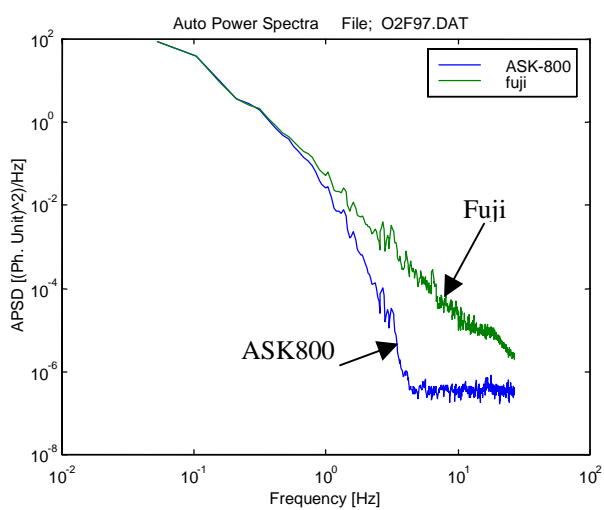
Figur 2.3 Resultat vid närmare jämförelse mellan den digitala transmittern ASK 800 och den analoga transmittern Fujii. Dynamiken kan beskrivas med en dödtidsfördröjning $T_d = 200$ ms och en tidskonstant. Från Oskarshamn 2, 1997.



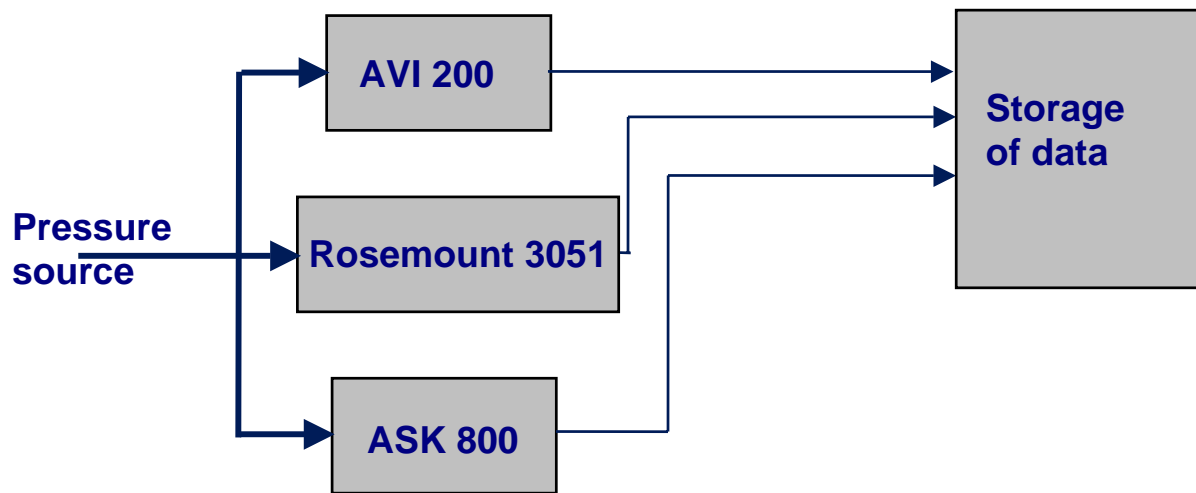
Figur 2.4 Definition av fördröjningstiden T_d och tidskonstanten T_c .



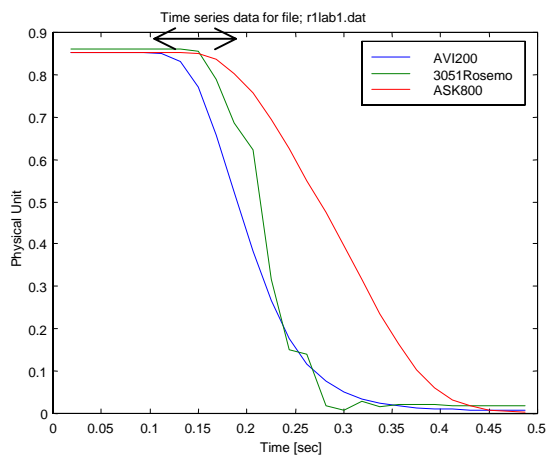
Figur 2.5 Stegsvär med den identifierade modellen med Fujii som insignal och ASK 800 som utsignal. $T_d + T_c = 0,33$ s. Resultat från Oskarshamn 2, 1997.



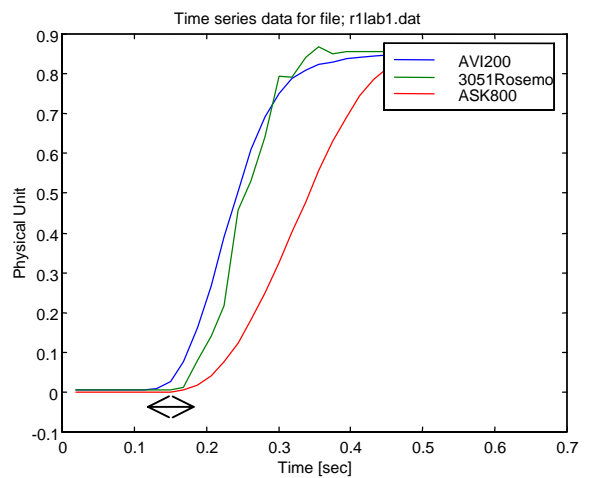
Figur 2.6 APSD för ASK 800 och Fujii signalerna baserat på mätdata från laboratorie-experimenten vid Oskarshamn 2, 1997.



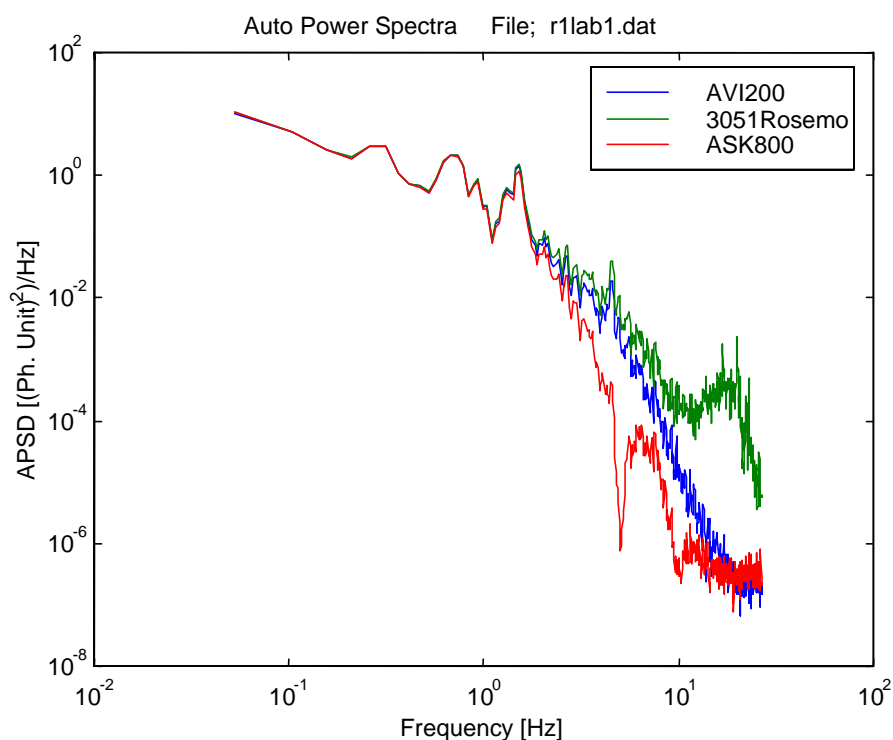
Figur 2.7 Laboratorietest av de digitala transmittarna ASK 800 och Rosemount 3051 smart i jämförelse med den analoga transmittern AVI 200. Laboratorieundersökning genomförd vid Ringhals 1, 2000.



Figur 2.8 Sensorsignalerna AVI200, Rosemount 3051 och ASK 800 vid snabb trycksänkning. De bägge digitala transmittarna har en tydlig transporttidsfördröjning. Ringhals 1, 2000.



Figur 2.9 Sensorsignalerna AVI 200, Rosemount 3051 och ASK 800 vid snabb tryckökning. De bägge digitala transmittarna har en tydlig transporttidsfördröjning. Ringhals 1, 2000.



Figur 2.10 APSD för sensorsignalerna AVI 200, Rosemount 3051 och ASK 800 under experimentet med tryckvariationer. Observera att APSD har mycket god överensstämmelse upp till 2 Hz. Över denna frekvens skiljer sig transmittarna åt. Ringhals 1, 2000.

2.3 Jämförelse mellan analoga och digitala densitetsomvandlare

Mätningen av vattennivån i en kokvattenreaktor sker genom differenstryckmätning via tryckkuttagen på reaktortanken, se Figur 1.1. Därefter följer en elektronisk enhet för kompensation av densiteten, vars utsignal utgör vattennivån i reaktorn. Densitetsomvandlaren kan ha olika funktion, men i äldre reaktorer är det vanligt att vattennivån är en funktion av differenstrycket och reaktortrycket. I instrumentschemat i Figur 1.1 framgår denna lösning. Den elektroniska densitetsomvandlaren har DP- och trycktransmitterns utsignaler som insignaler samt en utsignal som motsvarar vattennivån i reaktorn.

Precis som för de analoga transmittarna sker nu ett byte av analoga densitetsomvandlare till digitala motsvarigheter. Ett sådant byte har genomförts vid Barsebäck 2 och det är också på väg i andra anläggningar. För att bedöma skillnaden i egenskap mellan de analoga och digitala densitetsomvandlarna har experiment genomförts i laboratorium vid Barsebäck 2, se Figur 2.11.

De bägge enheterna som undersöks är Hartmann & Braun TZA2 som är analog samt Hartmann & Braun TZA4 som är digital. Eftersom densitetsomvandlarna har

strömsignaler används den utrustning och uppkoppling som presenteras i Figur 2.11. En strömsignalgenerator används som motsvarar DP (0-20 mA) och en annan som motsvarar P (0-20 mA). Observera att uppkopplingen är sådan att strömsignalen för DP respektive P är identiska för de bägge enheterna. I strömslingorna har motstånd R lagts in för mätning av spänningen till samplingsutrustningen. Även strömutgångarna från omvandlarna har sådana motstånd.

I Figur 2.12 visas Insignalen DP samt motsvarande nivåutsignal TZA2-Nivå från den analoga enheten under experimentet. Genom att identifiera en modell med DP som insignal och TZA2-Nivå som utsignal kan det dynamiska sambandet mellan insignal och utsignal beräknas. Steg störning av modellen visas i Figur 2.13. Av data framgår det att $T_c = 50$ ms.

Resultaten med den digitala densitetsomvandlaren presenteras i Figur 2.14 och 2.15. Redan av figuren framgår det att den digitala densitetsomvandlaren har annorlunda dynamik. Det är en tydlig tidsfördröjning hos utsignalen jämfört med insignalen. På samma sätt som för den analoga enheten har en modell identifierats och stegsvarstestats. Resultatet av stegsvarstesten visas i Figur 2.15 med $T_d + T_c = 250$ ms. Tidskonstanten är således 5 gånger så lång för TZA4 i jämförelse med TZA2 när det gäller dynamiken från DP till Nivå.

I Figur 2.16 visas de bägge utsignalerna från densitetsomvandlarna TZA2 och TZA4 vid variation av trycksignalen P. Under detta experiment hålls DP konstant. Det är mycket tydligt i figuren att TZA4-Nivå signalen är fördröjd i förhållande till TZA2-Nivå signalen. Steg svarstesten av den identifierade modellen för sambandet mellan P och TZA4-Nivå visas i Figur 2.17 $T_d + T_c = 934$ ms. Motsvarande dynamik för sambandet mellan P och TZA2-Nivå visas i form av ett stegsvar i Figur 2.18. Av sifferresultaten i figuren framgår det att $T_c = 53$ ms.

Den gamla analoga enheten TZA2 har snabb dynamik när det gäller sambandet mellan DP och Nivå. Samma sak gäller mellan P och Nivå. Båda sambanden kännetecknas av tidskonstanten 50 ms. Den nya digitala enheten TZA4 däremot är väsentligen långsammare. Sambandet mellan DP och Nivå beskrivs med $T_d + T_c = 250$ ms medan dynamiken med P som insignal och Nivå som utsignal beskrivs med $T_d + T_c = 934$ ms. I Tabell 2.1 framgår resultaten från undersökningen.

Tabell 2.1 Resultat av de dynamiska sambanden mellan DP, P och Nivå för de analoga och digitala densitetsomvandlarna.

Densitetskompensering	DP	Nivå	P	Nivå
	$T_d + T_c$ (ms)		$T_d + T_c$ (ms)	
TZA2 (gammal - analog)	50		53	
TZA4 (ny - digital)	250		934	

2.4 Byte av samtliga instrumentkomponenter i nivå-mätningen

Figur 2.19 visar ett principschema för en nivåinstrumentering. Figuren visar också att ett komplett byte av transmittar och densitetsomvandlare från analoga till digitala kommer att innebära att dödtidsfördröjningarna adderas till varandra. Detta gäller eftersom transmittern och densitetsomvandlaren är kopplade i kaskad. Vid successivt utbyte av instrumentkomponenter från analoga till digitala finns det anledning att varna för att de totala fördröjningstiderna kan bli besvärande.

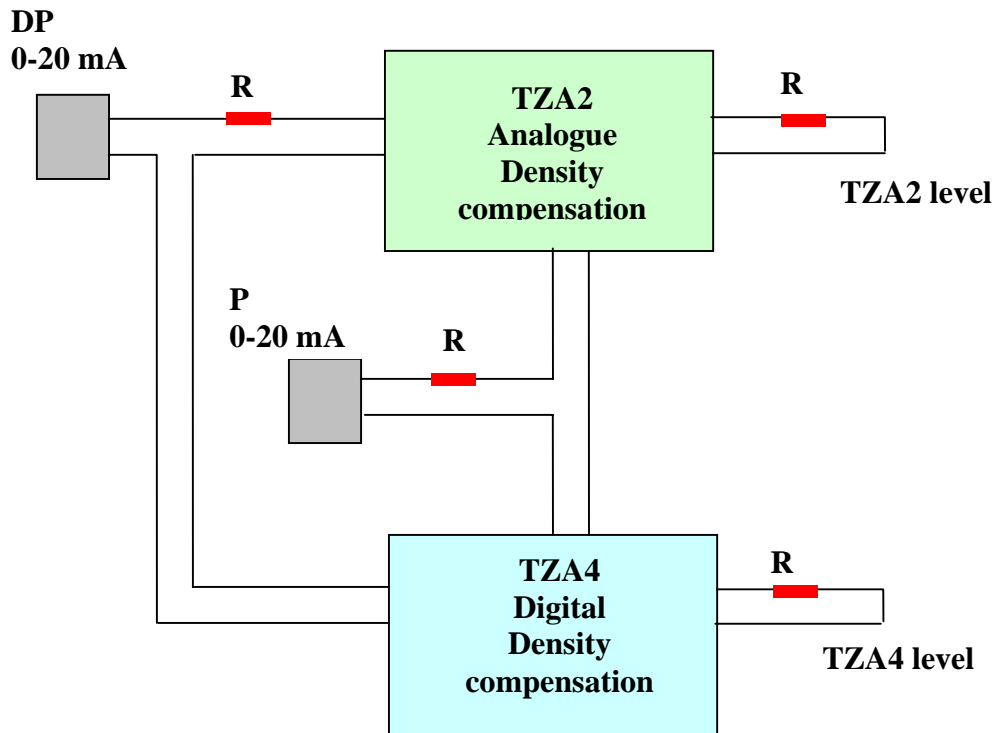
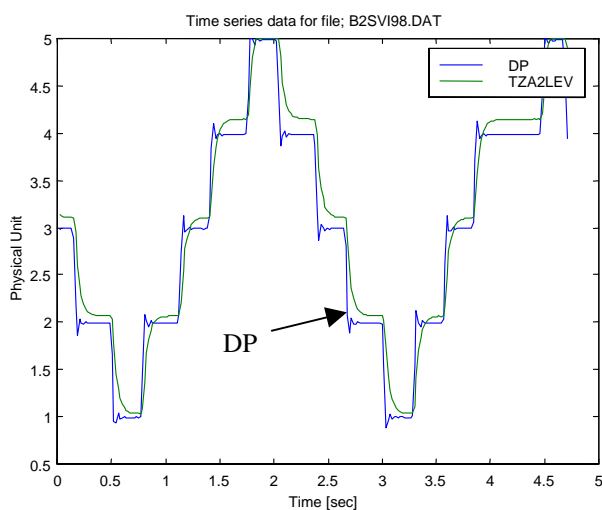
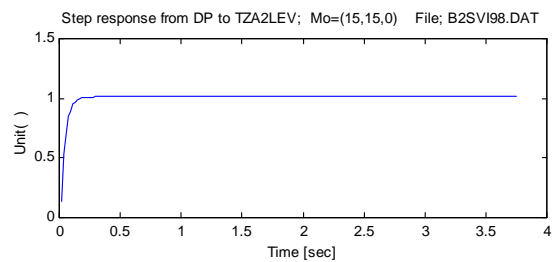


Figure 2.11 Experiment för att jämföra den analoga densitetsomvandlaren TZA2 med den digitala TZA4. Mätning vid Barsebäck 2, 1998.



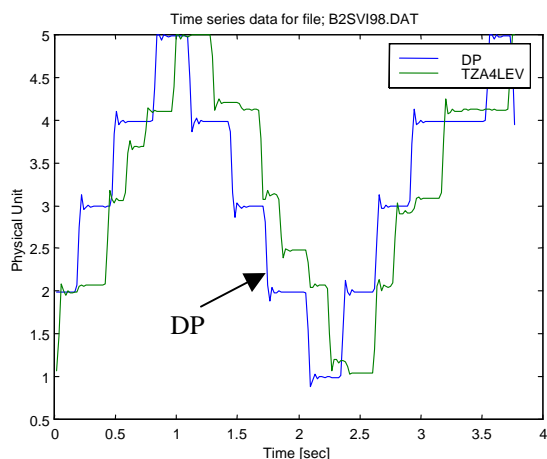
Figur 2.12 Insignalen DP och utsignalen Level för den analoga densitetsomvandlaren TZA2. Experiment vid Barsebäck 2, 1998.



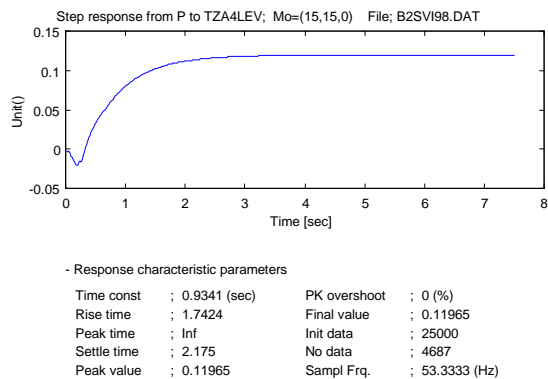
- Response characteristic parameters

Time const	: 0.050233 (sec)	PK overshoot	: 0 (%)
Rise time	: 0.10206	Final value	: 1.0207
Peak time	: Inf	Init data	: 6500
Settle time	: 0.15	No data	: 3501
Peak value	: 1.0216	Sampl Frq.	: 53.3333 (Hz)

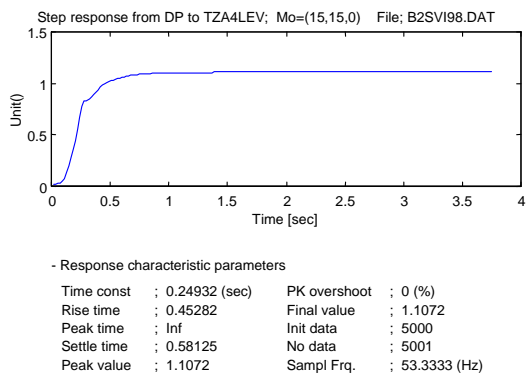
Figur 2.13 Stegsvartest med DP som insignal och Level som utsignal för densitetsomvandlaren TZA2. Experiment vid Barsebäck 2, 1998.



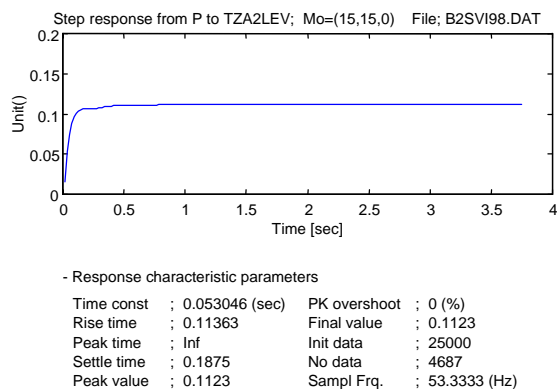
Figur 2.14 Insignalen DP och TZA4-Level som funktion av tiden. Barsebäck 2, 1998.



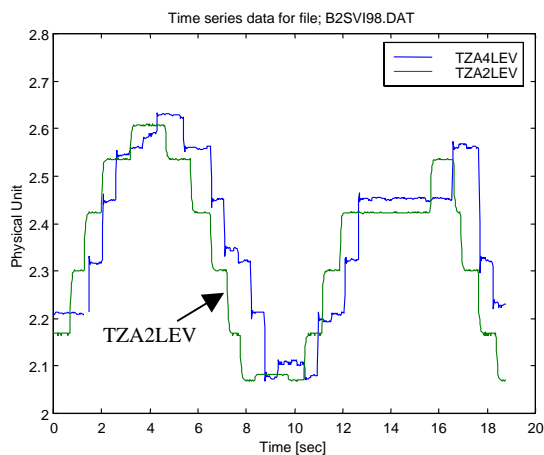
Figur 2.17 Stegsvartest av modellen med P som insignal och TZA4-Level som utsignal. $(T_d + T_c) = 934$ ms.



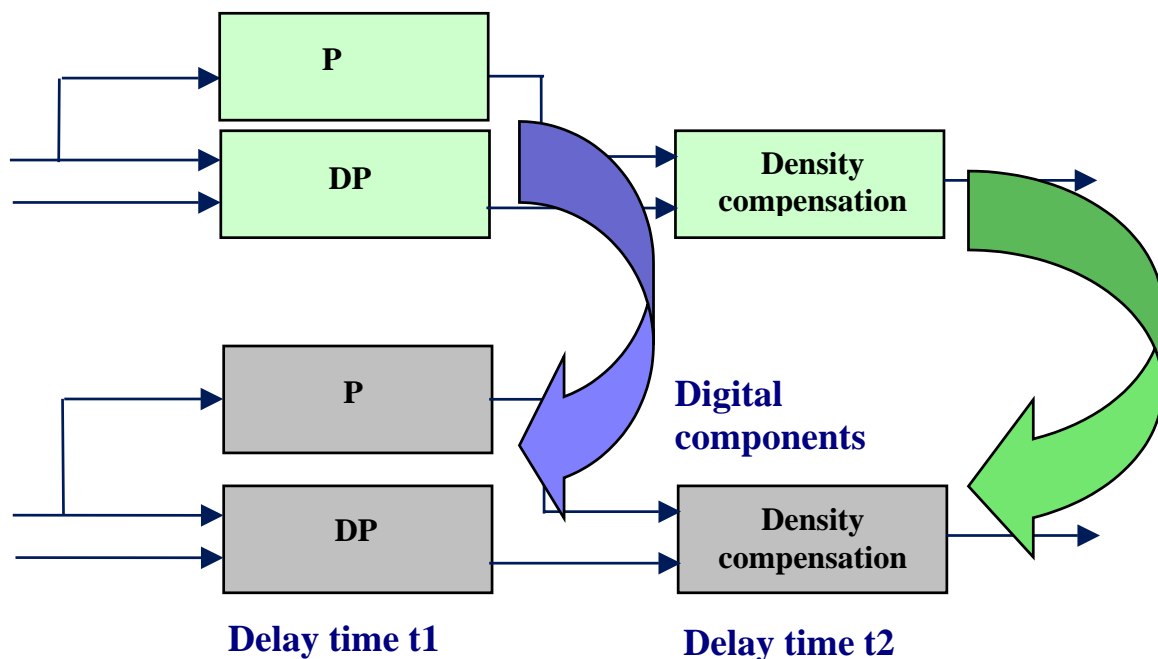
Figur 2.15 Stegsvartest av modellen med DP som insignal och TZA4-Level som utsignal. $(T_d + T_c) = 250$ ms. Barsebäck 2, 1998.



