

Undersökning av transmittar och instrumentkomponenter i Ringhals 1

**Resultat från mätningar och experiment
24-25 februari, 2000**

av

**Bengt-Göran Bergdahl och Joakim K.-H. Karlsson
GSE Power Systems AB
Box 62, 611 22 Nyköping**

Sammanfattning

Mätsystemen i ett kärnkraftverk är viktiga för anläggningens drift och säkerhet. De ger insignaler till reaktorns säkerhetssystem, till larmsystemen, till reglersystemen samt för presentation i kontrollrummet. Det är därför av stor betydelse att sensorerna är tillförlitliga, att de är tillräckligt noggranna samt att deras responstid är tillräckligt snabb.

Mätsignalen består av en statisk del och en dynamisk del. Den statiska delen av signalen är naturligtvis den mest intressanta och den undersöks noggrant i samband med kalibreringen av transmittern. Den dynamiska delen eller fluktuationen hos signalen däremot innehåller information om processens dynamik. Genom att undersöka sensorsignalernas dynamiska egenskaper är det möjligt att avgöra om målet med ett tillförlitligt och alert mätsystem uppfylls.

För att förbättra drifttillgängligheten och säkerheten i anläggningen har multipla sensorer införts. För exempelvis nivåsensorerna innebär detta att tvåtransmittar är anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken. Idén med multipla signaler är att de ska vara lika varandra såväl för den statiska delen av signalen som den dynamiska.

Vid ett onormalt driftläge, exempelvis vid ett haveritillstånd är de multipla signalerna en viktig tillgång. I ett sådant läge kan den statiska visningen bli ifrågasatt.

- Är vattennivån i reaktor verkligen sålåg?

Om dåden dynamiska delen hos de multipla signalerna överensstämmer styrker detta att de bägge transmittarna fungerar normalt. Därför är det av vikt att de multipla signalerna undersöks för att klargöra om dynamisk överensstämmelse gäller vid normaldrift.

GSE Power Systems AB har genomfört sensorundersökningar vid såväl svenska som utländska kärnkraftverk. Referenserna 1 –13 i Kapitel 7 rapporterar en del av dessa undersökningar.

Påuppdrag av SKI har GSE Power Systems AB genomfört en undersökning av sensorer vid Ringhals 1. Totalt undersöktes 12 givare för vattennivån i reaktor, 8 givare för

reaktortryck, 4 givare för ångflöde, 4 givare för matarvattenflöde och 21 neutronflödesgivare. Dessutom undersöktes tvådigitala och en analog tryckgivare i laboratorium.

Resultat från Ringhals 1

- Reaktortryck- och vattennivåsignalerna uppvisar resonanser vid 1.8 Hz, 2.5 Hz, 3 Hz eller ingen peak alls beroende på vilken impulsledning transmittern är ansluten till. Förklaringen till de svängningar som syns i Ringhals 1 är inte fluktuationer hos reaktortrycket och -nivå. Tolkningen är att resonanstopparna genereras av transmittarna i växelverkan med vattnet i impulsledningarna. 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. Transmittarna påverkar varandra. Detta är ett "Common mode" fel för sensorernas dynamiska visning.
- Trycksignalerna 211K119 och 211K120 är filtrerade med tidskonstanten 1.3 sekunder. Filtreringen innebär att en snabb tryckändring fördröjs med 1.3 sekunder. Transmittarna 211K119 och 211K120 ingår i det automatiska stängningsvillkoret för 314 ventilerna. Enligt uppgift från verket är orsaken till filtreringen "snubbers" i impulsledningarna. Den interna granskningsgruppen vid Ringhals 1 kommer att fatta beslut om dessa snubbers ska demonteras under RA-00.
- Jäsningsvaktgivaren 211K419 avviker dynamiskt. Den behöver ersättas med en fungerande enhet. Jäsningsvakten 211K419 ingår som reserv i reaktorns snabbstoppsystem SS5.
- Nivåsensorn 211K403 har filtrerad transmitterfunktion. Signalen 211K403 är filtrerad med tidskonstant = 2.1 sekunder i jämförelse med den multipla sensorn 211K431. Enligt uppgift från verket har 211K403 "dämpningen = 1.5 s" medan 211K431 har "dämpningen = 0.56 s". Skillnaden i dämpning samt att transmittarna är av olika fabrikat kan förklara skillnaden i dynamik.
- Densitetsomvandlarna för nivåsignalerna 211K429 och 211K430 har grov upplösning mot bakgrund av vad som kan förväntas av en digital densitetsomvandlare.
- Ångflödessensorn 411K304 har avvikande dynamik. En oscillation med 10 Hz förekommer hos signalen.
- Matavattenflödessignalerna 415K301 och 415K302 har avvikande dynamik i jämförelse med respektive multipla sensorer. Enligt uppgift från verket har 415K301 & 415K302 "dämpningen = 3 s" medan 415K303 & 415K304 har "dämpningen = 1.66 s". Detta kan förklara den observerade skillnaden.
- Laborrietesterna visar att de digitala transmittarna Rosemount 3051C-Smart och ASK800 har dödtidsfördröjningar 60 – 100 ms i jämförelse med den analoga transmittern AVI200.