Figur 2.18 Stegsvartest av modellen med P som insignal och TZA2-Level som utsignal. $T_c = 53$ ms. Barsebäck 2, 1998.



Figur 2.16 Utsignalerna TZA2-Level och TZA4-Level som funktion av tiden vid variation av P. Barsebäck 2, 1998.



Figur 2.19 Om instrumenteringen för vattennivån i reaktorn byts ut från analoga till digitala komponenter för såväl P-, DP-transmitterna som densitetsomvandlaren blir resultatet sådant att de digitala komponenternas transporttidsfördröjningar adderas.

3 Laboratorieundersökning av tryckgivare med Bourdonrörkonstruktion

I samband med sensortester som GSE Power Systems genomfört vid de svenska kärnkraftverken har det visat sig att en typ av trycktransmitter uppvisat dynamiskt avvikande beteende. Detta gäller för Hartmann & Braun Shoppe & Faeser TDE 220.

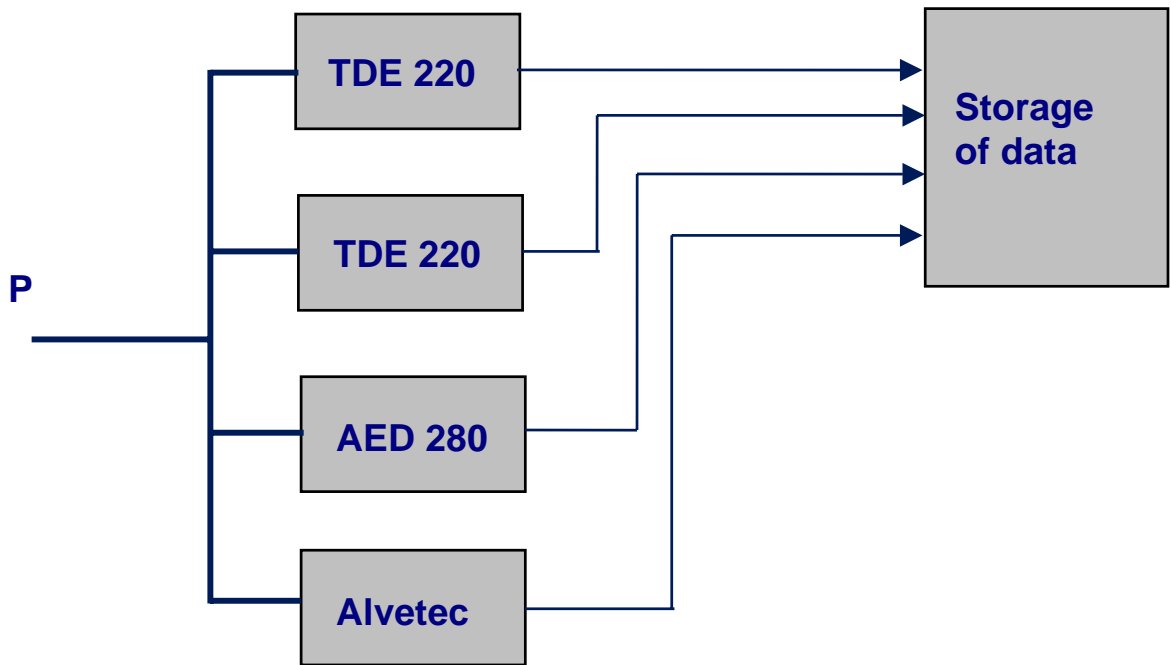
Vid en undersökning i Oskarshamn 2 registrerades två trycksignaler från multipla transmittar anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken. Båda transmittarna var av ovan nämnda typ. Trots de tekniska förutsättningarna för överensstämmelse mellan signalerna visade de sig vara avvikande. I Figur 3.2 presenteras trycksignalerna 211K116 och 211K101 som funktion av tiden. Det är uppenbart att signalerna avviker från varandra. Det lågfrekventa förlopp som framgår hos 211K116 är inte synligt hos 211K101, se Figur 3.2. APSD för de bägge signalerna bekräftar den dynamiska avvikelsen. Signalen 211K101 har betydligt högre brusinnehåll än 211K116, se Figur 3.3.

För att närmare undersöka denna typ av transmitter genomfördes en laborietest i Barsebäck 1998. Vid undersökningen provades inalles fyra trycktransmittar, se Figur 3.1. Av dessa var två stycken av typen TDE 220 och de resterande en Hartmann & Braun AED 280 samt en referenstransmitter av fabrikat Alvetec. Transmittarna trycksattes till 74.5 (Bar) med vatten i impulsledningarna varefter trycket sänktes stegformat, se Figur 3.4. Det är intressant att se att signalerna har olika beteende under experimentet. Signalerna från transmittarna TDE 220 innehåller ett högfrekvent brus

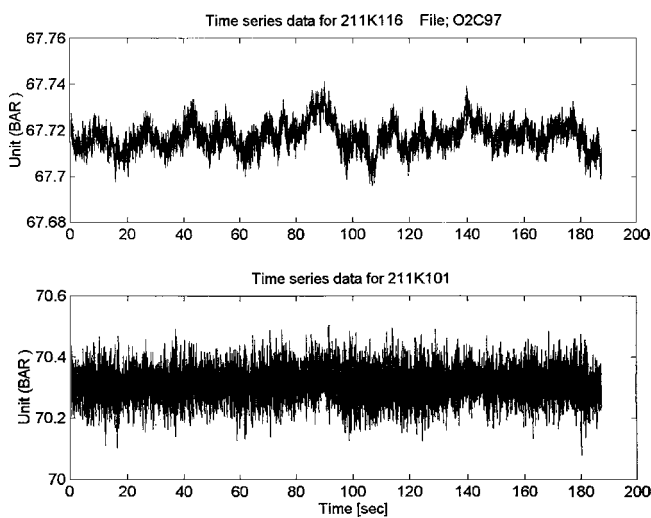
som exciteras i samband med stegstörningarna i trycket. Signalerna från AED 280 och Alvetec har ett mer filtrerat utseende i jämförelse med TDE 220. Det är också tydligt att AED 280 har något längre responstid än de övriga transmittarna.

Orsaken till det högfrekventa brus som gäller för TDE 220 framgår av transmitterkonstruktionen, se Figur 3.5. Transmittern är konstruerad med ett Bourdonrör med en spets som är rörlig och vars position påverkas av trycket i röret. Rörspetsen i sin tur påverkar en differenstransformator vars utsignal omformas till transmittersignalen. Denna konstruktion har en mekanisk brist. En ovidkommande mekanisk vibration hos Bourdonröret kommer att ge en fluktuerande transmittersignal. Och det är detta som inträffar under experimentet. I samband med stegstörningarna uppstår en störning av Bourdonröret som sedan fortsätter att svänga. Det brus som observeras med transmittersignalen har alltså inte med trycket att göra utan det uppstår i transmitters mekanik. Signalerna från TDE 220 transmittarna visar dessutom att detta ovidkommande brus finns före stegstörningarna, se Figur 3.4 mellan 2 och 3 sekunder.

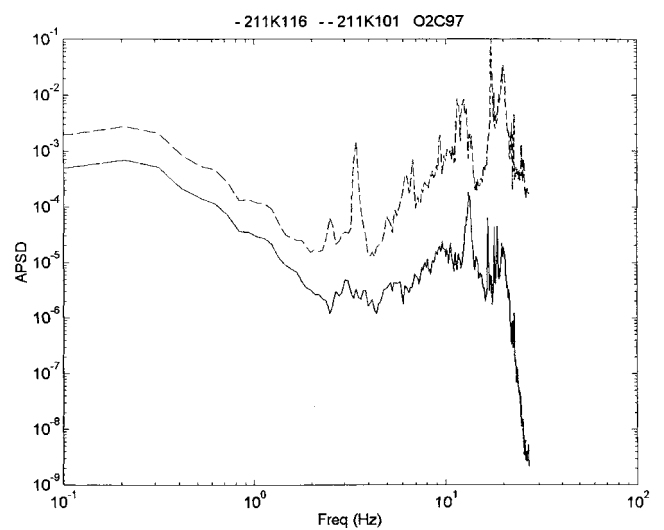
Som jämförelse visas också transmitterkonstruktionen för AED 280, se Figur 3.6. Denna konstruktion arbetar med små ändringar av membran vars position omvandlas till en elektrisk signal. Detta är ett exempel på en modern transmitter.



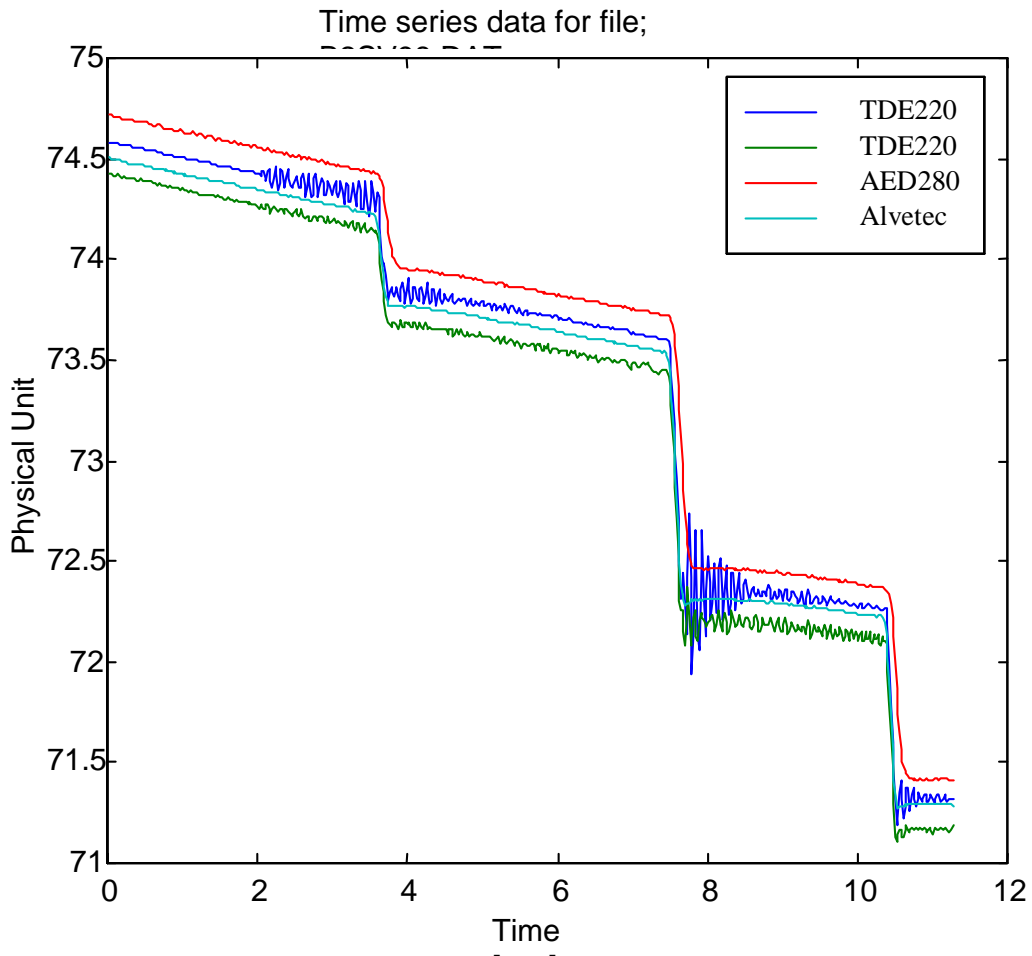
Figur 3.1 Undersökning av tryckgivare i laboratorium, Barsebäck 2, 1998.



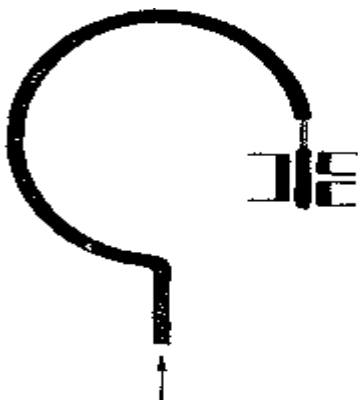
Figur 3.2 Registrering av trycksignalerna 211K116 och 211K101 vid Oskarshamn 2, 1997.



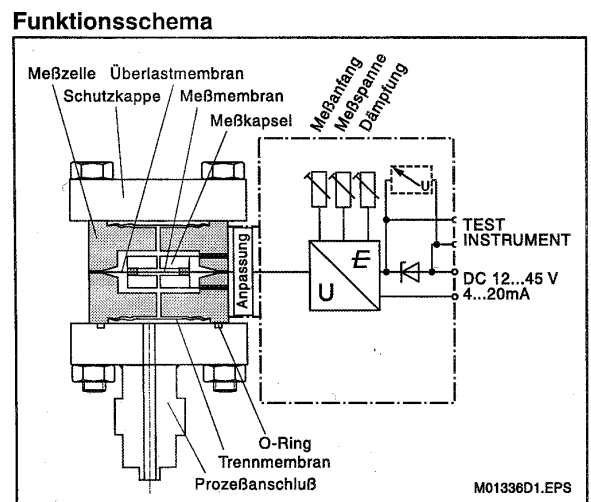
Figur 3.3 APSD för trycksignalerna 211K116 och 211K101 vid Oskarshamn 2, 1997.



Figur 3.4 Resultat vid laboratorieundersökningen av tryckgivarna. Barsebäck 2, 1998.



Figur 3.5 Hartmann & Braun Shoppe & Faeser TDE 220.



Figur 3.6 Hartmann & Braun AED280.

4 Experiment med felindikerande ångtrycksensor

Sedan 1994 genomförs sensortester årligen vid KKM (Kernkraftwerk Mühleberg) i Schweiz i samarbete med GSE Power Systems AB. Omkring 300 sensorer undersöks årligen. Åtskilliga av dessa sensorer utgör en del av reaktorns säkerhetssystem. Under åren har ett stort antal sensortestresultat samlats i rapporter vid KKM. Dessa har nu lagrats i en databas som benämns SensBase™. Följande lista innehåller exempel på parametrar som lagrats med SensBase™ för varje sensor eller multipelt sensorpar: Kort tidsserie (30 s), APSD, Histogram med medelvärde, standardavvikelse, skevhet, kurtosis, Tidskonstant, Multipel sensorinformation i tidsplanet med Gain, Offset och amplitudförhållande.

Sensorfel kan observeras med SensBase™ genom jämförelse av exempelvis APSD från redundanta sensorer. Fel kan också observeras genom multipel sensorjämförelse i tidsplanet med Gain, Offset och amplitudförhållandet. Tidskonstanter kan evalueras för densitetsomvandlare som ingår i vattennivåinstrumenteringen i reaktorn. Dessa tidskonstanter kan jämföras med multipla mätkanaler för att upptäcka avvikelser. Alla parametrar i SensBase™ kan också jämföras med historien för att upptäcka trender som exempelvis åldring kan vara orsak till.

SensBase™ nyttjar ett användargränssnitt där transmittarna med sina impulsledning och anslutningar till processen visas grafiskt med olika fönster, se det fönster som visas i Figur 4.1. Detta fönster benämns högtryckinstrumenteringen för turbin. Transmittarna fungerar som en tryckknapp i det aktuella fönstret. Genom att trycka på en eller flera transmittar blir SensBase™ grafiska presentation av lagrade data tillgänglig för användaren. Totalt finns det 18 olika grafiska fönster och dessa används för att täcka den aktuella instrumenteringen vid KKM. Varje graf presenterar en del av instrumenteringen.

Turbininstrumenteringen i Figur 4.1 gäller för bägge turbinerna (A och B) vid KKM. Bokstaven A i transmittarnamnet avser turbin A och B avser turbin B. En transmitter med exempelvis namnet MP05B2 avser högtrycktransmitter för turbin B, se Figur 4.1. Av SensBase™ grafen framgår det att MP05B1 och MP05B2 är multipla med gemensam impulsledning. Samma sak gäller för paret MP05B3 och MP05B4. Det är också rimligt att anta en överensstämmelse mellan ångtryckparen (MP05B1, MP05B2) och (MP05B3, MP05B4) eftersom de registrerar trycken i samma stadium i turbinen, se Figur 4.1.

4.1 Ångtryckstransmittern MP05B2

År 1999 upptäcktes ett avvikande beteende med ångtryckstransmittern MP05B2. Det var intermittenta förändringar i signalens medelvärde som inträffade. Förändringarna inträffade sällan men de återkom och i Figur 4.2 visas ett exempel från år 2001. Signalerna MP05B2 och MP05B4 registreras som funktion av tiden i figuren och efter 150 sekunder syns en tillfällig reduktion i tryck för MP05B2 som inte återfinns hos MP05B4. Enligt instrumentschemat i Figur 4.1 så är MP05B2 och MP05B4 kopplade

till olika tryckuttag på turbinen. Därmed kunde det inte uteslutas att förändringen var orsakad av processen. Av redundansskäl var det inte möjligt att registrera MP05B1 och MP05B2 under fulleffektdrift. En sådan mätning skulle kunna hjälpa till att avgöra om transmittern MP05B2 var felaktig.

För att undersöka transmitttrarna närmare genomfördes ett experiment med turbintrycket när reaktorn inte längre var i effektdrift. En separat mätning av turbintrycket med samtidig registrering av signalerna MP05A1-MP05A4 och MP05B1-MP05B4 genomfördes och under tiden så förändrades tryckbörvärdet enligt det mönster som visas i Figur 4.3 & 4.4. Det är intressant att se hur väl ångtrycken för MP05A1-MP05A4 följs åt för turbin A när börvärdet förändras. Det enda som skiljer signalerna åt i Figur 4.3 är en mindre offset.

Resultaten för turbin B visas i Figur 4.4. Även denna figur visar att trycksignalerna följs åt på ett sätt som liknar det som gällde för turbin A. Här syns dock en intressant skillnad. En plötslig stegformad ändring sker av MP05B2 efter 120 sekunder. Denna ändring är unik för transmittern MP05B2. Tolkningen är därmed klar. Det är transmittern MP05B2 som har avvikande dynamik.

Experimentet har också utvärderats med de mått som används i SensBase™. För jämförelse mellan tidsserier används Gain, Offset och amplitudförhållande. Begreppen låter sig enklast förklaras med en graf där de två signalernas tidsserier representerar x- och y-axeln. När två multipla signaler är helt identiska så bildar grafen en rät linje i koordinatsystemet med lutningen = 1 och vars förlängning går genom origo. I Figur 4.5 visas sambandet mellan MP05B4 och MP05B3. Överensstämmelsen mellan signalerna är nästan ideala. I denna beskrivning är Gain detsamma som lutning, avvikelser från origo är detsamma som Offset och den plottade kurvans avvikelse från den räta linjen är ett mått på amplitudförhållandet.

Dessa jämförelsemått har beräknats för signalparen i Tabell 4.1 och 4.2. Det framgår att Gain är nära 1 för samtliga jämförelser medan Offset är störst för signalparet MP05B1 och MP05B2. Amplitudförhållandet som gäller för de olika signalparen är tydligt störst för MP05B1, MP05B2 där siffran 37.3 % noteras. Orsaken till det stora amplitudförhållandet framgår också av Figur 4.6 som presenterar MP05B2 som funktion av MP05B1. Felfunktionen hos MP05B2 ger avvikelser från den räta linjen som syns i diagrammet.

Tabell 4.1 Gain, offset och amplitude ratio för ångtryckssignaler i turbin B.

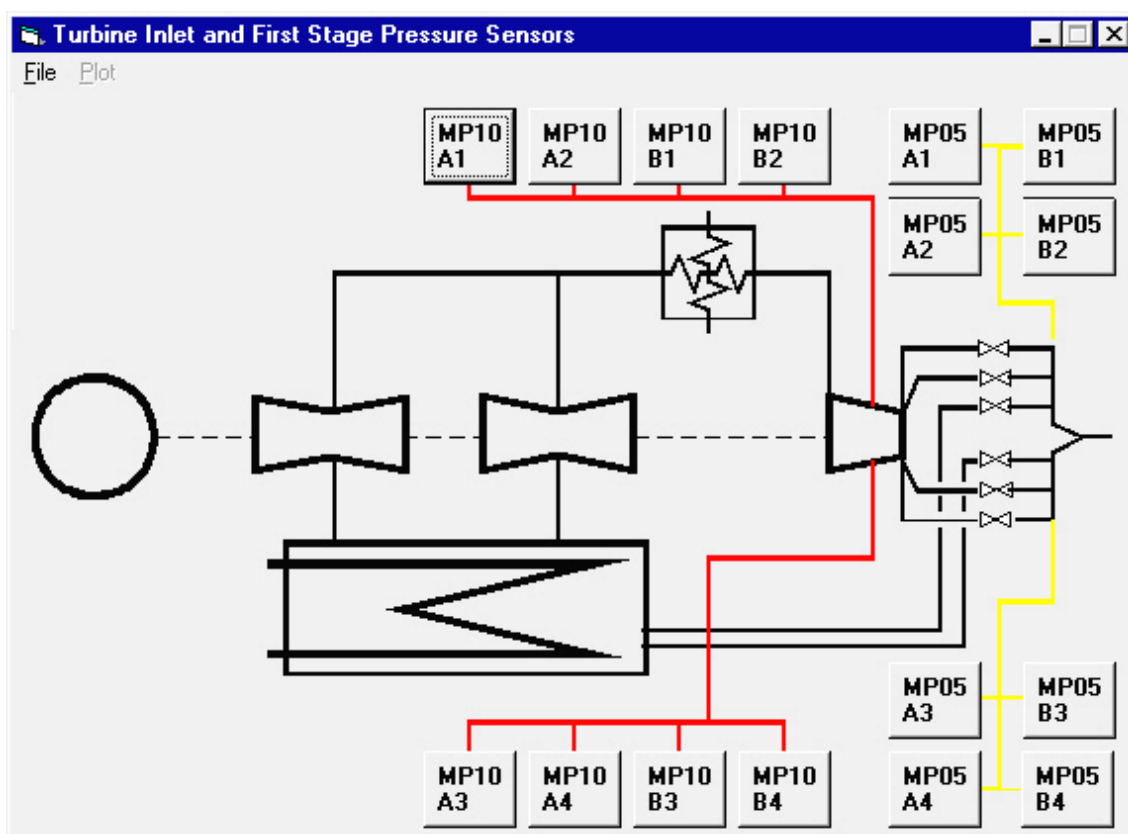
Parameters	031MP005B1/ 031MP005B2	031MP005B3/ 031MP005B4
Gain	0.9761	1.0010
Offset	1.5891	0.3709
Amplitude ratio	37.3	0.8176

Tabell 4.2 Gain, offset och amplitude ratio för ångtryckssignaler i turbin A.

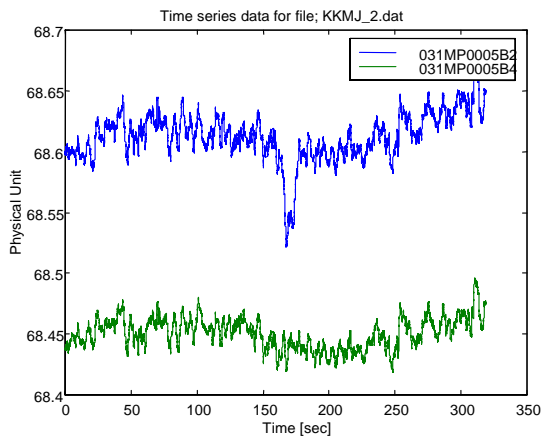
Parameters	031MP005A1/ 031MP005A2	031MP005A3/ 031MP005A4
Gain	0.9809	1.0182
Offset	1.0758	-1.3822
Amplitude ratio	3.2830	0.3476

4.2 Byte av transmittern MP05B2

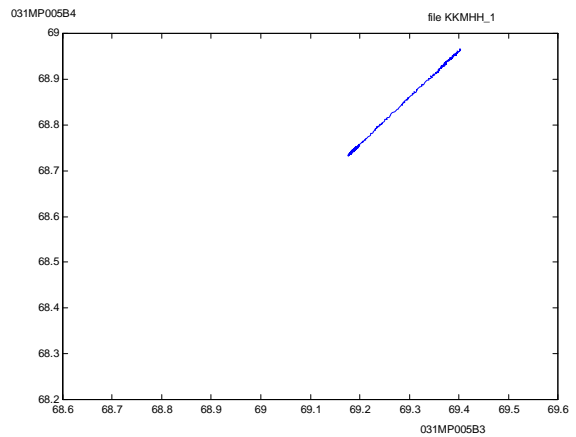
Under avställningen 2001 sändes MP05B2 för service och reparation. Rapporten från servicen visar att det var avbrott i transmitters elektriska utgångssignal. Transmitters elektroniska filterenhet hade en spricka som skulle kunna förklara den intermittenta reduktionen som inträffar hos signalens medelvärde, se Figur 4.2. Den utbytta filterenheten visas i Figur 4.7. Protokollet från servicen visar också att det var nödvändigt att byta ut delar av transmitters mekanik och elektronik.



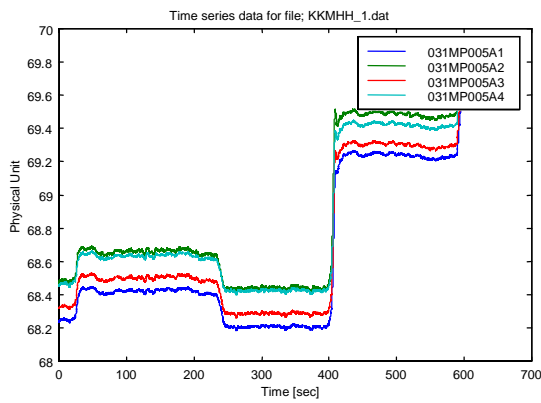
Figur 4.1 Instrumenteringen för tryckmätning i turbin A och B vid KKM.



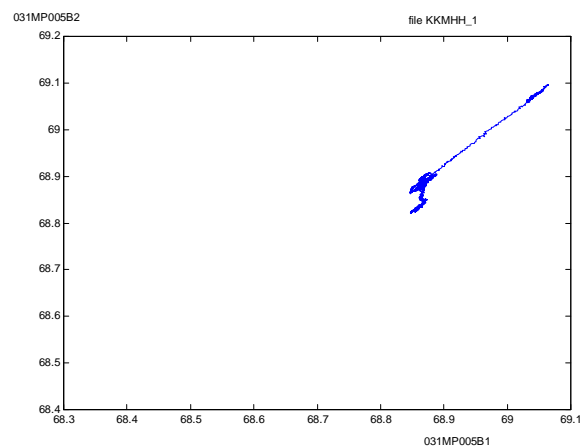
Figur 4.2 MP05B2 och MP05B4 som funktion av tiden. KKM, 2001.



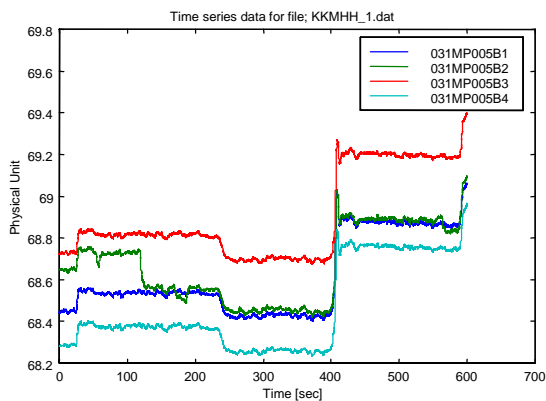
Figur 4.5 MP05B4 som funktion av MP05B3 under experimentet. KKM, 2001.



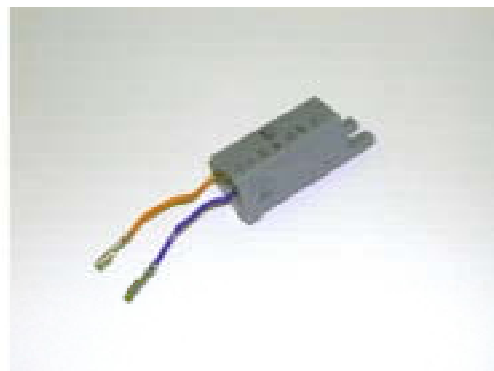
Figur 4.3 MP05A1-MP05A4 som funktion av tiden under experimentet. KKM, 2001



Figur 4.6 MP05B2 som funktion av MP05B1 under experimentet. KKM, 2001.



Figur 4.4 MP05B1-MP05B4 som funktion av tiden under experimentet. KKM, 2001



Figur 4.7 Filterenheten från transmittern MP05B2

5 Undersökningsmetoder för temperaturgivare

Signalerna från temperaturgivare innehåller i allmänhet lite brus. Det finns flera orsaker till detta. En kan vara att processen på grund av reglering enbart medger små variationer i temperatur. Det kan också vara så att temperaturen mäts med filtrerande förutsättningar. En givare för exempelvis mätning av lufttemperaturen som är konstruerad med mycket metall registrerar inte små snabba temperaturvariationer. Signalen filtreras av sensorns konstruktion på sådant sätt att det blir medelvärdet som registreras och enbart de långsamma förändringarna i temperatur som kommer att påverka mätsignalen. Filtringen medför också att en snabb ändring i lufttemperaturen kommer att registreras av mätsystemet med tidsfördröjning.

Detta kapitel beskriver metoder för att undersöka temperaturgivare som används vid KKM. Den första typen av givare mäter lufttemperaturen medan den andra registrerar vattentemperaturen i anläggningens torus.

5.1 Undersökning av lufttemperaturgivare

Ångledningarna vid KKM är omgivna av temperaturgivare i anläggningens så kallade ”steam tunnel”, se Figur 5.1. Temperaturgivarna är till för läckageövervakning i denna del av reaktorbyggnaden där de yttre skalventilerna är installerade. De är av typen RTD (Resistance Temperature Detector) och totalt är det 16 sensorer; se Figur 5.1.

I samband med revisionen av reaktorn testas dessa temperaturgivare genom att de utsätts för kylspray. Den lättflyktiga vätskan fuktar temperaturgivaren och leder till en snabb temperatur sänkning, se Figur 5.2. När sedan givaren torkat så hejdas temperatursänkningen varefter den ånyo ökar upp till den ursprungliga temperaturnivån. Denna ökningstakt är betydligt långsammare eftersom det nu är den omgivande luftens temperatur som bidrar till temperaturökningen. I Figur 5.3 presenteras temperaturen som funktion av tiden under den naturliga återuppvärmningen.

Som tidsmått för nedkylningen och uppvärmningen används de definitioner som visas i Figur 5.2 och 5.3. Vid kylning motsvarar den totala temperatursänkningen 100 % och kyltiden som beräknas är tiden mellan 10 % och 90 %; se Figur 5.2. För uppvärmningen beräknas tiden rent praktiskt från det att den vänt uppåt, strax över 0 % i figuren till dess att den nått 63 % av det slutliga värdet; se Figur 5.3. Metoden repeteras vid varje avställning och resultaten från undersökningen lagras i SensBase™.

5.2 Undersökning av temperaturgivarna i torus

Under reaktorn vid KKM finns en vattenfylld torusformad tank som är avsedd att användas vid nödkylning. Ånga kan i en nödsituation ledas ner i torus för att kondenseras. För att övervaka torus används 12 temperaturgivare av typen RTD och de är alla monterade i dykfickor i tanken; se Figur 5.4.

Temperaturen i torus är konstant omkring 22 grader och den innehåller inte några naturliga fluktuationer eftersom vattenvolymen är så stor. Av denna anledning

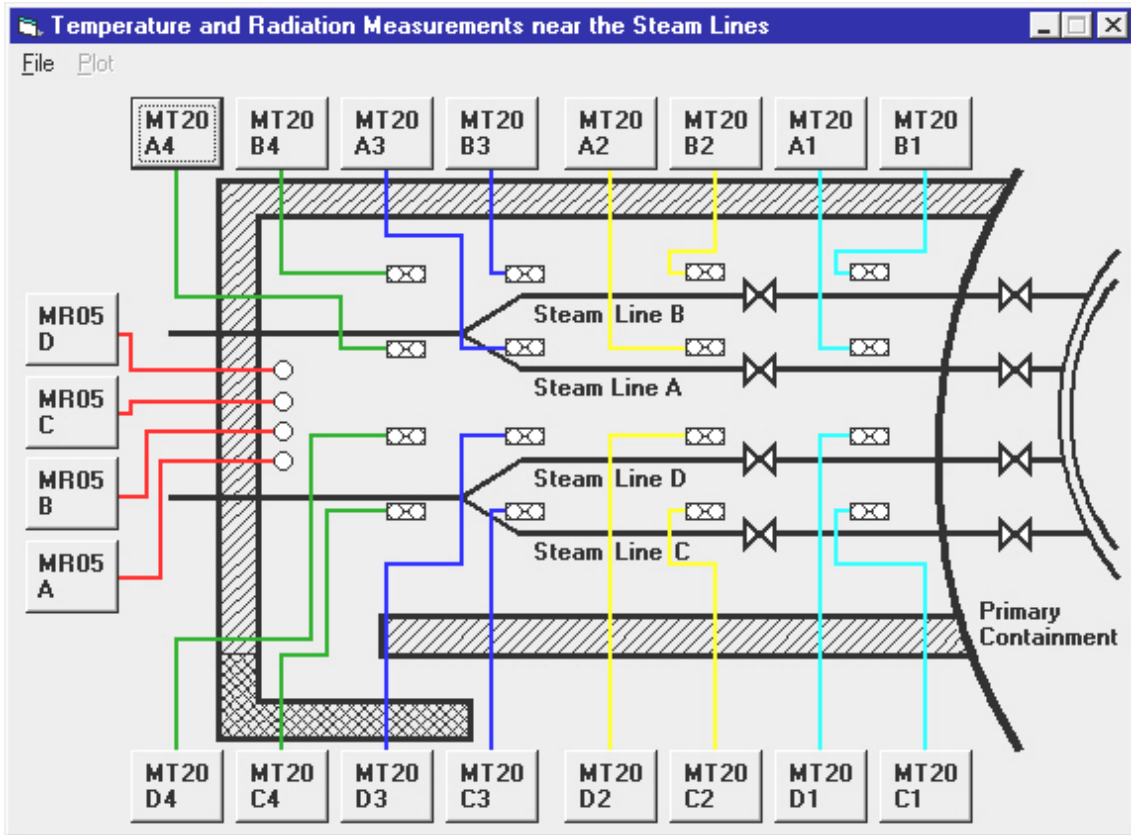
genomförs årligen ett experiment för att undersöka de enskilda temperaturgivarnas funktion. Den enskilda temperaturgivaren demonteras från dykfickan i torus och kyls i en hink med en blandning av vatten och is. När sedan temperaturen stabiliserats vid noll grader torkas temperaturgivaren av varefter den monteras på nytt i dykfickan. Allt detta sker under drift av reaktorn och under tiden som experimentet pågår så sker insamling av mätdata. Detta förfarande upprepas sedan för samtliga tolv temperaturgivare.

Temperaturförloppet under experimentet framgår av Figur 5.5. Kylningen sker snabbt. Utifrån en temperatur av cirka 24 grader reduceras temperaturen ner till nästan noll grader i diagrammet mellan 700 och 800 sekunder. Tidskonstanten för temperatursänkningen beräknas sedan på klassiskt sätt som den tid det tar för temperaturen att reduceras 63 % av den totala temperatursänkningen. Den horisontella pilen i figuren under temperatursänkningen visar 63 % nivån. Rent fysikaliskt är detta tidskonstanten för RTD-elementet med tillhörande elektronik. Siffervärden visar att tidskonstanten är ungefär 10 sekunder för temperatursänkningen.

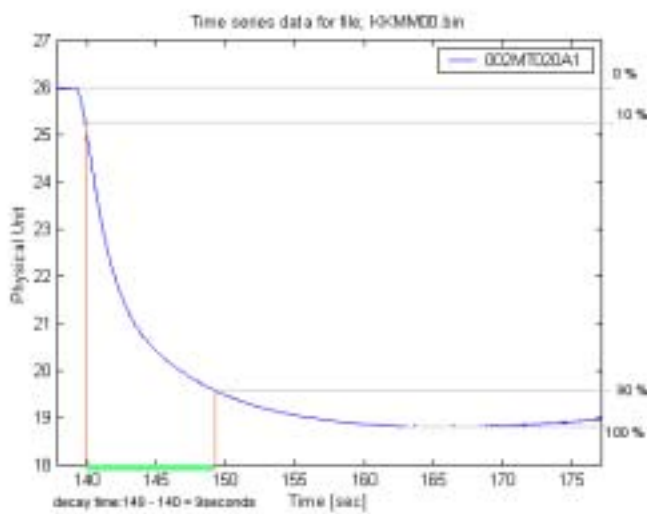
När temperaturgivaren på nytt monteras i dykfickan sker en temperaturökning med betydligt längre tidskonstant (omkring 60 sekunder) än den som gällde vid kylning; se Figur 5.5. Den horisontella pilen under temperaturökningen anger 63 % nivån. Vattnet i torus värmer nu RTD-elementet via den termiska resistans som uppstår mellan givaren och dykfickan. Och detta leder till betydligt trögare dynamik.

Det intressanta är nu att de bägge tidskonstanterna kan nyttjas för diagnos. Avvikelser hos RTD-elementet och givarens elektronik framgår av tidskonstanten vid kylning. Medan tidskonstanten vid uppvärmning visar om det förekommer skräp eller oxid mellan RTD-elementet och dykfickan. Dessutom utgör experimentet delvis en kalibrering eftersom temperaturgivaren provas vid övergången mellan 24 och 0 grader.

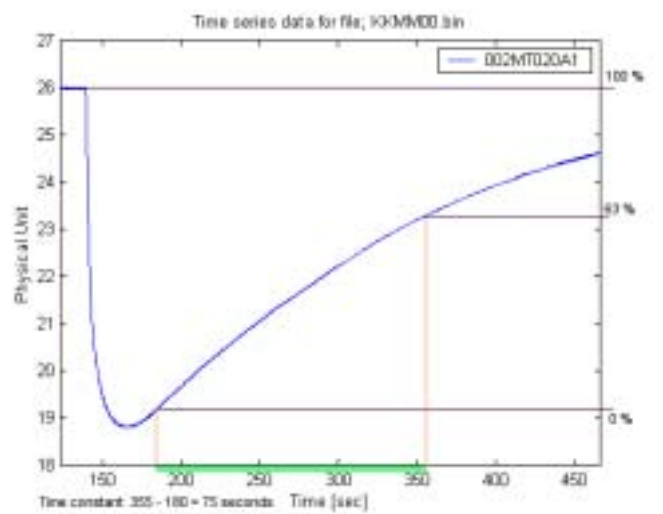
I Figur 5.6 visas resultaten från experimenten med SensBase™. De två nedre stapeldiagrammen visar initialtemperaturen (Highest temperature) samt den kylda temperaturen (Lowest temperature) i torus för en temperaturgivare från åren 1997 – 2000. Som framgår av staplarna ligger torustemperaturen mellan 21 och 25 grader medan den kylda temperaturen varierar mellan noll och 1.1 grader. De två översta stapeldiagrammen i Figur 5.6 visar tidskonstanterna vid värmning (Time constant RTD + thermowell) samt tidskonstanterna vid kylning (Time constant RTD). Resultaten för tidskonstanterna från de olika årtalen för värmning är mycket jämn omkring 50 - 55 sekunder medan motsvarande för kylning varierar mellan 9 och 15 sekunder.



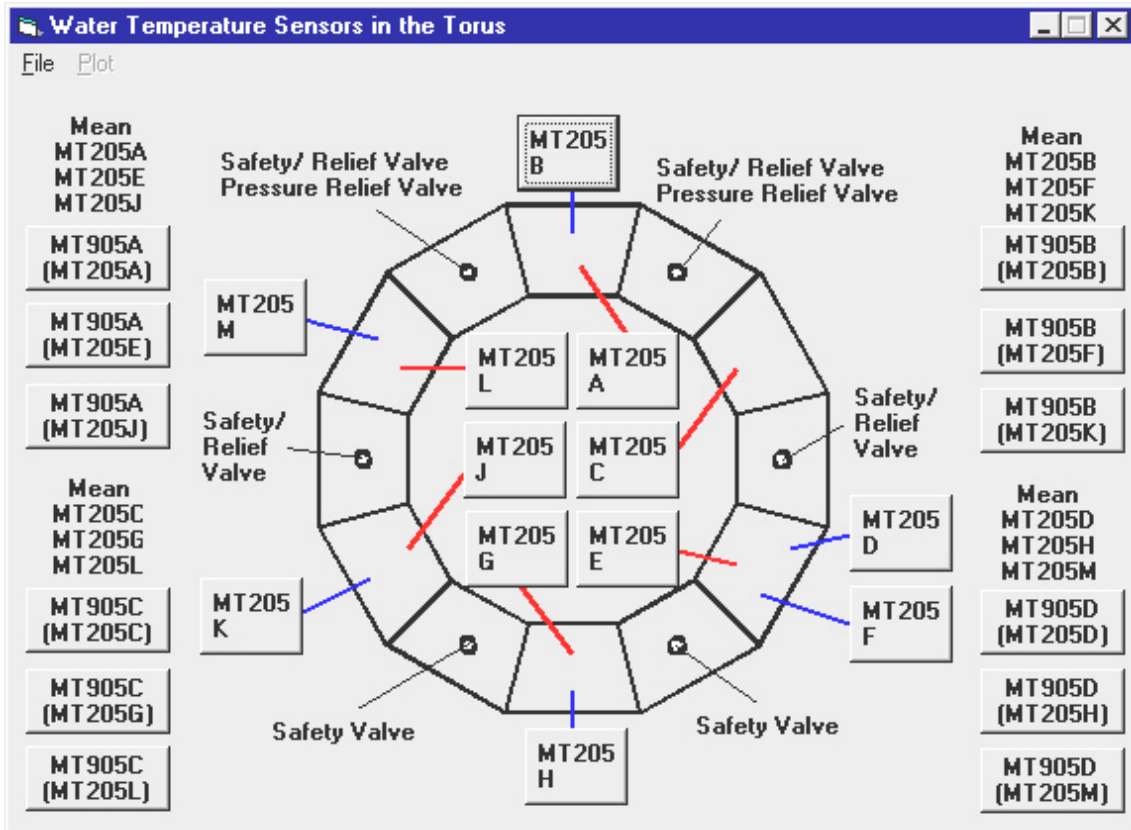
Figur 5.1 Temperaturmätssystemet vid ångledningarna. Figur från SensBase™ vid KKM.



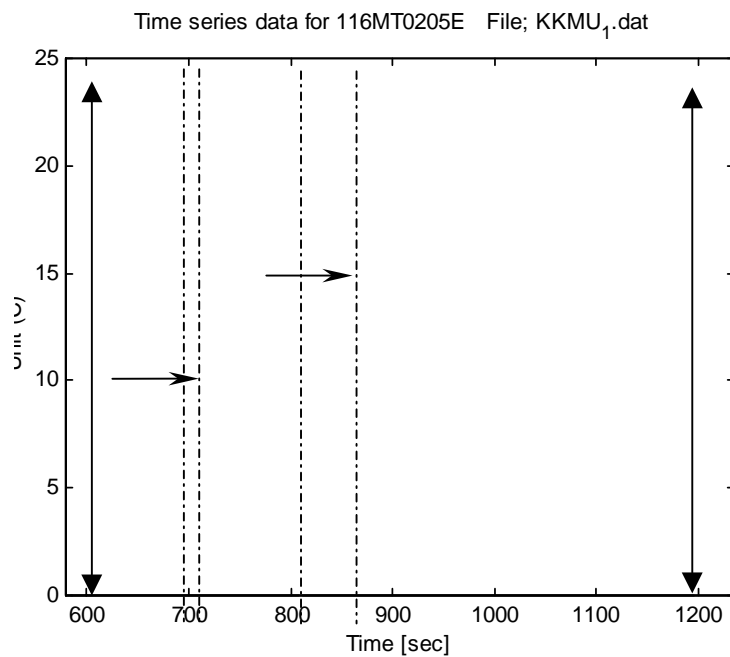
Figur 5.2 Grafisk beskrivning av temperaturförloppet vid kylning. KKM, 2001.



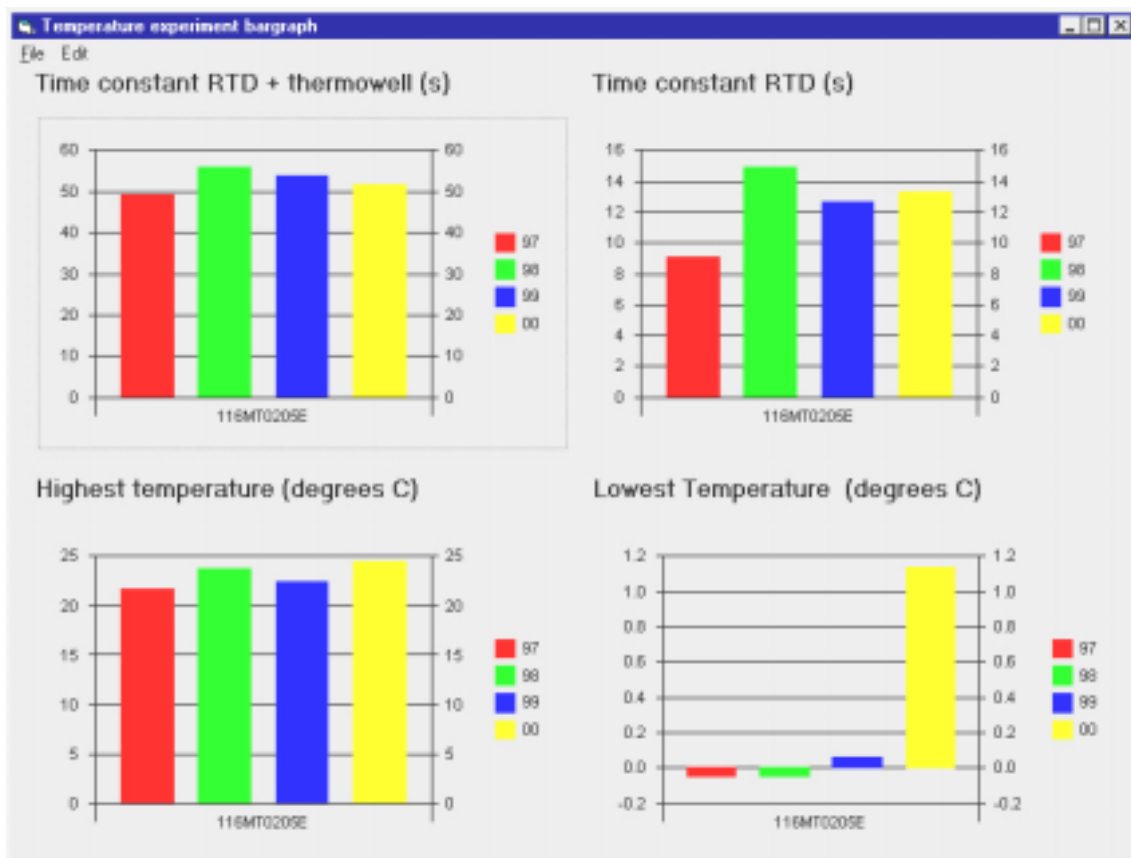
Figur 5.3 Grafisk beskrivning av tidskonstantbestämningen vid naturlig återuppvärmning. KKM, 2001.



Figur 5.4 Temperaturgivarnas placering i torus vid KKM. De tolv temperaturgivarna är monterade i dykfickor.



Figur 5.5 Beräkningen av tidskonstanterna vid kylningen och uppvärmning efter återinstallation av temperaturgivaren i dykfickan.



Figur 5.6 Tidskonstanten vid kylning och värmning samt temperaturen vid installation i dykfickan i torus och i isvattnet. Resultat från åren 1997-2000 med temperatursensorn MT205E. Data från SensBase™ vid KKM.

6 Slutsatser

Den avgörande dynamiska skillnaden mellan exempelvis en analog och en digital transmitter är dödtidsfördröjningen. Den digitala transmittern reagerar med dödtidsfördröjning. Upp till 200 ms noteras som dödtidsfördröjning i jämförelse mellan en analog trycktransmitter (Fujii) och en digital (Hartmann & Braun ASK 800). En dödtid är naturligtvis besvärande när transmittern ger signal till reaktorns säkerhetssystem. Vid byte av en analog transmitter till en digital är det därför viktigt att denna försening i reaktion beaktas. Laboratorietesterna omfattar också en jämförelse mellan en gammal analog densitetsomvandlare (Hartmann & Braun TZA2) och en ny digital (Hartmann & Braun TZA4). Dessa resultat visar att den gamla analoga enheten är väsentligt snabbare än den nya digitala. Stegsvarstest från differensstryck till nivå registrerad som en summa av dödtid och tidskonstant var 50 ms för TZA2 och 250 ms för TZA4. Motsvarande tider med trycket som insignal och nivån som utsignal var 50 ms för TZA2 och 900 ms för TZA4.