- Undersökningen av LPRM signalerna visade att 5 av 10 sonder vibrerade. Sond 12 och 28 hade medelstor risk för islag mot boxhörn medan sond 24 hade låg risk för islag. En undersökning av resterande 26 sonder rekommenderas.

Copyright GSE Power Systems AB, Nyköping 2000

Godkänd av

Innehållsförteckning

1	Bakgrund
1.1	Multipla sensorer
1.2	Undersökning av transmitttrar vid Ringhals 1
1.3	Nivåsensorernas redundans
1.4	Trycksensorernas redundans
2	Resultat för reaktortryckgivarna
2.1	Tryckgivarsignaler
2.2	Resultat för tryckgivare anslutna till impulsledning A
2.3	Resultat för tryckgivare anslutna till impulsledning B och C
2.4	Resultat för tryckgivare anslutna till impulsledning D
3	Resultat för nivågivare
3.1	Resultat för Jäsningsvakter
3.2	Resultat för FinnivåR-tank
3.3	Resultat för Finnivåhård
3.4	Resultat för Grov nivåR-tank och Reaktornivå
3.5	Resultat för densitetsomvandlarna
3.6	Funktionen för densitetsomvandlarna K429 och K430
4	Resultat för Ångflödes- och Matarvattenflödessignalerna samt Laboratorietest av givare
4.1	Resultat för Ångflödessignalerna
4.2	Resultat för Matarvattenflödessignalerna
4.3	Laboratorietest av trycktransmitttrar
5	Resultat för neutronflödessignalerna
5.1	Bakgrund till sondvibrationer
5.2	Resultat från Ringhals 1
6	Slutsatser
7	Referenser
	Bilaga Mät signaler

1 Bakgrund

Mätsystemen i ett kärnkraftverk är viktiga för anläggningens drift och säkerhet. De ger insignaler till reaktorns säkerhetssystem, till larmsystemen, till reglersystemen samt för presentation i kontrollrummet. Det är därför av stor betydelse att sensorerna är tillförlitliga, att de är tillräckligt noggranna samt att deras responstid är tillräckligt snabb.

Mätsignalen består av en statisk del och en dynamisk del. Den statiska delen är exempelvis 70 Bar för trycket i reaktorn, medan fluktuationen omkring 70 Bar är den dynamiska delen. Den statiska delen av signalen är naturligtvis den mest intressanta och den undersöks noggrant i samband med kalibreringen av transmittern.

Den dynamiska delen eller fluktuationen hos signalen däremot innehåller information om processens dynamik. Nu är det emellertid så att signalens dynamiska del också påverkas av mätsystemet. Signalfiltreringar uppstår i impulsledningar, transmittar och efterföljande instrumentkomponenter. Det kan också uppstå störningar mellan transmittar som är anslutna till samma impulsledning "Common mode" fel. Detta innebär att dynamiken hos signalen kan ge information om oavsiktliga filtreringar eller annan påverkan på givarsignalens egenskaper. Genom att undersöka sensorsignalernas dynamiska egenskaper är det möjligt att avgöra om målet med ett tillförlitligt och alert mätsystem uppfylls.

Givarnas statiska egenskaper (kalibrering) provas regelbundet vid avställningen av reaktorn. Däremot är det ovanligt att givarnas dynamiska egenskaper undersöks i svenska BWR.

Dynamiska undersökningar av sensorsystem är möjliga att genomföra under drift av reaktorn med hjälp av signalanalys. Rätt utförd ger en sådan undersökning besked om någon transmitter med tillhörande impulsledning avviker dynamiskt från de multipla sensorerna. Fördelen med att undersöka sensorsystemen med signalanalys är att det kompletta sensorsystemets dynamik undersöks, som det är installerat och i drift i anläggningen. För nivågivarna innebär detta impulsledning, transmitter och densitetskompensering.

1.1 Multipla sensorer

För att förbättra drifttillgängligheten och säkerheten i anläggningen har multipla sensorer införts. För exempelvis nivåsensorerna innebär detta att två transmittar är anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken. Dessa multipla signaler kan sedan i den efterföljande instrumenteringen ersätta varandra. Om en transmitter upphör att fungera säger den andra signal. Idén med multipla signaler är att de ska vara lika varandra såväl för den statiska delen av signalen som den dynamiska.

1.3 Nivåsensorernas redundans

Nivåsensorerna är anslutna till reaktortanken med impulsledningar. Med instrumentritningen i Figur 1.1-1.2 framgår de olika sensorernas inkoppling. Bland de nivåsensorer som är tillgängliga i anläggningen framgår det att Jäsningsvaktgivarna har två multipla par (K416, K417) samt (K418, K419). Dessa är parvis kopplade till samma tryckuttag, se Tabell 1.1 och Figur 1.1-1.2, och förväntas därför överensstämma.

Finnivåhård-givarna K420 och K421 är inte anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken, se Figur 1.1-1.2. De visar av den anledningen inte samma dynamik.

FinnivåR-tank har tvåmultipla sensorpar (K431, K403) samt (K430, K402) som är anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken, se Figur 1.1-1.2. Dessa givare förväntas av denna anledning att parvis kunna uppvisa samma dynamik.

GrovnivåR-tank har enbart en sensor och därmed finns inte någon redundans för denna mätsignal. Samma sak gäller för den signal som kallas ReaktornivåK429 i Tabell 1.1. Även denna signal saknar redundans.

Tabell 1.1 Nivåsensorerna och deras redundans i Ringhals 1. Symbolerna *,>,<,+ anger vilka sensorer som är multipla med inkoppling till samma tryckuttag.

Funktion	Nivå Sub A	Nivå Sub B	Nivå Sub C	Nivå Sub D reserv
	K416*	K418>	K417*	K419>
Finnivå-hård	K420	K421		
Finnivå R-tank	K431+, K403+	K430<, K402<		
Grovnivå R-tank			K401	
Reaktornivå		K429		