Rapporten omfattar även en undersökning av trycktransmitttrar av typen TDE 220 som uppvisat avvikande dynamik vid ordinära sensortester under reaktordrift. Den avvikande dynamiken för denna transmitter i jämförelse med andra bekräftas av den genomförda

laboratorieundersökningen. Det är transmitters Bourdonrörskonstruktion som bedöms vara orsaken till avvikelserna.

Rapporten visar också resultat från felsökning av en ångtryckstransmitter vid KKM (Kernkraftwerk Mühleberg i Schweiz). Med hjälp av styrda börvärdesändringar av trycket under mätningen av multipla signaler kunde det intermittenta felet avslöjas. Reparationen av transmittern påvisade mekanisk skada i transmitters elektroniska filter. Detta bedöms vara orsaken till de tillfälliga signalavbrotten.

Slutligen visas två möjligheter som används vid KKM för att undersöka dynamiken för temperaturgivare. Bägge metoderna bygger på kylning av givaren. Den ena sker under effektdrift av reaktorn medan den andra sker vid avställning. Resultaten i form av tidskonstanter och temperaturer lagras varje år i SensBase™ som är GSE Power Systems databas för sensortester.

7 Referenser

- 1 Bergdahl Bengt-Göran och Karlsson Joakim K.-H, *Undersökning av transmittrar och instrumentkomponenter i Ringhals 1, Resultat från mätningar och experiment 24- 25 februari 2000*, SKI rapport 00:17.
- 2 Bergdahl Bengt-Göran, *Uppföljande undersökning av transmittrar och instrumentkomponenter vid Ringhals 1, resultat från mätningar den 15 mars 2001*, GSE-01-012, 2001-03-29.
- 3 Bergdahl Bengt-Göran, *Dynamisk provning av instrumentkomponenter under RA-98 vid Barsebäck 2*, GSE-98/14, 2001-05-18.
- 4 Bergdahl Bengt-Göran, *Undersökning av transmittrar och instrumentkomponenter i kokarreaktorer, resultat från Oskarshamn 2, Barsebäck 2 och Kernkraftwerk Mühleberg i Schweiz*, SKI Rapport 98:23.
- 5 IAEA-TECDOC-1147, *Management of ageing of I&C equipment in nuclear power plants*, IAEA, June 2000.

färgat mellanblad

färgat mellanblad

Forskning

Rapporter inom området sensorteknik

Del 2: Dynamiska avvikelser som kan uppstå via impulsledningarna vid mätning av reaktortryck och nivå

Bengt-Göran Bergdahl

GSE Power Systems AB
Box 62
611 22 Nyköping

December 2002

Sammanfattning

Sensorerna är en del av säkerhetssystemet i en reaktor. De är första länken i en kedja av komponenter som påverkar säkerhetssystemet. Det är därför av stor vikt att sensorerna uppfyller högt ställda krav på tillförlitlighet och snabbhet. I praktiken testas de dynamiska egenskaperna hos sensorerna sällan eller aldrig i en kokvattenreaktor. De statiska egenskaperna däremot kontrolleras årligen vid kalibreringen av transmittarna. Detta sker i samband med revisionsavställningen av reaktorn.

Det är vanligt att flera sensorer är anslutna till samma impulsledning. Detta gäller speciellt i gamla reaktorer där endast ett fåtal tryckuttag finns tillgängliga på reaktortanken. Detta är en besvärande brist i konstruktionen eftersom ett fel med impulsledningen påverkar samtliga anslutna komponenter ("Common Cause Failure"). Föreliggande rapport som skrivs på uppdrag av SKI fokuserar på avvikelser i mätsystemet som är kopplade till impulsledningarna. Avvikelserna belyses med praktiska exempel från svenska och utländska BWR.

Impulsledningarna som är mekaniskt passiva komponenter kan reducera responsnabbheten hos ett mätsystem utan att den statiska visningen avviker. Rapporten nämner praktiska fall i kärnkraftverk där impulsledningens dynamik har förändrats, mätt som en tidskonstant, från 0,1 sekunder som är normal responstid till 5 sekunder. Detta har inträffat på grund av gradvis blockering i impulsledningen. Det finns i dag bara en teknik för att undersöka impulsledningens dynamik och det är signalanalys. Genom att mäta transmittersignalen och analysera den på lämpligt sätt kan filtreringar avslöjas oavsett om de förekommer i impulsledningen, transmittern eller efterföljande instrumentkomponenter.

Med exempel från Ringhals 1 visas ett praktiskt fall där pulsationsdämpare med så kallade rensnålar använts. Deras påverkan på responseegenskaperna hos mätsignalen motsvarade en tidskonstant = 0,55 s. Genom att plundra pulsationsdämparna på rensnålarna kunde responstidskraven för dessa mätsystem uppfyllas.

Med resultat från KKM (Kernkraftwerk Mühleberg i Schweiz) presenteras hur man kan övervaka att transmittar inte drabbas av blockering i impulsledningarna. Exempel visas med en transmitter för flödesmätning som är utrustad med pulsationsdämpare. Det är resultat från SensBase™ – GSE:s databas för sensorprovning, som nyttjas i detta arbete. SensBase™ lagrar nya sensortestresultat varje år. Och på så sätt kan även verkan av åldring upptäckas. Genom att SensBase™ används har kärnkraftsinspektionen i Schweiz godkänt att KKM utför kalibrering av transmittar i väsentligt mindre omfattning än tidigare.

Rapporten beskriver också resonanser som kan uppstå i impulsledningen och som inte har något att göra med den storhet som mäts. Vattnet i impulsledningen och transmitters membran bildar ett dynamiskt system där vattnet motsvarar massan, elasticiteten hos transmittern utgör fjäderkonstanten och reaktorns fluktuationer i tryck driver svängningen. Problemet med resonanser i mätsystemet belyses genom praktiska exempel från Ringhals 1 och KKM.

Ett exempel visas också från KKM där oscillationen hos en nivåtransmitter av typen Bartoncell påverkade ett stort antal transmittar som var anslutna till de gemensamma

impulsledningarna. Via experiment med ventilstängningar på impulsledningarna var det möjligt att identifiera den felande transmittern under drift av reaktorn. Efter byte av transmitter till en med mindre volym och deplacement upphörde oscillationerna.

Till sist visar också rapporten att mekaniska vibrationer hos impulsledningarna bidrar till signalbrus vid cirka 10 Hz. Detta visas med hjälp av laboratorieprov som utförts vid KKM. Vid samma anläggning har också transmitttrar bytts ut på grund av avvikande brus i frekvensintervallet 2-20 Hz. Efter bytet av transmitter försvann det nämnda bruset. Resultaten från KKM visar att det inte kan uteslutas att åldring ökar transmittterns känslighet för impulsledningsvibrationer.

Abstract

The sensors are part of the safety system in a nuclear power plant. They are the first link in a chain of components, which affect the safety system. It is therefore of great importance that the sensors fulfil tough requirements on reliability and response time. In practice, the dynamic qualities of the sensors in a BWR are seldom, or never, tested. The static qualities, on the other hand, are controlled every year when the transmitters are calibrated. This is done during the regular outage of the power plant.

It is common that several sensors are connected to the same sensing line. This is true especially in old reactors, where only a few pressure taps are available in the reactor pressure vessel. This is a troublesome disadvantage in the design, since a failure in one sensing line will affect all components, which are connected to that sensing line (“Common Cause Failure”). This report focuses on deviations in the measurement system connected to the sensing lines. The deviations are illustrated by examples from Swedish and foreign BWR’s.

The sensing lines are mechanically passive components. They can reduce a system’s response time even if there are now deviations in the static presentation. This report mentions cases in nuclear power plants, where the time constant of the sensing line has changed from 0.1 seconds, which is a normal response time, to 5 seconds. This has happened because of a gradual blockage of the sensing line. Today, signal analysis is the only way to examine the dynamic qualities of sensing lines. Filtrations can be unveiled by measuring and analysing the transmitter signal, regardless the location of the filtration: in the sensing line, in the transmitter or in other instrumentation components.

A practical case is presented where pulsation dampers with so-called needles were used at Ringhals 1 in Sweden. Their influence on the response time for the measurement signal corresponds to a time constant = 0.55 s. By eliminating the needles the demand on the response time was fulfilled.

The report presents how blocking of the sensing lines can be supervised. Examples are given from the Mühleberg NPP (KKM). Examples are shown with a flow measurement transmitter, which has pulsation dampers. For this presentation, results with GSE’s database for sensor tests, SensBase™, are used. SensBase™ stores new results every year. In this way, the influence of component ageing can also be detected. Because of the use of SensBase™, the Swiss nuclear power inspectorate has approved less frequent calibration of the transmitters.

The report also presents pressure oscillations that take place in the sensing line and not in the real measured process. The water in the sensing line together with the transmitter membrane form a dynamic system with water as mass, elasticity in the transmitter membrane as spring constant and reactor pressure fluctuations as driving force. The problem with oscillations in the measurement system is illustrated with examples from Ringhals 1 and KKM.

Another example from KKM shows how the oscillation in a level transmitter of the type Barton Cell affected a large number of transmitters, which were all connected to the common sensing lines. It was possible to identify the deviating transmitter by

experiments with isolation valve closures in the sensing lines during power operation. After the transmitter had been changed to one with a smaller volume and smaller displacement, the oscillations disappeared.

Finally, the report also shows that mechanical vibrations in the sensing lines contribute to the signal noise around 10 Hz. This is shown by means of laboratory tests at KKM. At this plant, transmitters have also been replaced because of deviating noise in the frequency interval 2-20 Hz. After the transmitter had been replaced, the noise disappeared. The results from KKM show that it can never be excluded that ageing may increase the transmitter's sensitivity to vibrations of the sensing line.

Innehållsförteckning

<u>1</u>	<u>Bakgrund</u>	8
<u>2</u>	<u>Nivåförändring i kondensationskärl</u>	9
<u>3</u>	<u>Gradvis blockering, gas eller frysning i impulsledningen</u>	12
<u>3.1</u>	<u>Impulsledningen och dess komponenter</u>	12
<u>3.2</u>	<u>Luft eller gas i impulsledningen</u>	13
<u>3.3</u>	<u>Frysning eller gradvis blockering i impulsledningen</u>	13
<u>3.4</u>	<u>Pulsationsdämpare alternativt elektronisk filtrering</u>	14
<u>3.5</u>	<u>Slutsatser angående impulsledningens dynamik</u>	14
<u>4</u>	<u>Resonans hos trycksignalerna vid Ringhals 1</u>	17
<u>5</u>	<u>Jämningsvakter med och utan pulsationsdämpare</u>	21
<u>6</u>	<u>Pulsationsdämpare i jetpumpflödesmätning vid KKM</u>	25
<u>7</u>	<u>Pulsation hos en nivåtransmitter med påverkan på andra</u>	27
<u>7.1</u>	<u>Beslut att stänga ventiler på impulsledningarna till ML93 och ML94A</u>	27
<u>7.2</u>	<u>Byte av transmitter ML93</u>	29
<u>8</u>	<u>Reaktortryck och -nivå med 10 Hz brus</u>	33
<u>8.1</u>	<u>Experiment vid KKM med impulsledningsvibrationer</u>	34
<u>8.2</u>	<u>MP34B2 före och efter bytet av transmitter observerat med SensBase™</u>	34
<u>9</u>	<u>Slutsatser</u>	38
<u>10</u>	<u>Referenser</u>	39

1 Bakgrund

Sensorerna är en del av säkerhetssystemet i en reaktor. De är första länken i en kedja av komponenter som påverkar säkerhetssystemet. Det är därför av stor vikt att sensorerna uppfyller högt ställda krav på tillförlitlighet och snabbhet. I praktiken testas de dynamiska egenskaperna hos sensorerna sällan eller aldrig i en kokvattenreaktor. De statiska egenskaperna däremot kontrolleras årligen vid kalibreringen av transmittarna. Detta sker i samband med revisionsavställningen av reaktorn.

I en åldrande anläggning är det så att transmittar och andra instrumentkomponenter byts ut mot nya modeller. Detta innebär att olika sensortyper och modeller är i drift. Det är dessutom inte ovanligt att kompletta system med impulsledningar byts ut eller byggs om och nya kondensationskärl installeras. Detta innebär att de dynamiska egenskaperna som gällde under provdriften av anläggningen troligen har ändrats.

Mätsystemen för tryck och nivå i reaktorn består av transmittar som anslutits till tryckuttag på reaktortanken. Av miljöskäl är transmittarna installerade utanför reaktorinneslutningen och förbundna med vattenfyllda impulsledningar fram till tryckuttagen. Figur 2.1 visar en sådan installation från Barsebäcksverket. Av figuren framgår det att impulsledningarna från tryckuttag till transmittar kan vara flera tiotals meter långa.

Det är vanligt att flera sensorer är anslutna till samma impulsledning. Detta gäller speciellt i gamla reaktorer där endast ett fåtal tryckuttag finns tillgängliga på reaktortanken. Detta är en besvärande brist i konstruktionen eftersom ett fel med impulsledningen påverkar samtliga anslutna komponenter ("Common Cause Failure"). De översta tryckuttagen på reaktorn har ett kondensationskärl installerat på impulsledningen för att skilja ångan i reaktorn från vattnet i impulsledningen. Av Figur 2.1 framgår det att de översta tryckuttagen i Barsebäck har upp till tre kondensationskärl anslutna till ett och samma tryckuttag. Denna konstruktion är till för att förbättra redundansen och därmed reducera ovan beskrivna "Common Cause Failure".

Föreliggande rapport som skrivs på uppdrag av SKI fokuserar på avvikelser i mätsystemet som är kopplade till impulsledningarna. Avvikelserna belyses med praktiska exempel från svenska och utländska kärnkraftverk.

De avvikelser som behandlas i rapporten är:

- Nivåförändring i kondensationskärl orsakad av gas i referensledningen.
- Gradvis blockering, inverkan av gas eller frysning i impulsledningen.
- Icke önskade resonanser som kan uppstå vid tryck- eller nivåmätning genom växelverkan mellan impulsledningens vattenpelare och transmittarnas elasticitet.
- Hur en oscillerande transmittar påverkar de övriga som är anslutna till samma impulsledning och samtidigt filtrerar snabba tryckändringar hos dessa.
- Inverkan av pulsationsdämpare och andra mekaniska komponenter i impulsledningen.

Rapportförfattaren vill rikta ett tack till Mr. Hashemian vid AMS (Analysis and Measurement Services Corporation) i USA för stimulerande diskussioner samt utbyte av erfarenheter inom området sensorprovning. De referenser som haft betydelse för tillblivelsen av Kapitel 2 och 3 i denna rapport är Referens 7, 8 och 9.

Tack också till Marcus Andersson vid Ringhals som givit tillstånd till publiceringen av material från GSE:s undersökningar vid Ringhals 1. Tack till Mr. Herbert Schwaninger som givit tillstånd till publicering av resultaten från KKM samt inspirerat arbetet med omfattande diskussioner. Tack dessutom till Jan-Ove Andersson vid Barsebäck 2 som givit tillstånd till publiceringen av material från Barsebäck samt bidragit med värdefulla kommentarer.

2 Nivåförändring i kondensationskärl

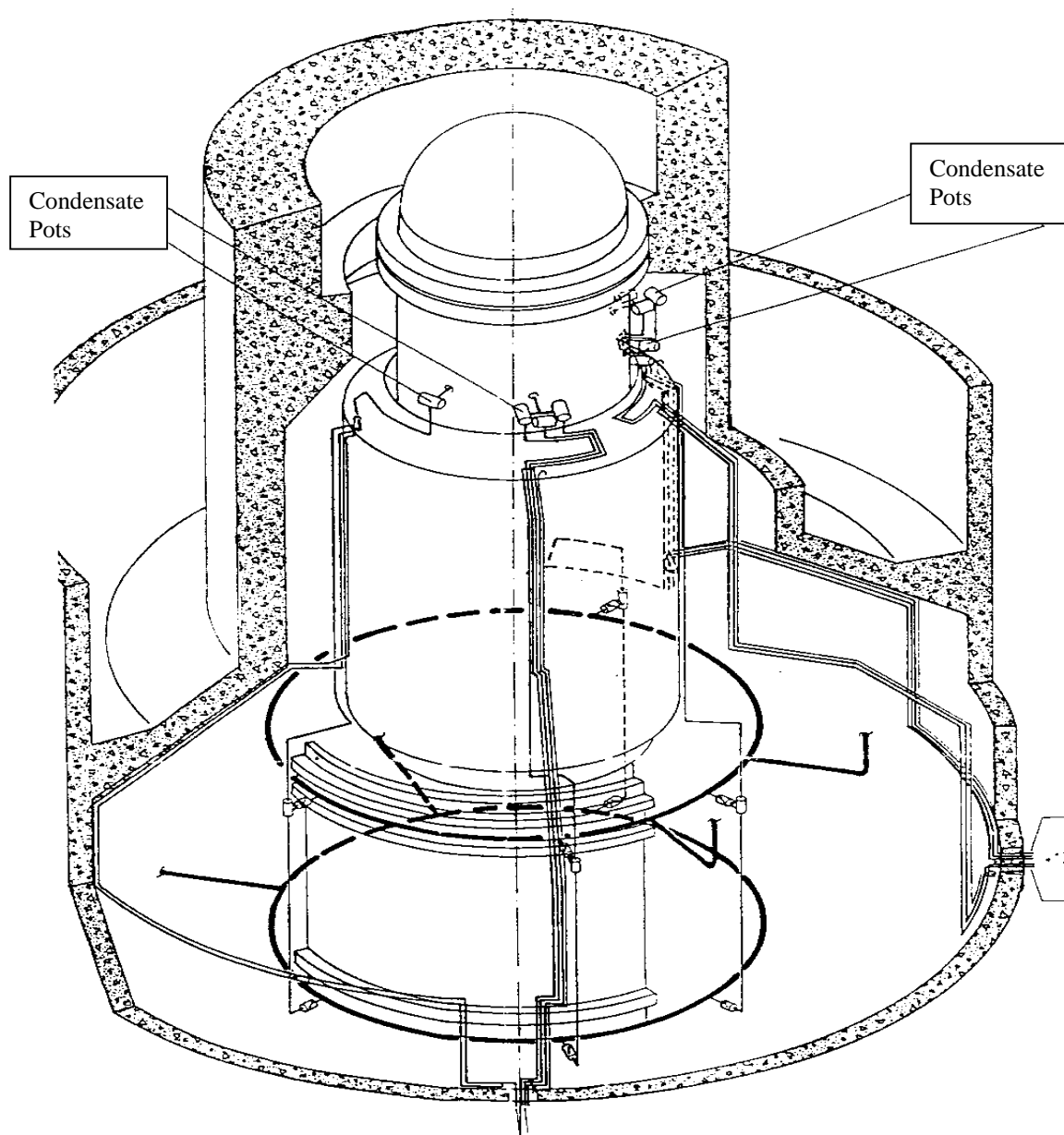
Med hjälp av Figur 2.3 visas en principiell bild av transmittern, impulsledningen samt övriga komponenter som kan vara anslutna till impulsledningen vid mätning av reaktortryck. I närheten av tryckkuttaget finns ett kondensationskärl anslutet. Där skiljs vattnet i impulsledningen från den ånga som råder i reaktortanken på den nivå där tryckkuttaget är placerat. Ångan kommunicerar via tryckkuttaget mellan reaktorn och kondensationskärlet - där kondensationen sker. Och på så sätt regleras nivån i kärlet. Överskott av vatten i kärlet rinner över i reaktorn.

Gasbubblor som kan uppstå i impulsledningen, vid exempelvis trycktransienter, transporteras till kondensationskärlet genom att impulsledningarna är lämpligt lutade. En ökande gashalt i impulsledningsvattnet leder till ökning av volymen, så kallad jäsning. Resultatet blir att vatten rinner av vid tryckkuttaget till reaktorn. När sedan gasbildningen upphört och gasen transporterats bort återstår en tydligt sänkt vattennivå i kondensationskärlet. Detta är speciellt besvärande vid nivåmätning i reaktorn eftersom denna sker med dp (differenstryck) mätning med nivån i kondensationskärlet som referens. Nivåmätningen blir således fel i samma grad som nivån förändrats i kondensationskärlet. Denna feltyp är välkänd. För att återställa nivån har vissa reaktorer möjlighet till påfyllning av vatten i referensledningen under drift efter en sådan händelse. Detta görs då manuellt.

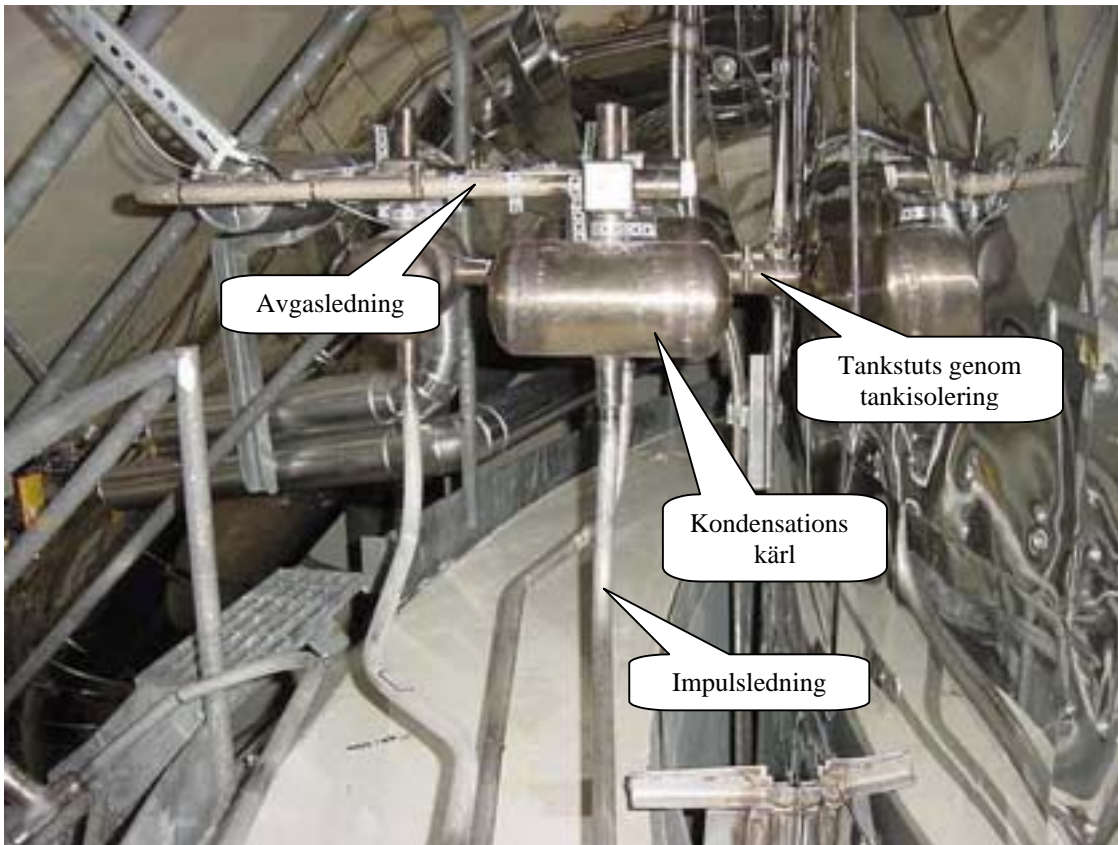
Orsaken till gasbildningen i impulsledningen vid jäsning är att det följer med gas tillsammans med ångan till kondensationskärlet under normaldrift. Denna gas går i lösning i kondensationskärlets vatten. Så länge som gasen är löst i vattnet så sker inte någon negativ påverkan på nivåmätningen men en trycktransient är tillräcklig för att den lösta gasen ska övergå i gasbubblor i impulsledningsvattnet.

Det som är besvärande är också att det kan samlas icke kondenserbara gaser i kondensationskärlet. Exempel på detta är knallgas. Bedömningen är att sådan gas kan explodera och därigenom påverka samtliga komponenter som anslutits till kärlet. Resultatet kan bli icke önskat snabbstopp av reaktorn. För att undvika ansamling av icke kondenserbara gaser har nya typer av kondensationskärl utvecklats. Dit hör sådana med platt form utan den kupol som syns i Figur 2.3 så att hela volymen i kärlet ventileras av ånga. En sådan konstruktion har valts vid KKM. Det finns också andra lösningar. Exempelvis den konstruktion som valts vid Barsebäck 2 där kondensationskärlets topp förbundits med ett rör till ångledningen, se Figur 2.2. På så sätt bortförs såväl ånga som eventuella icke kondenserbara gaser från kärlet. Detta leder till att mindre mängd gas

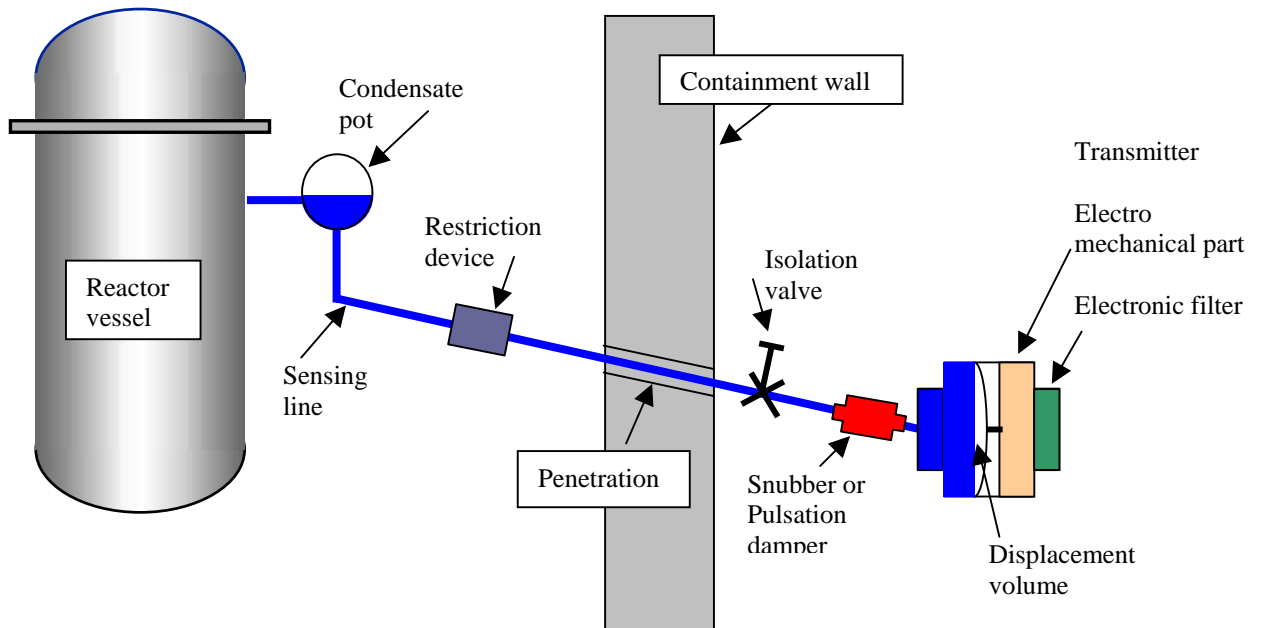
(eller ingen alls) löses i kärlets vatten och syftet är att på detta sätt minska den jäsning som annars skulle ske vid en snabb trycksänkning i reaktorn.



Figur 2.1 Tryckuttag, kondensationskärl och impulsledningar för tryck och nivåmätsystemen i Barsebäck 2.



Figur 2.2 Kondensationskärl, impulsledningar, anslutning till reaktortanken samt avgasningen av kondensationsk rlen till ångledningen i Barsebäck 2.



Figur 2.3 Reaktorn instrumenterad f r tryckmätning. Figuren visar impulsledningen, tryckuttaget, kondensationskärlet, utströmningsskyddet, penetreringen genom inneslutningen, manuell isolerventil, pulsationsdämpare och transmitter.

3 Gradvis blockering, gas eller frysning i impulsledningen

Impulsledningens syfte är att överföra trycket från tryckkuttaget till transmitters membran utan filtreringar, se Figur 2.3. Detta lyckas inte alltid ty de komponenter som ingår i mätsystemet kan verka filtrerande genom gradvis blockering av vattnet i impulsledningen. Ibland förvärras blockeringen av så kallad crud-bildning som är ett kemiskt förlopp i impulsledningens vatten.

Gradvis frysning av impulsledningens vatten har filtrerande inverkan som liknar det som beskrivs för gradvis blockering.

Dessutom har förekomst av gas i impulsledningen dynamisk inverkan på den trycksignal som överförs till transmitters membran. Detta leder till att mätsystemets trycksignal återger en verklig trycktransient med tidsfördröjning. Detta kapitel beskriver dessa problemtyper och föreslår också åtgärder.

3.1 Impulsledningen och dess komponenter

Impulsledningen med dess komponenter vid tryckmätning framgår av Figur 2.3. Förutom tryckkuttaget och kondensationskärlet som redan behandlats i rapporten återfinns ytterligare komponenter. Dit hör de enheter som nedströms kallas utströmningsskydd, avstängningsventil, pulsationsdämpare samt transmitter.

Utströmningsskyddet är en mekanisk anordning som har till uppgift att förhindra läckage av reaktorvatten om en impulsledning skulle brista. Vid normaldrift ska utströmningsskyddet inte ge någon påverkan på transmittersignalen. Internationell rapportering antyder dock att utströmningsskydd bör undvikas i mätsystem med krav på snabb responstid, se Referens 8. Samma sak gäller den manuellt stängbara ventilen som finns monterad på impulsledningen. Inte heller den avses påverka mätsignalen. Ventilen i fråga finns för att möjliggöra manuell stängning av impulsledningen exempelvis vid byte av transmitter.

I impulsledningen kan det också finnas en pulsationsdämpare. En sådan finns medtagen i Figur 2.3. Pulsationsdämparen fungerar som en förstrykning i impulsledningen. Den kan ha olika utformning. Den består exempelvis av ett axiellt rör monterat i impulsledningen och i röret kan så kallade rensnålar införas. Och det är genom val av grovleken hos dessa nålar som den önskade förstrykningen i impulsledningen erhålls. Denna enhet har till uppgift att mekaniskt filtrera trycket till transmitters membran. Detta var ett vanligt sätt att filtrera signaler på under 70 och 80-talet men metoden har tydliga nackdelar. Dessa kommer att behandlas senare. NRC (Nuclear Regulatory Commission) i USA rekommenderade kraftbolagen 1992 att inte använda pulsationsdämpare för filtrering.

Till sist nedströms impulsledningen återfinns transmitters membran. Denna enhet har en vattenfylld volym som påverkar transmitters membran som i sin tur svarar med en rörelse som innebär en volymökning. Denna volymökning kallas displacement. Ett ökat tryck innebär en volymökning som i sin tur åstadkoms genom förskjutning av transmitters membran, se Figur 2.3. Membranrörelsen påverkar transmitters elektromekaniska system som omvandlar membranpositionen till en elektrisk signal. Till slut finns det

oftast en möjlighet till elektronisk filtrering av transmittersignalen. Också detta visas i Figur 2.3. Denna enhet möjliggör elektronisk lågpasfiltrering av ovidkommande frekvenser exempelvis mätbrus hos transmittersignalen.

3.2 Luft eller gas i impulsledningen

Luft eller gas kan förekomma i impulsledningen, se Figur 3.1. En luftbubbla kan exempelvis introduceras i samband med avställningen av reaktorn då komponenter byts ut. Kvarvarande luft i impulsledningen påverkar transmittersignalen både statiskt och dynamiskt. Statiskt eftersom vattenpelarens tyngd förändras när en del av den inte är vatten. Detta är naturligtvis mest känsligt vid mätning av differenstryck. När det gäller mätsystemen för reaktortryck och nivå bör det dock sägas att reaktortrycket är till sin storlek sådant att eventuella luftbubblor som förekommer vid atmosfärstryck reduceras kraftigt i volym vid trycksättning till 70 bar.

En gasbubbla i impulsledningen har också inverkan på mätsignalens dynamik. Laboratorieexperiment som genomförts utomlands visar att en gasbubbla dämpar tryckinsignalerna, se Referens 7. APSD (Auto Power Spectral Density) för signalen efter införandet av en gasbubbla i impulsledningsvattnet är tydligt dämpande för höga frekvenser. Gas är komprimerbart till skillnad från det övriga vattnet i impulsledningen. Gasbubblan verkar som ett lågpasfilter – snabba rörelser överförs inte. Laborarietesterna visade också en lågfrekvent resonans hos trycksignalen. Gasbubblans fjädrande egenskaper tillsammans med massan hos impulsledningens vattenpelare bildade ett svängande system med tydlig resonansfrekvens. Resonansfrekvensens topp framgår också den av APSD.

3.3 Frysning eller gradvis blockering i impulsledningen

Problemet med frysning och gradvis blockering av impulsledningen är likartade. Frysning kan naturligtvis hända i situationer med låg temperatur när impulsledningarna inte är tillräckligt isolerade eller uppvärmda. Varken gradvis frysning eller gradvis blockering förändrar signalens medelvärde, speciellt om detta värde är någorlunda konstant. Reaktortrycket i en BWR kommer exempelvis att fortsätta att visa 70 bar även om impulsledningen blivit gradvis blockerad. Däremot påverkas signalens brus av den gradvisa blockeringen, vilket innebär att signalens APSD förändras. Blockeringen fungerar som en lågpasfiltrering. Detta innebär att signalens responssnabbhet reduceras. En transient återges följaktligen med betydande tidsfördröjning.

Fenomenet kan förklaras med Figur 3.2. En plötslig reaktortryckökning leder till ett flöde i impulsledningen vars avsikt är att öka volymen i transmittern så att membranet flyttas för att återge det nya förhöjda trycket. Gradvis blockering i någon av de ingående mekaniska komponenterna leder nu till att flödes hastigheten i impulsledningen reduceras. Det kommer att ta längre tid till dess att transmittermembranet intagit sin nya position som motsvarar det högre trycket när gradvis blockering föreligger. Det är således responssnabbheten som påverkas vid gradvis blockering i impulsledningen. Det statistiska värdet påverkas inte. Och det är detta som är problemet ur underhållsynpunkt. Det statistiska värdet är korrekt och döljer det faktum att mätsystemets responssnabbhet förlängts.

I Referens 8 presenteras resultat från en undersökning av 40 000 LER (Licensee Event Report) under tiden från 1980 till 1992. Rapporterna gäller totalt 100 kärnkraftverk. Av dessa rapporter berör 551 problem med impulsledningarna och av dessa är 165 LER orsakade av åldringsrelaterade problem. Och 67 % av dessa det vill säga 111 LER avser problem med impulsledningarna som blockering, frysning och så vidare. Det betonas i rapporten att blockering eller frysning är speciellt besvärligt eftersom det påverkar responsnabbheten hos signalen och om felet får fortgå så leder det till att transmittern inte reagerar på förändringar i processen.

3.4 Pulsationsdämpare alternativt elektronisk filtrering

Som redan nämnts kan såväl pulsationsdämpare som elektronisk filtrering nyttjas för att filtrera transmittersignalen. Slutresultatet är detsamma oavsett vilken metod som används men metoderna har viktiga för- och nackdelar och dessa kommer att behandlas i detta kapitel.

Pulsationsdämparen reducerar flödes hastigheten i impulsledningen med en mekanisk förstrykning. Den enda fördelen med denna metod är att transmitters mekanik inte påfrestas lika mycket eftersom trycket vid transmittermembranet därigenom får mindre fluktuationer.

Nackdelen med pulsationsdämparen är att filtreringen blir beroende av transmitters mekaniska egenskaper. Den lågpass-filtrering som erhålls med en transmitter har en annan brytfrekvens för en annan transmitter. Orsaken till detta är transmitters displacement. Ju större displacementet är desto större blir filtreringen. Detta innebär att ett byte av transmitter med bibehållen pulsationsdämpare också kan medföra en förändrad responstid hos trycksignalen. Dessutom är det viktigt att påpeka den ökade risk för blockering som föreligger i pulsationsdämparen.

Elektronisk filtrering finns införd i de flesta moderna transmittar. Den innebär att transmittersignalen kan filtreras med valbar filterfrekvens. I många fall finns det ett knappsystem som medger val av filtrering. Tekniskt är det i många fall ett passivt RC-nät med olika kombinationer av komponenter som väljs och som motsvarar filtreringen. Det tycks dock tyvärr inte förekomma någon enhetlig standard för att definiera den elektroniska filtreringen. För att vara på den säkra sidan bör laboratorieexperiment genomföras där trycket ändras stegformigt vid samtidig registrering med en referens-transmitter och den undersökta transmittern. En av fördelarna med elektronisk filtrering är att den filtrerar såväl det brus som finns hos impulsledningens tryck som elektroniskt brus som kan uppstå i transmitters elektronik. Enda nackdelen med elektronisk filtrering är att den mekaniska stress som tryckvariationerna ger i detta fall drabbar transmitters mekanik.

All filtrering av mätsignaler bör numera göras med elektronisk filtrering.

3.5 Slutsatser angående impulsledningens dynamik

Impulsledningarna som är mekaniskt passiva komponenter kan reducera responsnabbheten hos ett mätsystem utan att den statistiska visningen avviker. I Referens 5

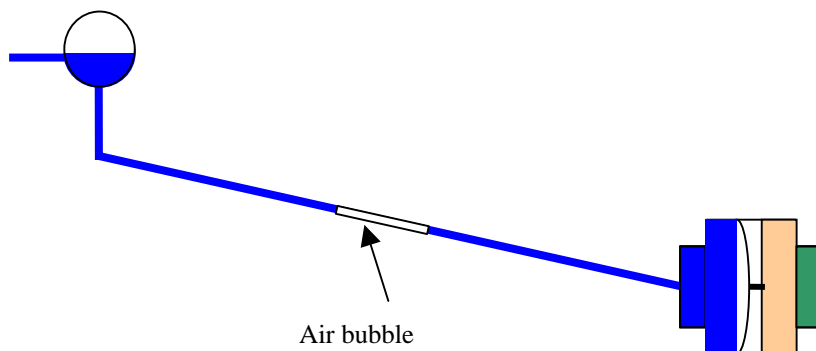
nämns praktiska fall i kärnkraftverk där impulsledningens dynamik har förändrats, mätt som en tidskonstant, från 0,1 sekunder som är normal responstid till 5 sekunder. Detta har inträffat på grund av gradvis blockering i en anläggning i USA. Detta är dessutom inte ovanligt, se Referens 5.

Ett annat exempel är en fransk PWR som drabbades av snabbstopp under ”load-follow” drift. Snabbstoppet orsakades av blockering i en impulsledning till en differenstryck-transmitter. Med hjälp av signalanalys av mätsignalerna och jämförelse med tidigare insamlade signaler kunde problemet diagnostiseras och åtgärdas, se Referens 9.

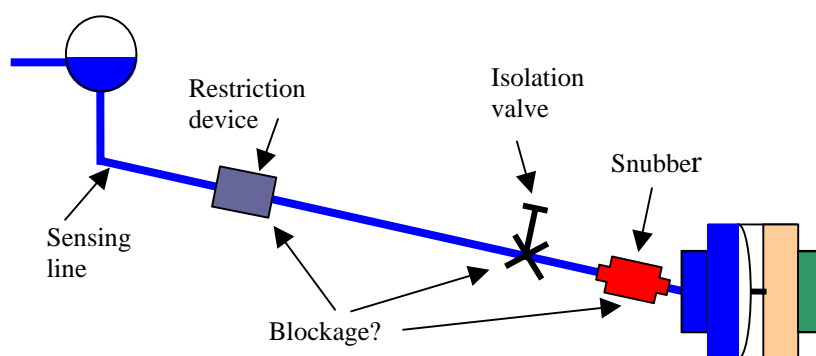
I Referens 8 återges ett brev från NRC till kraftbolagen i USA där det varnas för att användningen av pulsationsdämpare kan förlänga responstiden för mätsignalerna utanför acceptabla gränser. Dessutom varnas för att partiklar i impulsledningsvattnet kan mer eller mindre blockera flödet i impulsledningen och ge ytterligare förlängning av responstiden för mätsystemet.

Det varnas också för att underhållsexperiment med transmittern för att mäta responstiden kan utesluta pulsationsdämparen som finns installerad i impulsledningen. Detta misstag medför att ett sådant experiment ger kortare responstid än den som egentligen gäller för mätsystemet.

Det finns i dag bara en teknik för att undersöka impulsledningens dynamik och det är signalanalys. Genom att mäta sensorsignalen och analysera den på lämpligt sätt kan filtreringar avslöjas oavsett om de förekommer i impulsledningen, transmittern eller efterföljande instrumentkomponenter. GSE har utfört sådana undersökningar i flera svenska kärnkraftverk, se Referens 1-4.



Figur 3.1 Luftbubbla i impulsledningen. Resultatet blir lågpasfiltrering av trycksignalen samt resonans där luftens kompressibilitet fungerar som en fjäder kopplad till massan hos vattnet i impulsledningen.



Figur 3.2 Risk för blockering i impulsledningens mekaniska komponenter: utströmningsskyddet, isolerventilen och pulsationsdämparen. Partiklar i impulsledningsvattnet kan förvärra situationen.

4 Resonans hos trycksignalerna i Ringhals 1

En undersökning av reaktortryckssignaler har genomförts vid Ringhals 1. Bland de tryckgivare som ingick i mätningen återfinns 4 med beteckningarna 211K112, 211K113, 211K124 och 211K114 som alla är anslutna till olika impulsledningarna och tryckuttag på reaktortanken. Transmitterarnas fabrikat och fysikaliska område återges i Tabell 4.1.

För att få klarhet i dynamiken hos trycksignalerna presenteras APSD för trycksignalerna i samma diagram, se Figur 4.1. Resultatet är mycket intressant. Tre tydliga toppar vid olika frekvenser under 6 Hz framgår av dessa fyra spektra. Frekvenstopparna ligger vid 1,8 Hz, 2,5 Hz och 3 Hz för respektive 211K124, 211K112 och 211K114. 211K113 visar ingen topp alls, se Figur 4.1.

Trycket i en reaktor är globalt. Det innebär att dynamiken hos signalerna bör vara desamma oavsett vilken impulsledning som nyttjas. Så är det inte här. Resultaten visar resonanser vid olika frekvenser eller ingen resonans alls.

Förklaringen till de svängningar som syns är inte fluktuationer hos reaktortrycket med 1,8 - 3 Hz. Tolkningen är att resonanstopparna genereras av transmitterna i växelverkan med vattnet i impulsledningarna. Massan hos vattenpelaren i impulsledningen i växelverkan med fjäderkonstanten hos membrandynamiken ger svängningen. Se Figur 4.2. Frekvensen bestäms av vattnets vikt (impulsledningens längd) och transmitterns fjäderkonstant. Därför blir det olika frekvenser i de olika impulsledningarna. Det som underhåller svängningen är det allmänna brus som reaktortrycket har. Det som är besvärande med denna typ av problem är att den icke önskade oscillationen sprider sig till alla givare som är anslutna till respektive impulsledning. Transmitterna påverkar varandra. Detta är ett "Common Cause Failure" för sensorernas dynamiska visning. I Figur 4.4 presenteras som ett exempel APSD för tryckgivarna 211K101, 211K112, 211K119 samt nivågivaren 211K401 där samtliga komponenter är anslutna till samma impulsledning, se Figur 4.3. Observera att alla APSD har en gemensam resonans vid 2,5 Hz.

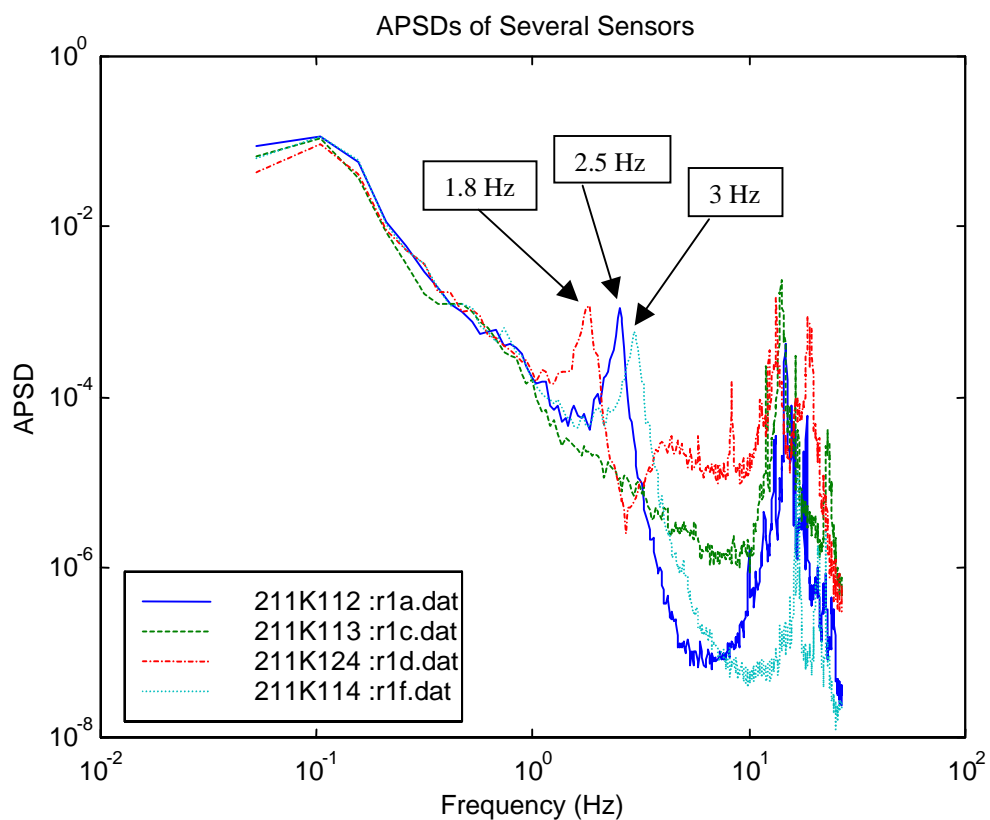
Till varje impulsledning finns flera givare anslutna, såväl tryck som nivå. Dessutom finns ett antal tryckvakter. Det är därför inte enkelt att peka ut vilken eller vilka transmitter som driver oscillationerna i detta fall, se Figur 4.3 där samtliga komponenter som är monterade på impulsledningen framgår. Förutom tryck- och nivåtransmitter är också tre tryckvakter anslutna till impulsledningen. Tryckvakterna är digitala till sin funktion och har inte någon registrerbar kontinuerlig signal tillgänglig. För att analysera vilken komponent som orsakar svängningarna krävs en mer detaljerad mätning kombinerad med experiment.

Ett annat fenomen som också framgår av Figur 4.1 är att APSD för trycksignalerna dämpas kraftigt för frekvenser över oscillationsfrekvensen. De snabba tryckändringar som finns mellan 5 och 10 Hz dämpas ut av elasticiteten hos transmitterna, APSD för 211K114 och 211K112 är klart lägre än 211K113 i nämnda frekvensintervall.

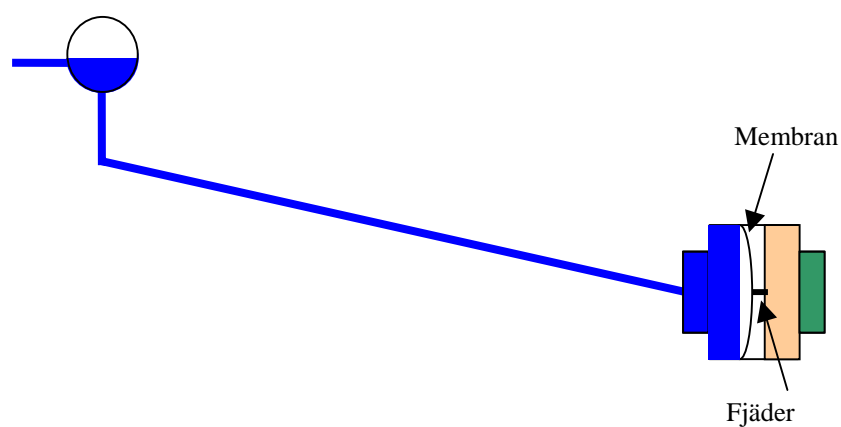
En annan möjlig tolkning till de observerade oscillationerna är förekomst av gas i impulsledningen. En gasbubbla ger på samma sätt upphov till oscillationer, eftersom gasen är komprimerbar.