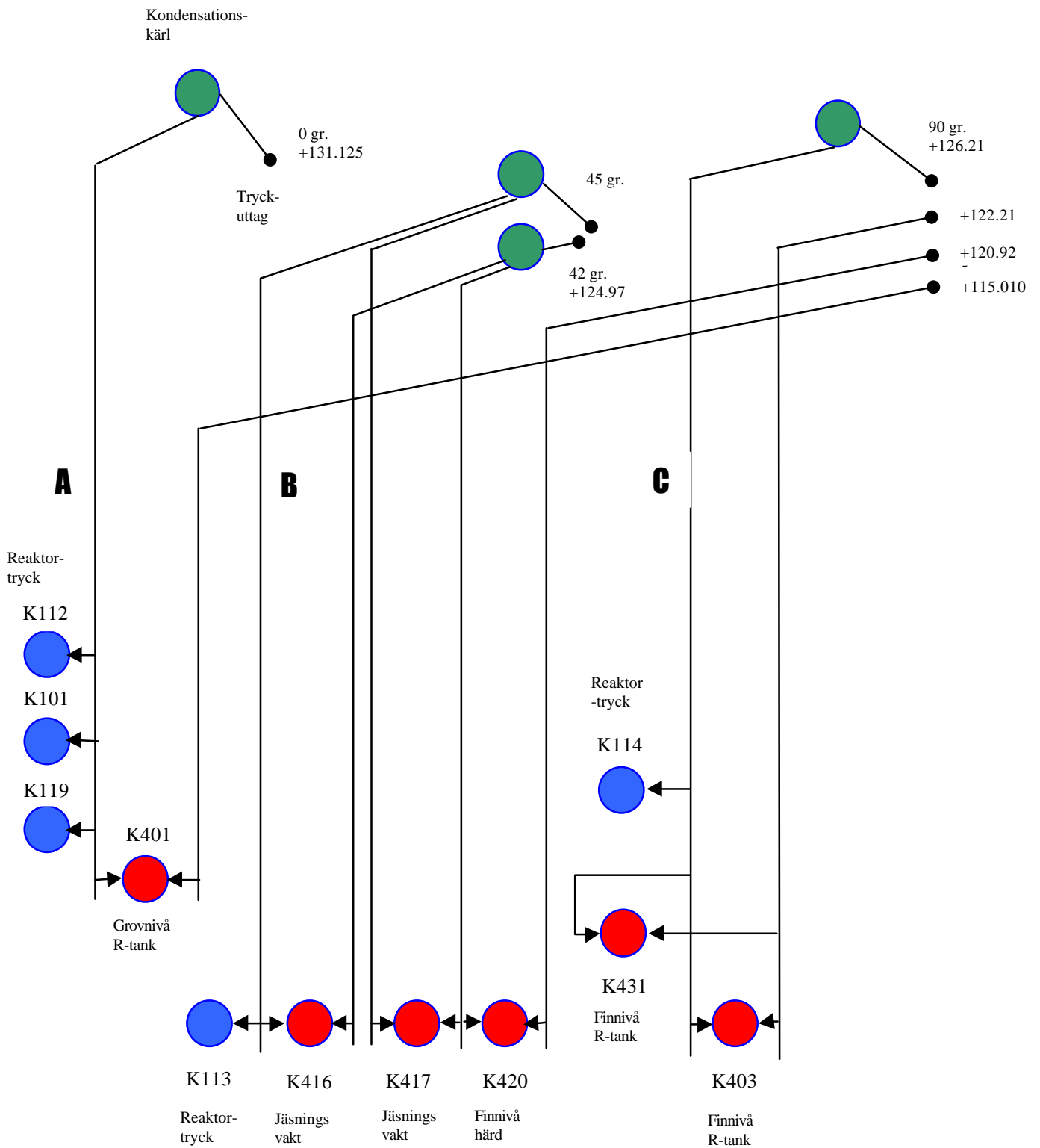
1.4 Trycksensorernas redundans

Tryckgivarna är anslutna till reaktortanken via de impulsledningar som också används för nivåmätning. De impulsledningar som nyttjas för de trycksensorer som ingår i mätningen benämns A, B, C och D, se Figur 1.1 och 1.2.