Tabell 4.1 Transmitterfabrikat, mätområde och så vidare för de signaler som analyseras i Kapitel 4. Ringhals 1.

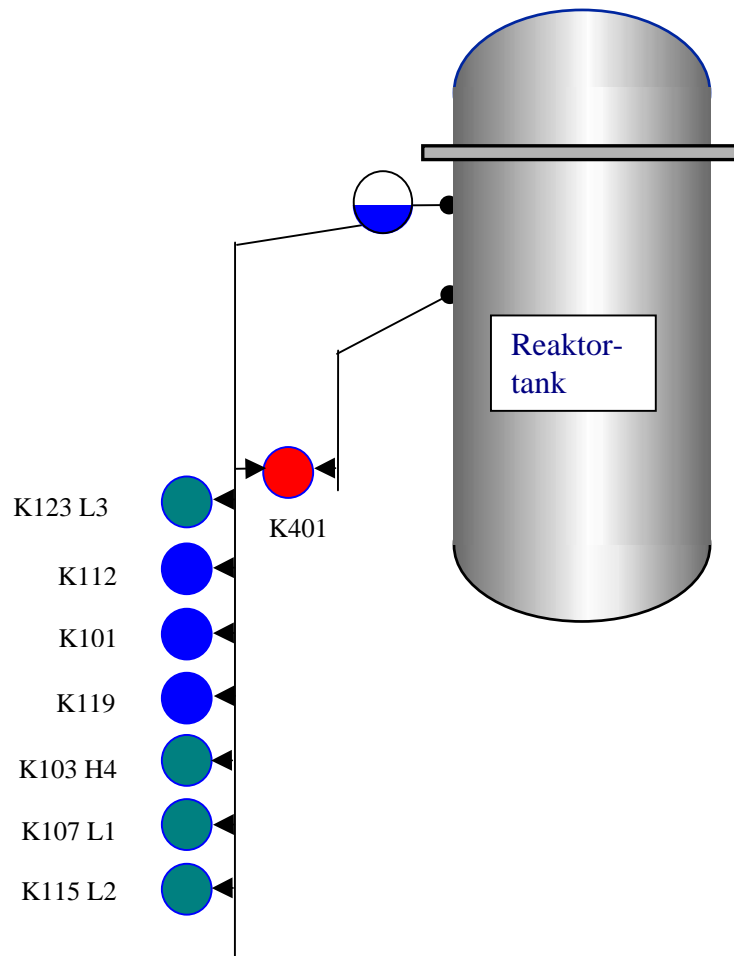
Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
211K112	5 - 76 barö	A	Rosemount 1151GP	0-10 V	Reaktortryck	
211K113	5 - 76 barö	B	Rosemount 1151GP	0-10 V	Reaktortryck	
211K114	5 - 76 barö	C	Rosemount 1151GP	0-10 V	Reaktortryck	
211K124	0 - 100 bar	B	H&B AZC200 15720	0-10 V	Reaktortryck	JA
211K101	0 - 100 barö	A	H&B AZC200	0-5 V	Reaktortryck	JA
211K119	64-79 barö	A	Rosemount 3051C smart	0-5 V	Reaktortryck	JA
211K401	-5.4 - +11.6 m	C	H&B AZI200-15780	5-0 V	Grovnivå R-tank	JA



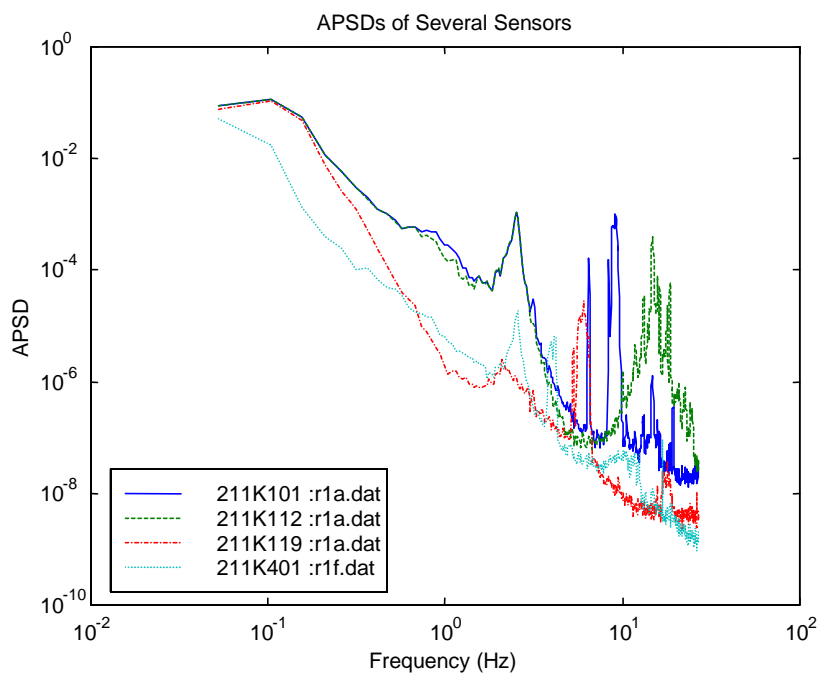
Figur 4.1 APSD för trycksignalerna 211K112, 211K113, 211K124 och 211K114 i Ringhals 1. Observera att transmittarna är anslutna till olika tryckuttag på reaktortanken. Mätdata från Ringhals 1, februari 2000.



Figur 4.2 Vattnet i impulsledningen i kombination med elasticiteten i transmitters membran utgör ett oscillerande mekaniskt system.



Figur 4.3 Trycktransmittrar (blå), tryckvakter (grön) och nivåtransmitter (röd) som är anslutna till impulsledningen med resonansfrekvensen 2,5 Hz i Ringhals 1.



Figur 4.4 Observera att resonansfrekvensen är den samma 2.5 Hz för samtliga transmitttrar som är anslutna till denna impulsledning. Ringhals 1, 2000.

5 Jäsningsvakter med och utan pulsationsdämpare

Ringhals 1 är instrumenterad med jäsningsvakter. Vakterna inkluderar analog mätning av differenstrycket mellan två i höjddled placerade tryckuttag på reaktortanken. Se Figur 5.1. Eftersom bägge tryckuttagen befinner sig på sådan nivå att ånga förekommer har de försetts med kondensationskärl. Av säkerhetsskäl omfattar instrumenteringen fyra redundanta mätkanaler 211K416, 211K417, 211K418 och 211K419, varav 211K419 är reservkanal. Transmitterarnas fabrikat och fysikaliska område framgår av Tabell 5.1. Instrumenteringen är uppdelad i tryckuttag på ömse sidor av reaktortanken, se Figur 5.1. Dessutom framgår det att transmitterarna har individuella impulsledningar. Resultatet blir att sensorparet 211K416 och 211K417 har samma tryckuttag och därför bör överensstämma. Samma sak gäller sensorparet 211K418 och 211K419 som också anslutits till gemensamma tryckuttag.

I samband med sensorundersökningen i februari 2000 genomfördes mätningar av jäsningsvaktsignalerna. I det sammanhanget registrerades 211K418 och 211K419 samtidigt. Och analysen av signalerna visade en tydlig avvikelse dem emellan. GSE:s tolkning var att reservkanalen 211K419 var felaktig, se Figur 5.2. APSD för de olika jäsningsvaktsignalerna finns återgivna i Figur 5.3. Det framgår tydligt i figuren att 211K419 avviker. Vid 1 Hz är APSD betydligt högre för 211K419 än för de övriga. I någon mån visar också figuren att 211K417 har ett APSD som ligger mellan 211K419 och de övriga.

Den efterföljande inspektionen i samband med RA-00 (Revisionsavställningen år 2000) av reaktorn visade att samtliga impulsledningar till jäsningsvakttransmitterarna var utrustade med pulsationsdämpare. Inspektionen visade dessutom att dessa innehöll rensnålar utom för 211K419 som helt saknade rensnålar. Dessutom framkom det att 211K417 saknade rensnål i en av impulsledningarna. Alla övriga impulsledningar till jäsningsvakterna innehöll rensnålar i bägge impulsledningarna.

Fynden med rensnålarna i pulsationsdämparna visade att GSE's ursprungliga tolkning där reservsignalen 211K419 bedömdes som felaktig hade en annan förklaring. Det är de övriga jäsningsvaktsignalerna som är otillbörligt filtrerade med rensnålarna i pulsationsdämparna medan reservsignalen 211K419 är acceptabel i responstid, se Figur 5.1.

De tidsserier som visas i Figur 5.2 är mycket intressanta. Två transmitterar av samma fabrikat anslutna till samma tryckuttag på reaktorn, se Figur 5.1, och som därför förväntas vara helt lika varandra – är olika. Och detta beror på att 211K418 har rensnålar till skillnad från 211K419 som saknar rensnålar. Pulsationsdämparen dämpar mycket tydligt de fluktuationer som gäller för differenstrycksignalen, se Figur 5.2. Den observerade skillnaden syns också tydligt i APSD för de olika signalerna, se Figur 5.3. 211K416 och 211K417 som har rensnålar har störst dämpning i APSD mellan 0,2 och 5 Hz. APSD för 211K417 som har rensnål i en impulsledning men inte i den andra ligger med sin APSD mitt emellan den som är helt utan och den som har rensnålar i bägge impulsledningarna.

I Figur 5.4 visas resultat från identifieringen av pulsationsdämparens dynamik med rensnålar i bägge impulsledningarna. Dynamiken beräknas genom att identifiera en

modell med 211K419 (saknar rensnålar) som insignal och 211K418 (har rensnålar) som utsignal. Detta kan göras eftersom de bägge transmittarna har samma tryckinsignal. Det övre diagrammet i Figur 5.4 visar insignalen (211K419) som funktion av tiden medan det undre diagrammet i samma figur visar utsignalen (211K418) – blå kurva, samt den identifierade signalen från modellen – röd kurva. Eftersom den verkliga utsignalen och modellens utsignal stämmer väl överens med varandra så är modellen en bra beskrivning av verkligheten. Stegsvarstesten av modellen visar att rensnålarna i 211K418 utgör en filtrering med tidskonstanten = 0,55 s.

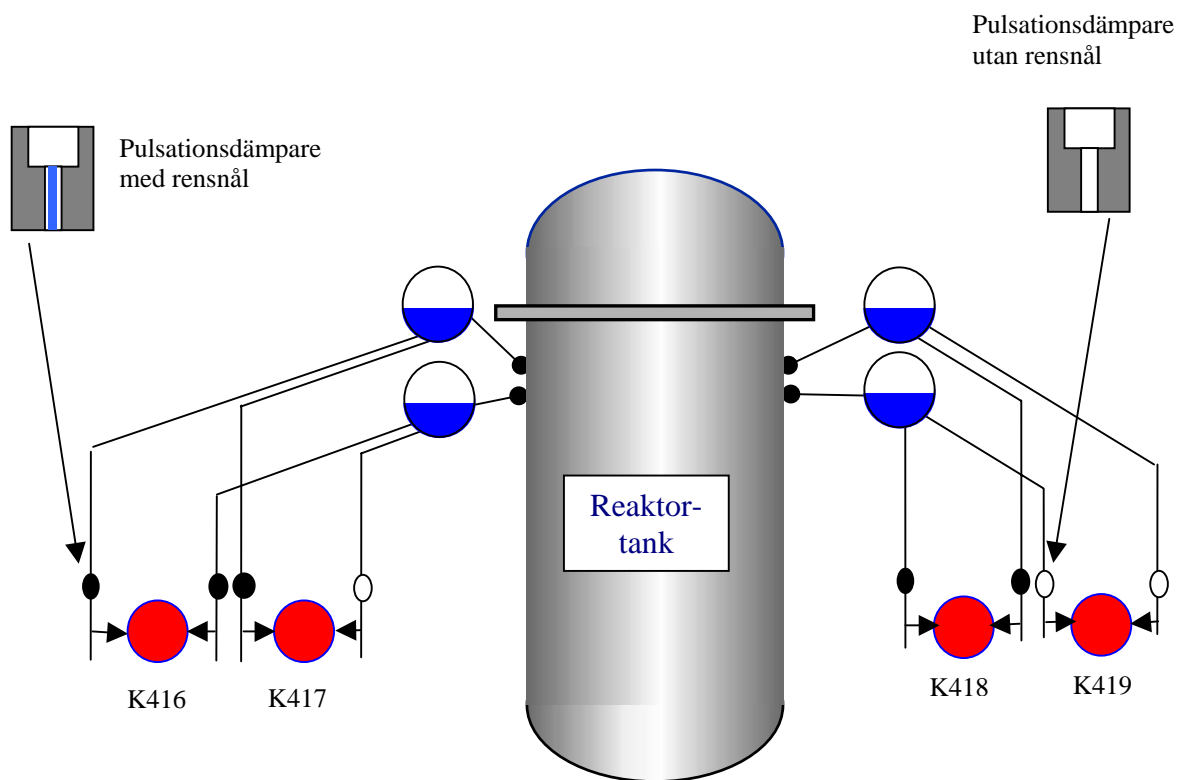
Fyndet med rensnålarna ledde till en grundlig undersökning som genomfördes av Ringhals. Då framkom att jäsningsvakterna inte hade den reaktionstid som förväntades med hänsyn till deras uppgift i säkerhetssystemet. Händelsen behandlades som en RO (Rapportervärd Omständighet) med INES nivå 1, med rubriken: ”För lång responstid på grund av felaktigt inkopplade pulsationsdämpare i transmittar för jäsningsvakter.”

Under RA-00 plundrades därför samtliga pulsationsdämpare på rensnålarna för att förkorta reaktionstiden för mätsignalerna. Jäsningsvaktsignalerna 211K418 och 211K419 presenteras som funktion av tiden i Figur 5.6, från en förnyad mätning i mars 2001. Enligt figuren är det nu god överensstämmelse mellan signalerna. Det är således uppenbart att åtgärden gav förväntat resultat.

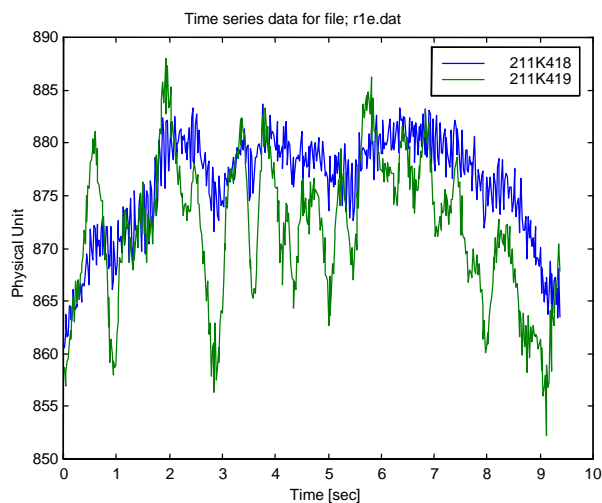
En jämförelse mellan APSD beräknat före och efter plundringen av rensnålar visas i Figur 5.7. Resultatet är tydligt. För mätningarna i mars 2001 är alla APSD odämpade till skillnad från de APSD med rensnålar som visas från mätningen i februari 2000. Och mitt mellan dessa spektra ligger APSD för 211K417 med en rensnål från mätningen år 2000.

Tabell 5.1 Transmitterfabrikat, mätområde och så vidare för de signaler som analyseras i Kapitel 5. Ringhals 1.

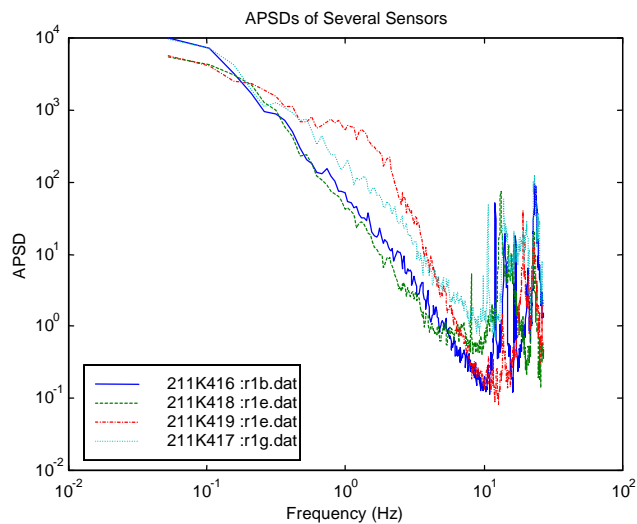
Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
211K416	0 - 950 mmvp	A	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt	JA
211K417	0 - 950 mmvp	C	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt	JA
211K418	0 - 950 mmvp	B	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt	JA
211K419	0 - 950 mmvp	D	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt Res.	JA



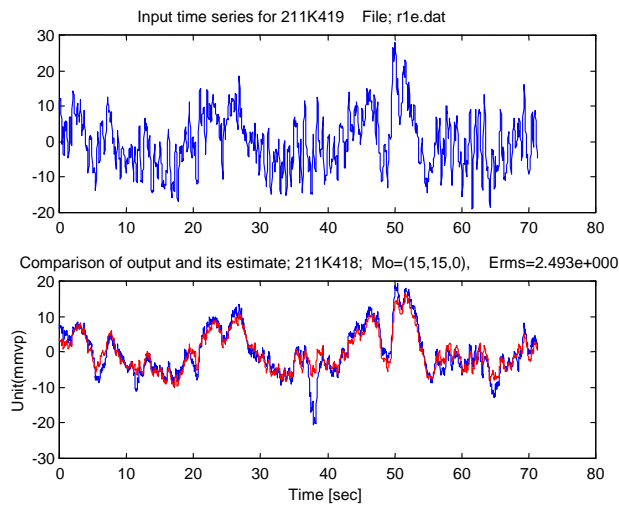
Figur 5.1 Instrumenteringen med jäsningsvakter i Ringhals 1.



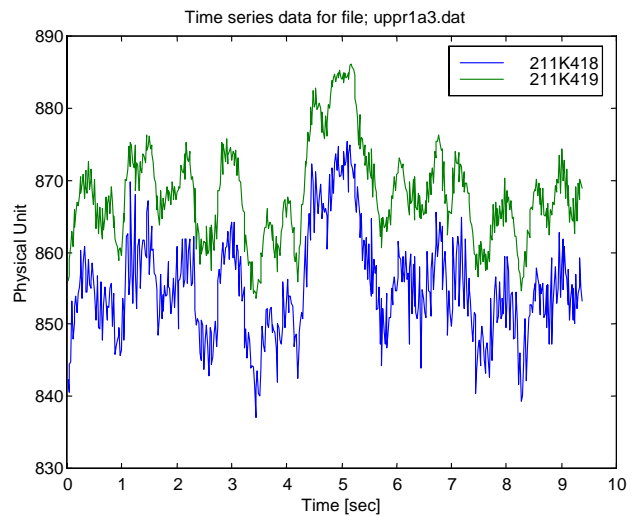
Figur 5.2 Jäsningsvaktsignalerna 211K418 och 211K419 som funktion av tiden. Ringhals 1, februari 2000.



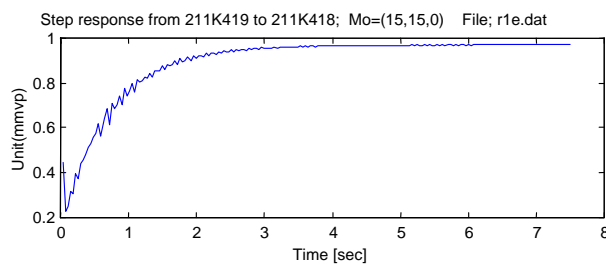
Figur 5.3 APSD för de fyra jäsningsvaktsignalerna. Ringhals 1, februari 2000.



Figur 5.4 Processidentifiering med 211K419 som insignal och 211K418 som utsignal. Ringhals 1, februari 2000.



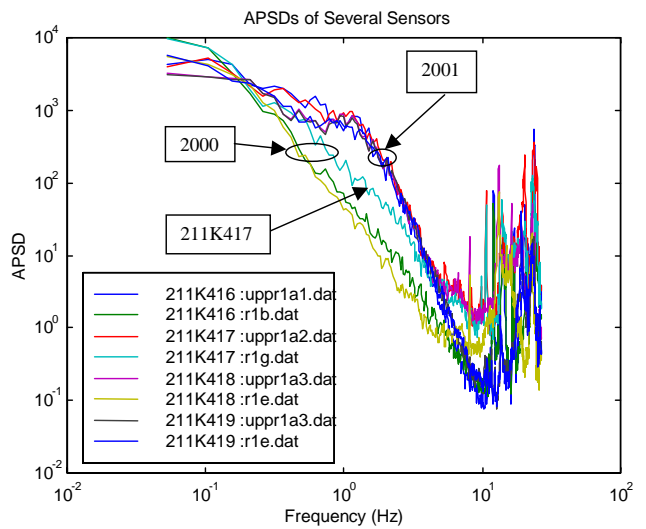
Figur 5.6 Jäsningsvaktsignalerna 211K418 och 211K419 utan rensnålar. Ringhals 1, mars 2001.



- Response characteristic parameters

Time const	: 0.55531 (sec)	PK overshoot	: 0 (%)
Rise time	: 1.4956	Final value	: 0.96953
Peak time	: Inf	Init data	: 100
Settle time	: 1.95	No data	: 587
Peak value	: 0.96963	Sampl Frq.	: 26.6667 (Hz)

Figur 5.5 Stegsvartest av den identifierade modellen. Tidskonstanten = 0,55 sekunder. Ringhals 1, februari 2000.



Figur 5.7 APSD för jäsningsvaktsignalerna före och efter plundringen av rensnålarna. Ringhals 1 år 2000 och 2001.

6 Pulsationsdämpare i jetpumpflödesmätning vid KKM

Vid KKM genomförs sensorundersökningar varje år av ett stort antal sensorer. De årliga undersökningarna pågår sedan 1994 och de senaste åren har antalet ingående sensorer överstigit 350 stycken.

Reaktorns härdkylflöde drivs med interna jetpumpar som är 12 till antalet och fördelade i en ring i härdens periferi, se Figur 6.1, som presenterar en förenklad bild av reaktorn med jetpumparna. Bilden ingår i SensBase™ – GSE:s utvecklade databas för lagring och användning vid KKM. SensBase™ omfattar 23 grafiska bilder, var och en med en egen display med samhörande sensorer, liknande Figur 6.1. Som framgår av figuren symboliseras varje transmitter av en knapp. Och genom att trycka på knappen får användaren tillgång till sensortestresultaten som lagrats i databasen.

Eftersom jetpumparna har flödesmätare av typen differenstryck som är utrustade med pulsationsdämpare är det av speciellt intresse att undersöka om det av åldringsskäl förekommer ökande flödesmotstånd i dämparna. Den mekaniska filtreringen som en pulsationsdämpare har leder till att amplituden hos signalen minskar. Ett statistiskt mått på amplituden är standardavvikelsen. En ökad dämpning leder alltså till minskande standardavvikelse.

Ändringar i filtreringen kan i detta fall mycket enkelt studeras med SensBase™. I Figur 6.2 presenteras fönstret med medelvärdet för den i detta fall valda transmittern MF040F. Visningen av resultatet sker med stapeldiagram för medelvärdet av jetpumpflödet från år 1998, 1999, 2000 och 2001. Flödet har varit förhållandevis konstant omkring 1000 kg/s vid de olika mättillfällena. Standardavvikelsen för motsvarande årtal visas också för sensorn MF040F. Detta mått är också förhållandevis konstant från år till år nämligen 3-3,5 kg/s.