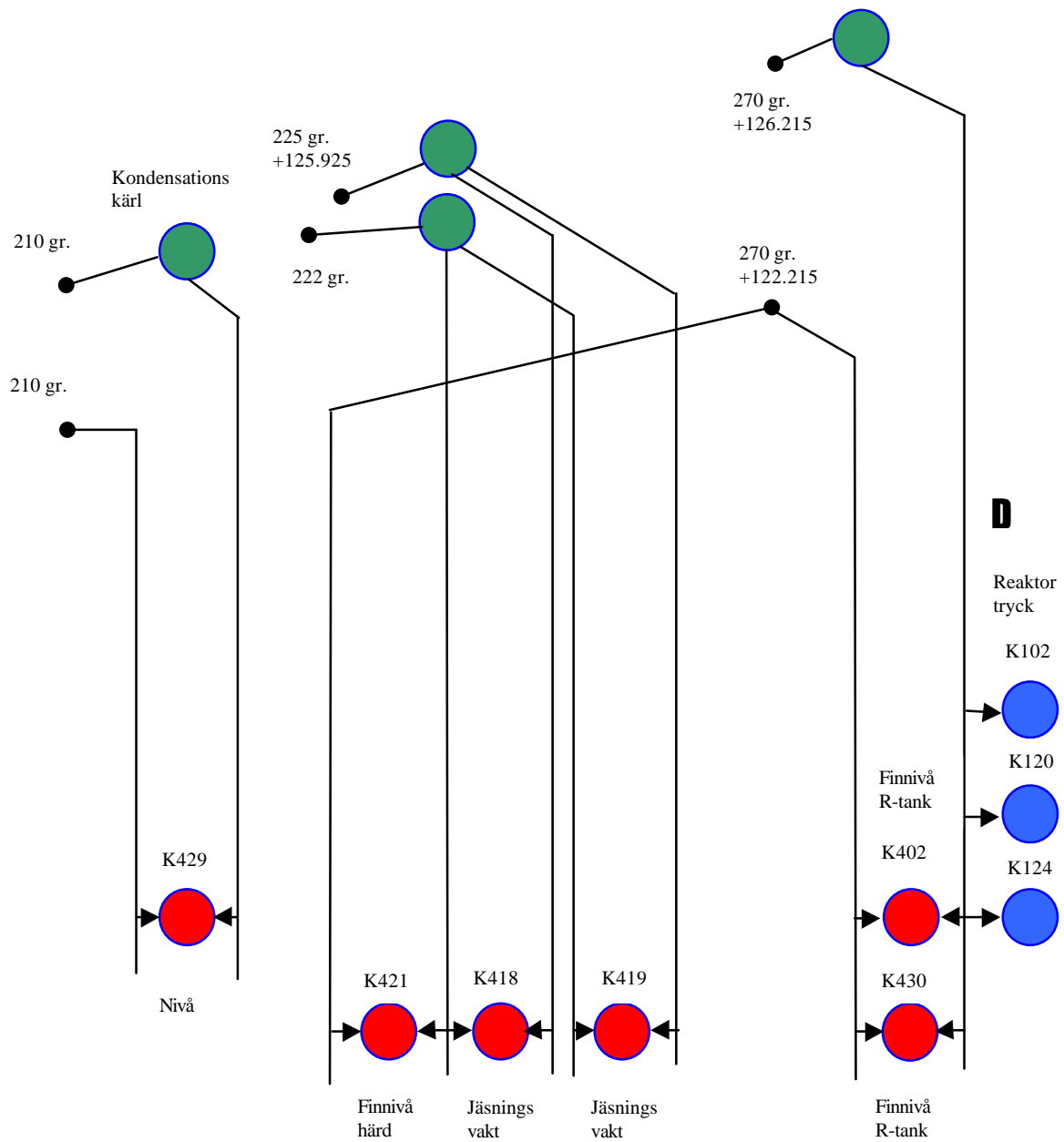
Tryckgivarna har olika mätområden och dessa presenteras tillsammans med uppgift om

Tabell 1.2 Trycksensorerna med angivna mätområden och fördelningen mellan sub A, B och C. Symbolen > anger anslutning till impulsledning A, * anger impulsledning B, + anger impulsledning C och < anger impulsledning D, se Figur 1.1-1.2.

Funktion	Reaktortryck Sub A	Reaktortryck Sub B	Reaktortryck Sub C	Reaktortryck Sub D reserv
R-tryck 0-100 Barö	K101>	K102<, K124<		
R-tryck 5-76 Barö	K112>	K113*	K114+	
R-tryck 64-79 Barö	K119>	K120<		



Figur 1.1 Kondensationskärn, tryckuttag, impulsledningar, reaktortrycktransmittar, reaktornivåtransmittar samt jäsningsvakter i Ringhals 1. Den första delen av instrumenteringen som ingår i mätningen.



Figur 1.2 Kondensationskärl, tryckuttag, impulsledningar, reaktortrycktransmitttrar, reaktornivåansmitttrar samt jäsningsvakter i Ringhals 1. Den andra delen av instrumenteringen som ingår i mätningen.

2 Resultat för reaktortryckgivarna

Under detta kapitel presenteras resultat från de reaktortryckgivare som ingår i undersökningen. Det finns grovtryckgivare med området 0-100 Barö, dit hör K101, K102 och K124. Det ingår också ett antal grovtryckgivare med området 5-76 Barö, dit hör K112, K113 och K114. Slutligen så finns det också fintryckgivare med området 64-79 Barö, dit hör K119 och K120. För att underlätta tolkningen görs först en allmän beskrivning av trycksignalerna i Kapitel 2.1. Därefter görs en uppdelning med hänsyn till vilken impulsledning som sensorn är ansluten till, se Kapitel 2.2 - 2.4.

2.1 Tryckgivarsignaler

De tryckgivare som ingår i mätningen är anslutna till reaktorn via olika impulsledningar. I Figur 1.1 och 1.2 framgår det att de är inkopplade till impulsledningarna A, B, C och D. För att få klarhet i dynamiken hos trycksignalerna presenteras APSD för K112, K113, K114 och K124 i samma diagram, se Figur 2.1. Sensorerna representerar dynamiken i de fyra olika impulsledningarna.