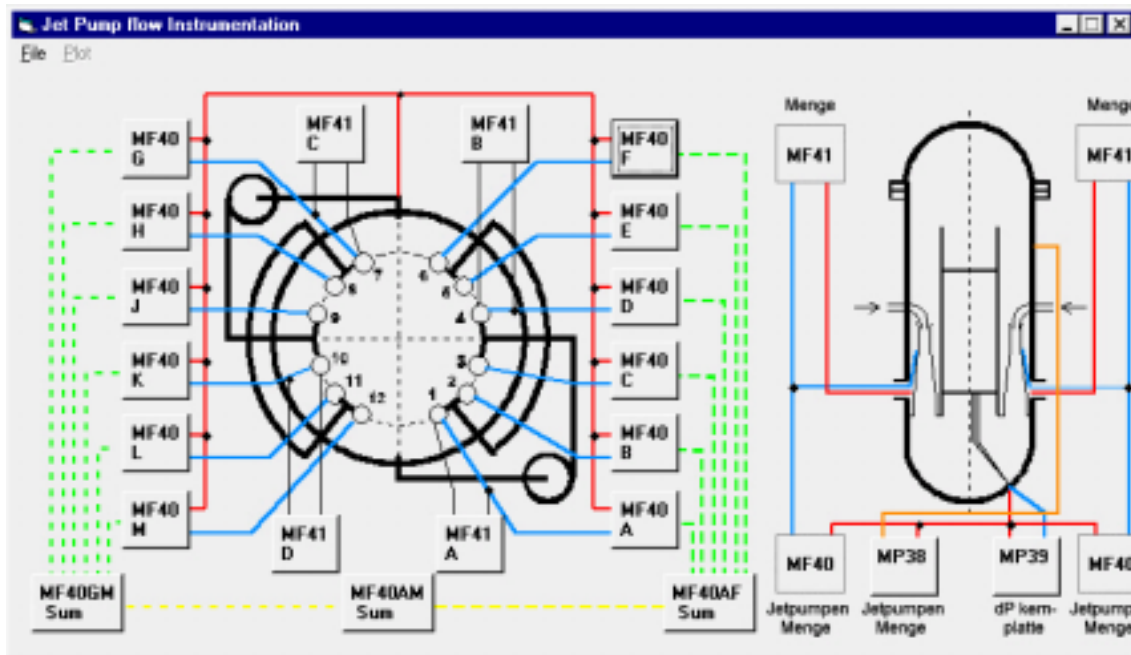
Om det nu skulle förekomma ökande blockering i pulsationsdämparen exempelvis på grund av orenhet i impulsledningsvattnet så skulle standardavvikelsen för signalen minska från år till år när det står klart att medelvärdena varit konstanta. Eftersom standardavvikelsen är konstant bedöms mätsystemet vara intakt utifrån denna frågeställning.

SensBase™ innehåller många statistiska parametrar, som exempel kan nämnas:

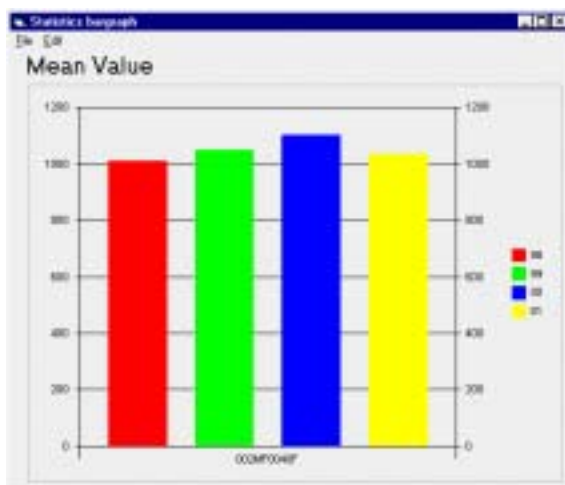
- Kort tidserie (30 s) av mätningen
- APSD
- Histogram med medelvärde, standardavvikelse, skevhet och kurtosis
- Tidskonstant
- Multipel sensorinformation i tidsplanet med förstärkning, offset och amplitudförhållande.

Med hjälp av dessa statistiska mått kan jämförelser göras för multipla sensorer i frekvensplanet med APSD och i tidsplanet med förstärkning, offset och amplitudförhållande.

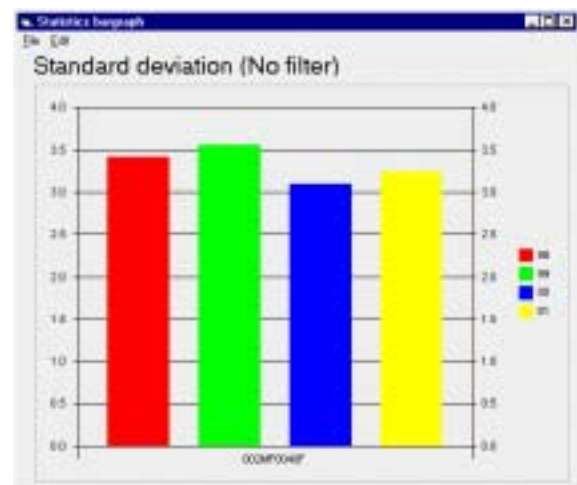
Dessutom kan tidskonstanter jämföras för de olika komponenterna. Genom att använda databasens parametrar och göra jämförelser över tiden för en sensor kan trender avslöjas som har med åldring att göra.



Figur 6.1 Instrumenteringen för Jetpumpflödesmätningen vid KKM. Bild ur SensBase™ – GSE:s databas för sensortestresultat.



Figur 6.2 Stapeldiagram för jetpumpflödet MF040F från mätningarna från KKM 1998, 1999, 2000 och 2001.



Figur 6.3 Stapeldiagram för standardavvikelsen för jetpumpflödet MF040F från mätningarna från KKM 1998, 1999, 2000 och 2001.

7 Pulsation hos en nivåtransmitter med påverkan på andra

I Kapitel 4 presenterades resultat från Ringhals 1 där oscillationer förekom hos trycksignaler. Tolkningen är att svängningarna uppstår på grund av resonans med vattenpelaren i impulsledningen som massa och elasticiteten i transmittern som fjäderkonstant. Bedömningen är att de tre olika resonansfrekvenserna som konstaterades i Ringhals 1 är ett resultat av olika längd hos impulsledningarna.

I föreliggande kapitel presenteras resultat från KKM i Schweiz där en mycket tydlig oscillation i nivå- och tryckmätsystemet identifierades och åtgärdades.

Den centrala delen av reaktortryck och nivåmätsystemet framgår av Figur 7.1. Bilden är en del av SensBase™ grafiska presentation. Tryckkuttagen på reaktortanken är fyra på varje sida om reaktorn och en på toppen av reaktorn. De 5 översta uttagen har kondensationskärl. Reaktorn togs i drift tidigt 70-tal och denna generation av reaktorer är designade med få tryckkuttag. Och detta innebär att flera instrument är kopplade till samma impulsledning. Impulsledningarna vid KKM har ritats med färgade linjer i Figur 7.1 och transmittarna har tangentutförande med uppgift om namn på respektive mätpunkt.

År 1994-1995 konstaterades att ett flertal transmittersignaler hade oscillationer med 2 Hz. Dessa har markerats med en röd punkt i Figur 7.1. Av figuren framgår det att de transmittar som påverkas väsentligen är på vänster sida om reaktorn. Signalanalysen visade att högst amplituder observerades för nivåtransmittarna ML93 och ML94A. Undersökningen visade också att trycksignalerna MP92 och MP30A var koherenta och i motfas vid frekvensen 2 Hz. Det fanns också en betydande koherens mellan tryck- och nivåsignalerna och detta är onormalt eftersom nivåsignalen registrerar differensstrycket.

Schemat över instrumenteringen i Figur 7.1 visar att ML93 och ML94A bägge är anslutna till samma impulsledningar (blå och gul). Det framgår också att de transmittar som registrerar 2 Hz svängningen antingen är anslutna till blå eller gul impulsledning.

Den bedömning som gjordes var att 2 Hz svängningen orsakades av membran-svängningar antingen i transmittern ML93 eller ML94A främst beroende på att dessa hade högst amplitud. De bägge oscillerande signalerna presenteras som funktion av tiden i Figur 7.2 efter reduktion av signalernas medelvärden. Figuren visar att amplituden är påtagligt överensstämmande mellan de bägge signalerna.

7.1 Beslut att stänga ventiler på impulsledningarna till ML93 och ML94A

Våren 1996 beslutades att ett experiment skulle genomföras för att avgöra orsaken till 2 Hz svängningen. Under normal drift av reaktorn beslöts att de manuella ventiler som installerats i direkt anslutning till de misstänkta transmittarna skulle stängas en i taget under samtidig mätning av ML93, ML94A, MP30A och MP92.

Resultatet av stängningen framgår av Figur 7.3 som visar signalerna för ML93 och ML94A som funktion av tiden. Den översta av figurerna visar ML93 och när dess ventil A stängs så blir nivåsignalen väsentligen konstant. Dock med något förhöjt medelvärde än det som gäller före och efter perioden med ventilstängning. I Figur 7.4 visas de bägge nivåsignalerna med expanderad tidsskala. Det intressanta är att ML94A påverkas av att ventilen A stängs. Figur 7.4 visar tydligt att signalinnehållet hos ML94A förändras från att ha innehållit en svängning med 2 Hz till ett betydligt högfrekventare brus efter stängningen av ventilen.

Ungefär vid tiden 350 sekunder i Figur 7.3 stängs ventil B. Detta framgår av signalen ML94A som väsentligen minskar i brusamplitud och som samtidigt får ett tydligt förhöjt medelvärde så länge som ventilen är stängd. I expanderad tid visas förloppet med stängning av ventil B i Figur 7.5. Det som är tydligt är att ML93 påverkas inte av att ventilen B stängs. Oscillationen hos ML93 fortsätter obehindrat.

För att utvärdera experimentet använder vi APSD funktionen för signalerna. I Figur 7.6 har APSD beräknats för ML94A med fast längd hos vald tidsserie som sedan har förskjutits för att så småningom komma in i den tidsperiod som innehåller stängningen av ventil A. Resultatet är tydligt. I början av tidsserien när ventil A och B bägge är öppna har APSD en skarp resonans vid 2 Hz och sedan dämpning för frekvenser mellan 2 och 10 Hz. När sedan ventilen A stängs släcks 2 Hz toppen hos spektrum ut samtidigt som APSD ökar i intervallet 2 till 10 Hz. Observera att transmittern ML94A egentligen inte har något att göra med stängningen av ventil A, se Figur 7.1. Resultatet är tydligt. Med stängningen av ventil A isoleras transmittern ML93 från den ena impulsledningen och då upphör 2 Hz svängningen. Samtidigt som detta sker så ökar bruset i impulsledningen för höga frekvenser. Allt talar redan nu för att ML93 är orsaken till oscillationerna vid 2 Hz.

Motsvarande beräkning av APSD för ML93 visas i Figur 7.7 för tidsserier före och under stängningen av ventil B. Resultatet i frekvensplanet är entydigt. ML93 påverkas inte av ventilstängningen. Detta resultat betyder att ML94A inte är orsaken till de observerade svängningarna.

I Figur 7.10 presenteras en tredimensionell bild av APSD för ML94A signalen under experimentet med stängning av ventilen A. Spektra för signalen har beräknats med tiden som en tredje dimension. I den tredimensionella figuren är x-axeln – frekvensen, y-axeln - tiden och z-axeln - APSD. Även denna bild visar det som sagts att i början och slutet av mätningen när ventil A är öppen så har APSD för ML94A en tydlig resonans vid 2 Hz. Figuren visar också den tydliga dämpning som spektrum har mellan 2 och 10 Hz när ventil A är öppen. När sedan ventilen stängs ungefär vid tiden 200 sekunder i den tredimensionella figuren så är 2 Hz toppen i spektrum utsläckt samtidigt som APSD för frekvenserna mellan 2 och 10 Hz väsentligt ökat.

Tolkningen är att transmittern ML93 med sin konstruktion ger de oscillationer som observeras och som samtidigt dämpar det högfrekventa brus som reaktortrycket ger via impulsledningens vatten. Det intressanta är att en transmitter genererar dessa svängningar och 8 transmitttrar registrerar oscillationerna via de gemensamma impulsledningarna. Se Figur 7.1 där transmitttrarna som påverkas av svängningen noterats med en röd markering. Alla utom ML94B och MP92 har det gemensamt att de är anslutna till den blå impulsledningen och är därmed påverkbara av ML93. ML94B och MP92 påverkas av ML93 via den gula impulsledningen, se Figur 7.1.

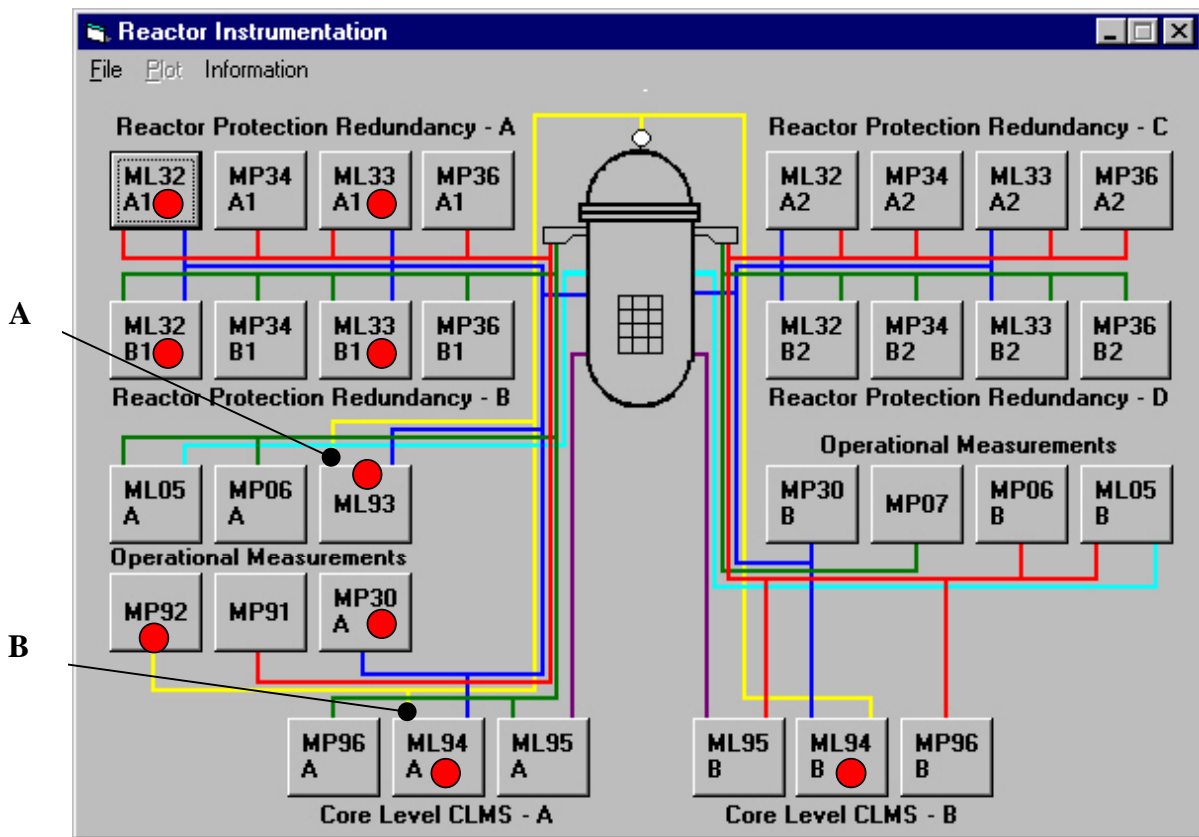
7.2 Byte av transmitter ML93

Den befintliga transmittern var en Bartoncell av typen TDHZ 224 med stor volym och förhållandevis stort displacement. Se Figur 7.8 som visar transmitters mekaniska del i genomskärning. Observera speciellt bälgsystemet med fjädrarna i mitten av konstruktionen. Transmittern ML94A är av typen Membran-Zelle 050 och dess konstruktion framgår av Figur 7.9. Den har mindre volym än Bartoncellen och en modernare konstruktion.

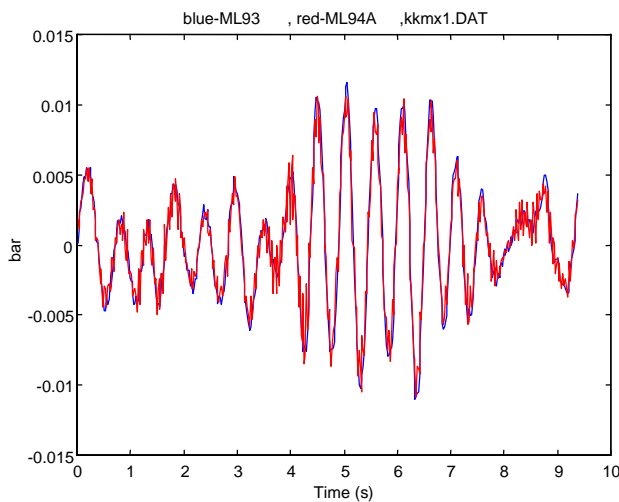
Under revisionsavställningen 1996 ersattes ML93 av en ny transmitter. Den nya transmittern är av typen Membran-Zelle 080 och dess konstruktion liknar Membran-Zelle 050, se Figur 7.9. Bytet av transmittern löste problemet med svängningarna vid 2 Hz.

Med hjälp av SensBase™ visas resultatet av transmitterbytet. APSD för nivåsignalen ML93 visas med data från 1996 – 2001 i Figur 7.11. År 1996 har ML93 den tydliga resonansen vid 2 Hz men för alla de följande årtalen är resonanstoppen utplånad. På samma sätt framgår det att åtgärden var framgångsrik i Figur 7.12 som presenterar APSD för ML94A. Även här försvinner resonansen för årtalen efter 1996. Till slut bekräftas att också ML33B1, har en påverkan hos APSD vid 2 Hz som försvinner efter bytet av transmittern ML93, se Figur 7.13. Positionen hos transmittern ML33B1 i instrumenteringen framgår av Figur 7.1. Påverkan sker via den blå impulsledningen.

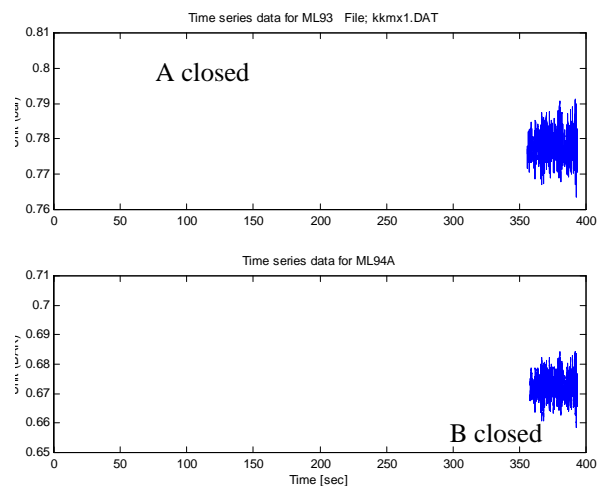
Det som är värt att notera är att dämpningen av ML94A i frekvensintervallet 3-10 Hz försvinner efter bytet av transmittern ML93. Dämpningen orsakas av elasticiteten hos ML93 och detta medför att ML94A blir marginellt snabbare i responstid efter bytet av transmittern ML93.



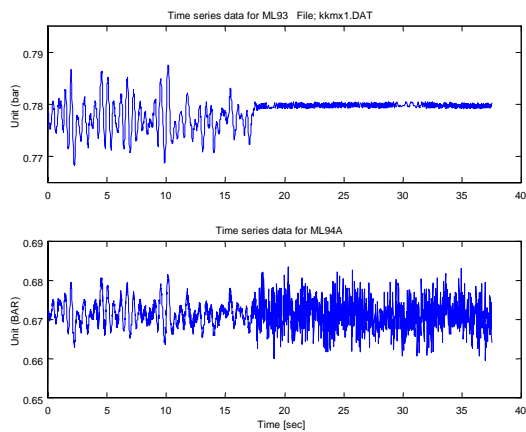
Figur 7.1 Reaktortryck och nivåinstrumenteringen vid KKM – bild ur SensBase™. Transmittorna återges med tryckknappsfunktion. Genom att aktivera en eller flera knappar blir sensoranalysresultaten åtkomliga. De knappar som markerats röda representerar transmittor som påverkats av 2 Hz svängningen.



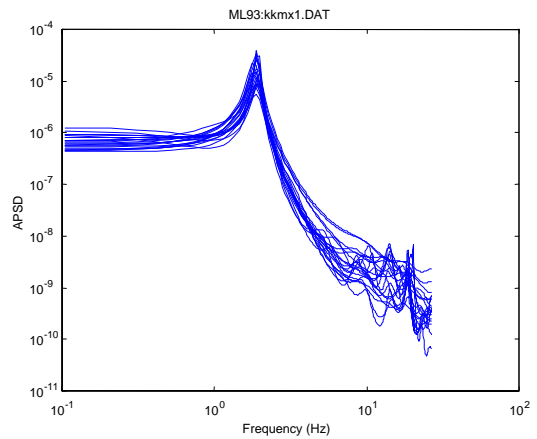
Figur 7.2 ML93 och ML94A som funktion av tiden vid KKM.



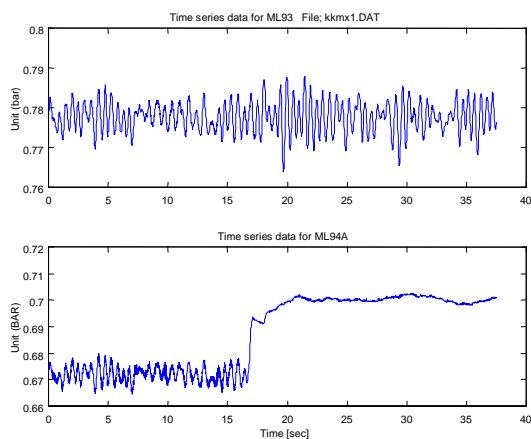
Figur 7.3 Experiment vid KKM med stängning av ventil A och B.



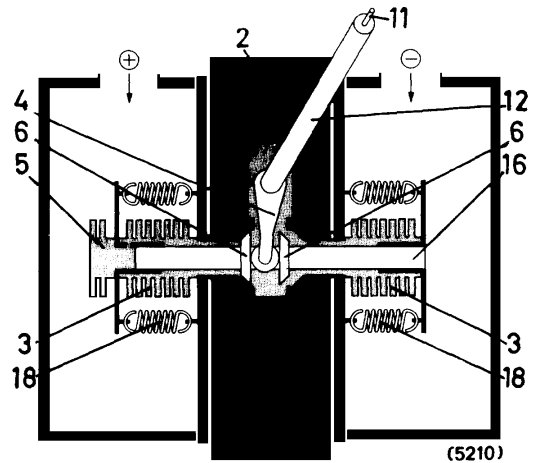
Figur 7.4 ML93 och ML94A som funktion av tiden vid stängning av ventil A vid KKM.



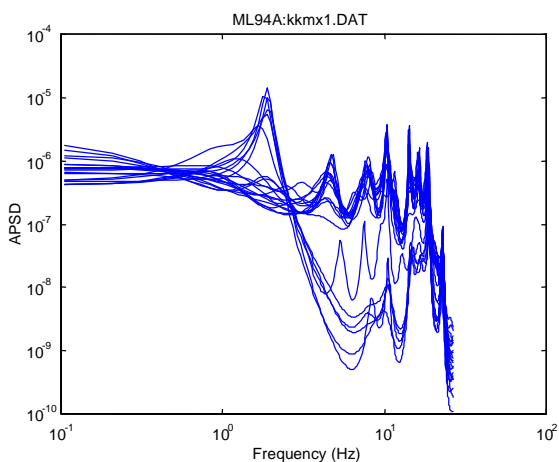
Figur 7.7 APSD för ML93 vid stängningen av ventil B vid KKM.



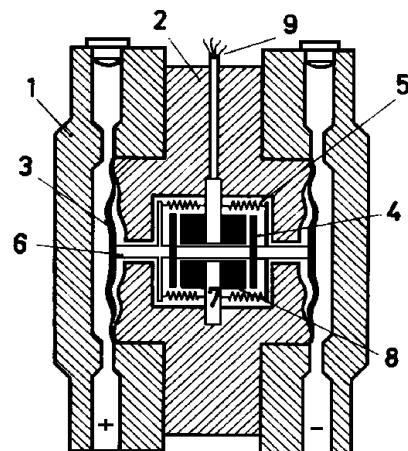
Figur 7.5 ML93 och ML94A som funktion av tiden vid stängning av ventil B vid KKM.



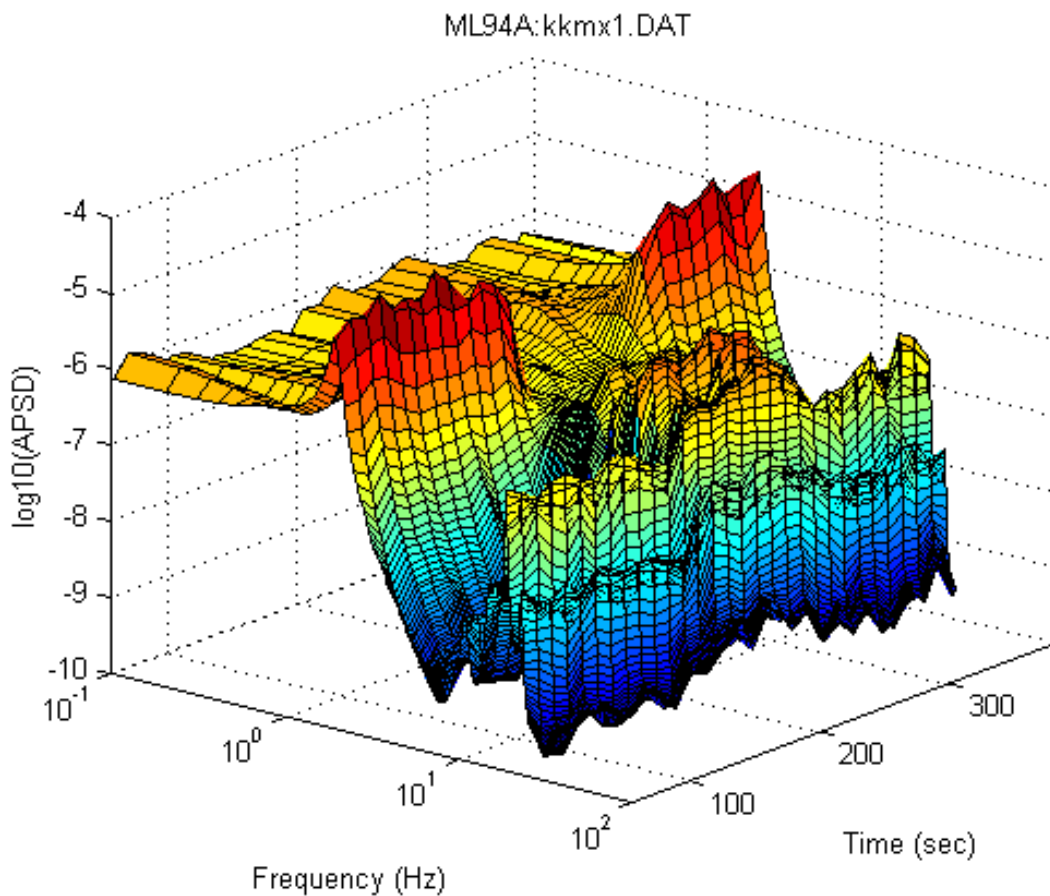
Figur 7.8 Transmittern ML93 som orsakade svängningarna vid 2 Hz. Barton-Zelle TDHZ 224.



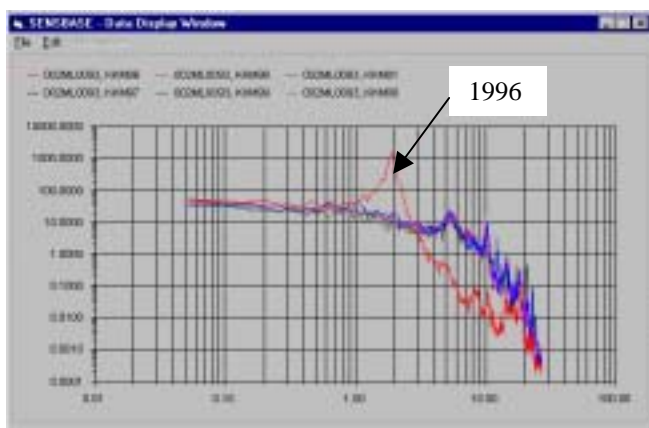
Figur 7.6 APSD för ML94A vid stängning av ventil A vid KKM.



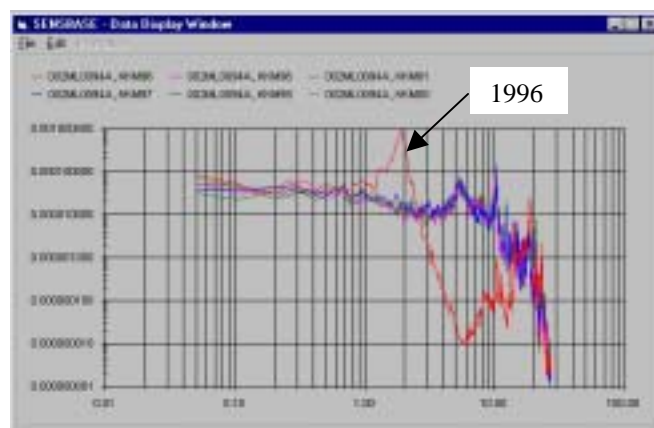
Figur 7.9 Transmittern ML94A Membran-Zelle 050.



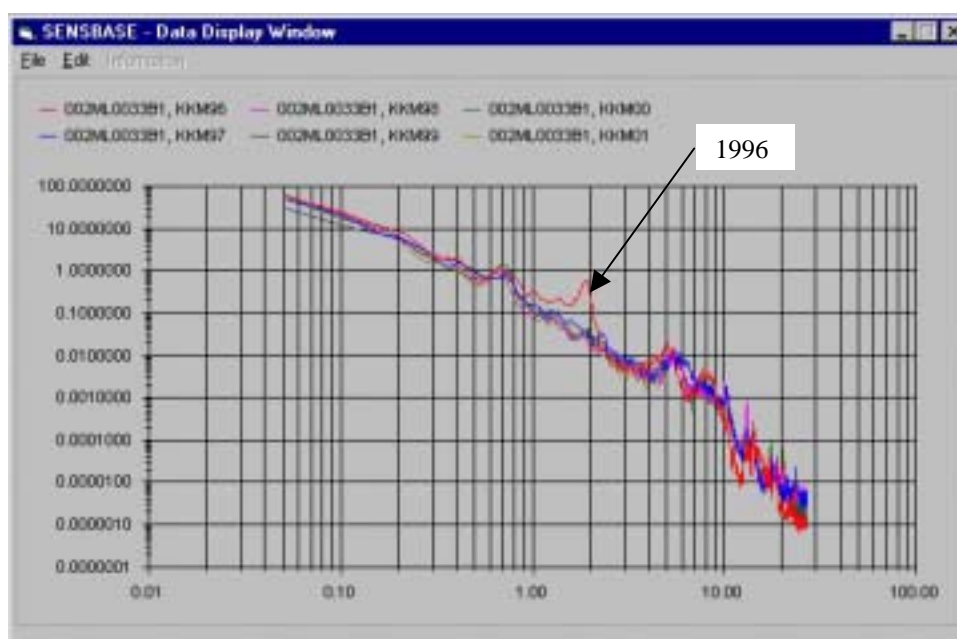
Figur 7.10 APSD för ML94A under experimentet med ventilstängning A. APSD har beräknats för begränsad tid som successivt förskjutits. 2 Hz resonansen syns som en röd bergskam i början och slutet av mätningen. Vid stängningen av ventilen utplånas 2 Hz resonansen samtidigt som APSD mellan 3 och 10 Hz ökar. Data från KKM.



Figur 7.11 APSD för ML93 för åren 1996-2001. Resultat med SensBase™ från KKM.



Figur 7.12 APSD för ML94A för åren 1996-2001. Resultat med SensBase™ från KKM.



Figur 7.13 APSD för ML33B1 för åren 1996-2001. Resultat med SensBase™ från KKM.

8 Reaktortryck och -nivå med 10 Hz brus

Det är inte ovanligt att reaktortryck och -nivåsignaler innehåller brus vid 10 Hz. Orsaken till bruset kan vara processen, mätsystemet eller vibrationer i impulsledningarna. Och ibland är det en kombination av flera källor.

I Figur 8.6 återges APSD för två multipla reaktortryckssignaler MP34A2 och MP36A2 som registrerats vid KKM. Tryckgivarna är monterade på samma impulsledning. Se Figur 7.1. De återfinns till höger om reaktortanken i figuren och är anslutna till den röda impulsledningen. Transmitterarna har således samma tryckinsignal. Och resultatet är mycket god överensstämmelse mellan de bägge signalerna. Även det brus som förekommer vid 10 – 20 Hz överensstämmer. Om detta brus exempelvis orsakas av vibrationer på den gemensamma impulsledningen så återger transmitterarnas signaler detta på samma sätt. Något unikt mät- eller transmitterbrus förekommer inte hos dessa transmitterar.

Två transmitterar av samma fabrikat har således möjlighet att återge överensstämmande APSD upp till 20 Hz när de har ett gemensamt tryck via samma impulsledning.

I Figur 8.2 visas APSD för jämningsvaktsignalerna 211K418 och 211K419 i Ringhals 1, 2001. Signalerna är fullständigt överensstämmande upp till 5 Hz. Sedan framgår det att 211K418 har väsentligt högre APSD än 211K419 i frekvensintervallet 5-15 Hz. Över denna frekvens, det vill säga mellan 15 och 20 Hz, är det på nytt överensstämmelse mellan APSD. I Figur 5.1 återges mätsystemets konstruktion. Transmitterarna har olika impulsledningar men de är anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken. De är också av samma fabrikat S&F TDE 250. En rimlig tolkning är att det är olika vibrationer hos

impulsledningarna till 211K418 och 211K419 som ger det avvikande bruset mellan 5 och 15 Hz.

I Figur 8.1 återges APSD för tre trycksensorer som är anslutna till samma impulsledning. Se också Figur 4.3 där instrumenteringen framgår. De tre transmittarna är av olika fabrikat och de har följande mätpunktsidentitet: 211K112 med Rosemount 1151, 211K101 med AZC200 och 211K119 med Rosemount 3051 smart. Alla dessa APSD har olika mönster mellan 5 och 20 Hz trots att de har en gemensam impulsledning. Tolkningen här är att avvikelsen beror på att transmittarna har olika egenskaper och att de vibrationer som förekommer på impulsledningen därigenom har olika påverkan.

8.1 Experiment vid KKM med impulsledningsvibrationer

Ett experiment med frågeställningen om bruset vid 10 Hz har genomförts vid KKM. Orsaken var att två transmittar bytts ut på grund förhöjt brus mellan 5 och 10 Hz i jämförelse med multipla transmittersignaler. Deras mätpunkter var MP34B2 och MP211A. Dessa två transmittar samt en Referenstransmitter har anslutits till en gemensam impulsledning i laboratorium, se Figur 8.3 som visar utrustningen. Via den gemensamma vattenfyllda impulsledningen har transmittarna trycksatts till 68 bar. Därefter har mätningen av transmittersignalerna inletts, se Figur 8.4. Vid upprepade tillfällen under mätningen har sedan knackning skett på impulsledningen för att skapa vibrationer. Av mätserierna i Figur 8.4 framgår det att de vibrationer som uppstår återges olika med de tre transmittarna.

Av APSD för signalerna som visas i Figur 8.5 framgår det att vibrationerna ger kraftiga resonanstoppar strax över 10 Hz. Det är intressant att notera att detta stämmer mycket väl överens med iakttagelserna från verken, se Figur 8.1, 8.2 och 8.6. Experimentet vid KKM stöder hypotesen att det kan vara vibrationer på impulsledningen som ger resonanstopparna strax över 10Hz.

Experimentet vid KKM visar också att transmittarna som i detta fall är av olika fabrikat är olika känsliga för vibrationer. Högst APSD konstateras för MP211A som är av typen AVC200, därefter MP34B2 som också är av typen AVC200 och sedan referenstransmittern som i detta fall är av fabrikat Rosemount 1151.

Det som kanske förtjänar att upprepas är att transmittarna bytts ut på grund av observerat förhöjt brus i frekvensområdet 5-15 Hz. Det kan därför inte uteslutas att transmitters känslighet för vibrationer hos impulsledningen ökar vid åldring. Och att förhöjt APSD vid 5-15 Hz kan vara ett tecken på åldring hos transmittern. Här behöver ytterligare systematiska undersökningar genomföras.

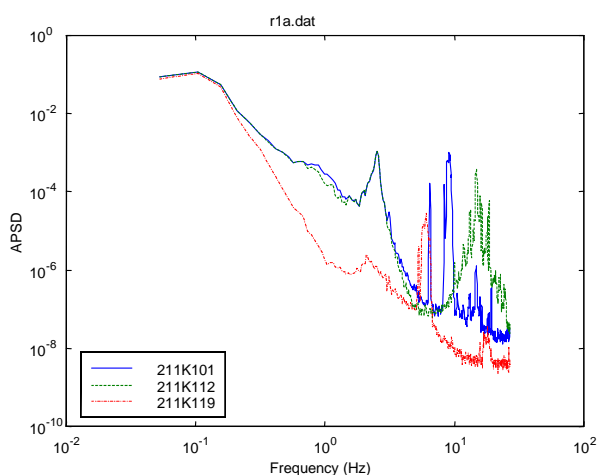
8.2 MP34B2 före och efter bytet av transmitter observerat med SensBase™

Avslutningsvis presenteras resultat för rektortryck MP34B2 med hjälp av SensBase™ före och efter bytet av den transmitter som testats i avsnitt 8.1. MP34B2 är ansluten till samma impulsledning som transmittern MP36B2, se Figur 7.1. APSD för dessa transmittersignaler förväntas därför vara överensstämmande. Så var det dock inte vid

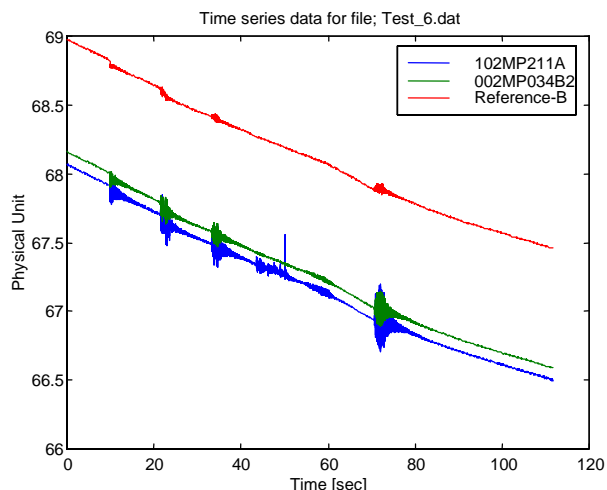
den årliga sensorundersökningen under våren 2000. APSD för signalerna skiljer sig åt speciellt vid frekvenser mellan 2 och 20 Hz, se Figur 8.7.

Detta förhållande gjorde att transmittern byttes ut under revisionen år 2000. Resultatet av åtgärden finns att hämta bland informationen i SensBase™. APSD för de bägge mätpunkterna MP34B2 och MP36B2 för år 2001 återges i Figur 8.8. Och nu är som synes överensstämmelsen återställd mellan de bägge spektra. De är i stort sett identiska även vid högre frekvenser.

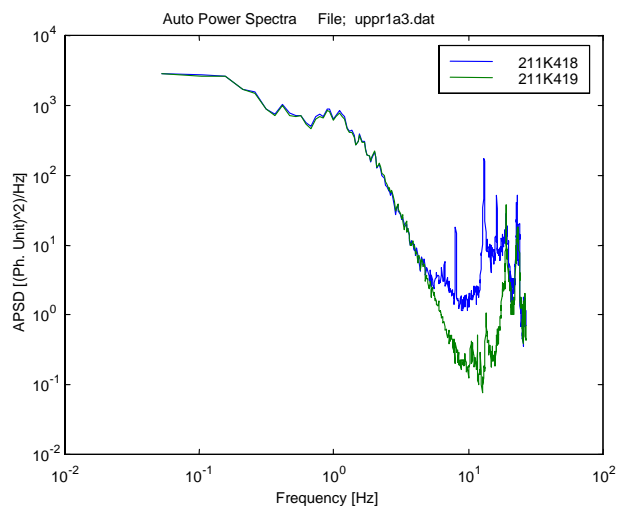
Den utbytta transmittern MP34B2 sändes slutligen till service där det konstaterades att transmitterns mekaniska del var defekt samt att den uppvisade nollpunktsfel.



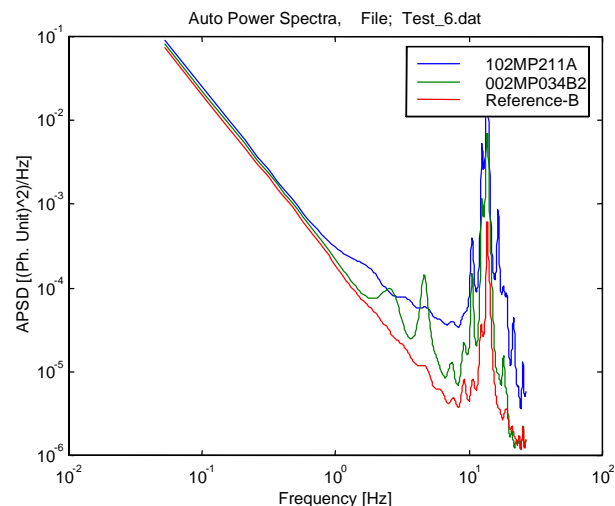
Figur 8.1 APSD för reaktortryck från tre sensorer i Ringhals 1.



Figur 8.4 Återkommande knackning på den gemensamma impulsledningen vid experimentet i KKM.



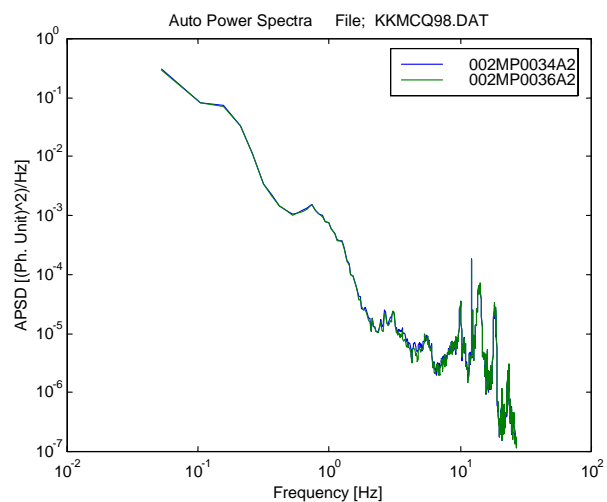
Figur 8.2 APSD för två Jäsningvakt-signaler i Ringhals 1, 2001.



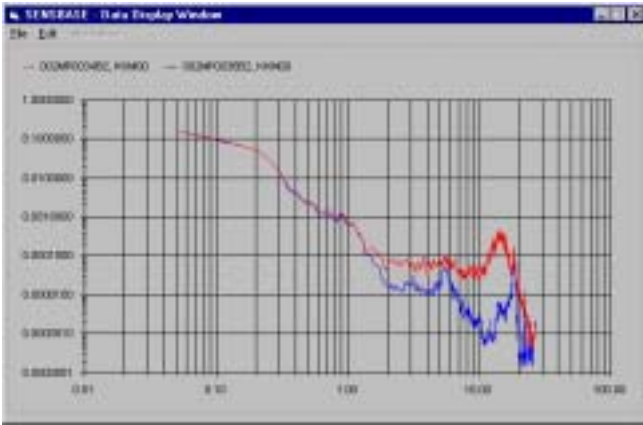
Figur 8.5 APSD för trycksignalerna under experimentet vid KKM.



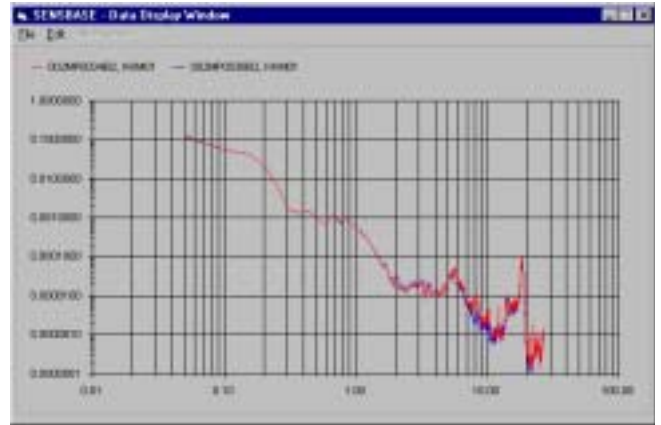
Figur 8.3 Laboratorietest av tre tryckgivare vid KKM.



Figur 8.6 APSD för multipla trycksignaler registrerade i KKM.



Figur 8.7 APSD för MP34B2 (röd) och MP36B2 (blå) år 2000. Före bytet av transmittern MP34B2.



Figur 8.8 APSD för MP34B2 (röd) och MP36B2 (blå) år 2001. Efter bytet av transmittern MP34B2.

9 Slutsatser

Impulsledningarna som är mekaniskt passiva komponenter kan reducera responsnabbheten hos ett mätsystem utan att den statiska visningen avviker. Rapporten nämner praktiska fall i kärnkraftverk där impulsledningens dynamik har förändrats, mätt som en tidskonstant, från 0,1 sekunder som är normal responstid till 5 sekunder. Detta har inträffat på grund av gradvis blockering i impulsledningen. Det finns i dag bara en teknik för att undersöka impulsledningens dynamik och det är signalanalys. Genom att mäta transmittersignalen och analysera den på lämpligt sätt kan filtreringar avslöjas oavsett om de förekommer i impulsledningen, transmittern eller efterföljande instrumentkomponenter.

Med exempel från Ringhals 1 visas ett praktiskt fall där pulsationsdämpare med så kallade rensnålar använts. Deras påverkan på responsegenskaperna hos mätsignalen motsvarade en tidskonstant = 0,55 s. Genom att plundra pulsationsdämparna på rensnålarna kunde responstidskraven för dessa mätsystem uppfyllas.

Med resultat från KKM presenteras hur man kan övervaka att transmittar inte drabbas av blockering i impulsledningarna. Exempel visas med en transmitt för flödesmätning som är utrustad med pulsationsdämpare. Det är resultat från SensBase™ – GSE:s databas för sensorprovning, som nyttjas i detta arbete. SensBase™ lagrar nya sorttestresultat varje år. Och på så sätt kan även verkan av åldring upptäckas. Genom att SensBase™ används har kärnkraftsinspektionen i Schweiz godkänt att KKM utför kalibrering av transmittar i väsentligt mindre omfattning än tidigare.

Ett exempel visas också från KKM där oscillationen hos en nivåtransmitt av typen Bartoncell påverkade ett stort antal transmittar som var anslutna till de gemensamma impulsledningarna. Via experiment med ventilstängningar på impulsledningarna var det möjligt att identifiera den felande transmittern under drift av reaktorn. Efter byte av transmitt till en med mindre volym och displacement upphörde oscillationerna.

Till sist visar också rapporten att mekaniska vibrationer hos impulsledningarna bidrar till signalbrus vid cirka 10 Hz. Detta visas med hjälp av laborieprov som utförts vid KKM. Vid samma anläggning har också transmittar bytts ut på grund av avvikande brus i frekvensintervallet 2 – 20 Hz. Efter bytet av transmitt försvann det nämnda bruset. Resultaten från KKM visar att det inte kan uteslutas att åldring ökar transmitters känslighet för impulsledningsvibrationer.

10 Referenser

1. Bergdahl B.G. et al, *Sensortester vid Oskarshamn 2 baserade på mätningar från 24 september 1997*, GSE-97/17.
2. Bergdahl B.G, *Transmitterundersökningar vid Barsebäck 2*, Baserad på mätningar från 11 juni 1997. GSE-97/15.
3. Bergdahl B-G och Karlsson J K-H, *Undersökning av transmitttrar och instrumentkomponenter i Ringhals 1*, resultat från mätningar och experiment 24-25 februari 2000, SKI Rapport 00:17.
4. Bergdahl B-G, *Uppföljande undersökning av transmitttrar och instrumentkomponenter vid Ringhals 1*, Resultat från mätningar den 15 mars 2001, GSE-01-012.
5. IAEA-rapport, *Mangement of ageing of I&C equipment in nuclear power plants*, Report prepared within the framework of the International Working Group on Nuclear Power Plant Control and Instrumentation. June 2000. IAEA-TECDOC-1147.
6. Bergdahl BG, Liao B, Oguma R, Schwaninger H, *Sensor diagnostics in a BWR based on noise analysis*, An invited paper presented at the NPIC & HMIT'96 meeting May 6 - 9, 1996, The Pennsylvania State University, USA.
7. Hashemian HM et al, *Effect of Aging on Response Time of Nuclear Plant Pressure Sensors. Analysis and Measurement Services Corporation*, NUREG/CR-5383.
8. Hashemian HM et al, *Long Term Performance and Ageing Characteristics of Nuclear Plant Pressure Transmitters. Analysis and Measurement Services Corporation*, NUREG/CR-5851.
9. Hashemian HM, Private communication.