Resultatet är mycket intressant. Tre tydliga toppar vid olika frekvenser framgår av dessa fyra spektra. Frekvenstopparna ligger vid 1.8 Hz, 2.5 Hz och 3 Hz. för respektive K124, K112 och K114. K113 visar ingen topp alls, se Figur 2.1.

Trycket i en reaktor är globalt. Det innebär att dynamiken hos signalerna bör vara densamma oavsett vilken impulsledning som nyttjas. Så är det inte här. Resultaten visar resonanser vid olika frekvenser eller ingen resonans alls, jämför spektrum för K113 i Figur 2.1.

Förklaringen till de svängningar som syns är inte fluktuationer hos reaktortrycket med 1.8 - 3 Hz. Tolkningen är att resonanstopparna genereras av transmittarna i växelverkan med vattnet i impulsledningarna. Massan hos vattenpelaren i impulsledningen i växelverkan med fjäderkonstanten hos membrandynamiken ger svängningen. Frekvensen bestäms av vattnets vikt (impulsledningens längd) och transmitters fjäderkonstant. Därför blir det olika frekvens 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. Transmittarna påverkar
Common mode” fel för sensorernas dynamiska visning.

GSE har erfarenhet av detta fenomen från ett utländskt verk. Ett byte av en transmitter i Bartoncell till en modern transmitter med småvolymändringar eliminerade problemet fullständigt.

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

Till varje impulsledning finns flera givare anslutna, såväl tryck som nivå. Det är därför inte enkelt att peka ut vilken eller vilka transmittorer som driver oscillationerna i detta fall. För detta krävs en mer detaljerad mätning kombinerad med experiment.

Ett annat fenomen som också framgår av Figur 2.1 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 transmittorerna, K114 och K112 är klart lägre än K113 i nämnda frekvensintervall.

2.2 Resultat för tryckgivare anslutna till impulsledning A

Tryckgivare K101, K112 och K119 som är anslutna till impulsledning A presenteras i spektrumform och som funktion av tiden i Figur 2.2 och 2.3. Det är mycket tydligt att K119 är kraftigt filtrerad i jämförelse med de övriga.

APSD för signalerna visar att resonanstoppen sammanfaller för de tre signalerna vid 2.5 Hz. Över 5 Hz framgår det dessutom att signalerna inte överensstämmer. Trots att de är anslutna till samma impulsledning(A) och därför har samma tryck-input. Anledningen till dessa högre frekvenstoppar är egenheter hos respektive transmittorer.

Den tydliga dämpningen för K119 är märklig, se Figur 2.2. Sensorn K119 är av typen Rosemount 3051 Smart. Till skillnad från K101 som är av typen Hartmann & Braun AZC200 och K112 som är av typen Rosemount 1151GP.

Enligt uppgift från Ringhals har K119 en inställning som ger 0.56 sekunders dämpning. Detta ter sig gåfullt eftersom en bestämning av tidskonstanten = 1.3 sekunder för K119 i jämförelse med K101, se Figur 2.4. K101 tolkas som insignal och K119 tolkas som utsignal varefter stegsvarstest och tidskonstantberäkning görs med den identifierade modellen.

En förklaring till skillnaden i filtrering för tryckgivaren K119 i jämförelse med K101 är filtrering hos någon annan instrumentkomponent ingående i mätkedjan. Den frågan behandlas i Kapitel 2.4.

2.3 Resultat för tryckgivare anslutna till impulsledning B och C

Eftersom det bara förekommer en givare från vardera impulsledning så presenteras de

Trycksensorn K113 är ansluten till impulsledningen B medan K114 är ansluten till C, se Figur 2.5. Dessa bägge transmittorer är av typen transmittorn K113 saknar resonanstopp medan K114 har en tydlig peak vid 3 Hz, se Figur 2.5.

Orsaken till att K113 saknar resonanstopp bedöms vara att det inte utvecklats någon resonans tillsammans med övriga sensorer på impulsledning B. Detta kommer också att kommenteras när tillhörande nivåsensorer redovisas.

Trycksensorn K114 har däremot en tydlig resonans till följd av växelverkan mellan sensorer och impulsledning som beskrivits tidigare. APSD uppvisar också den dämpning som sensordynamiken ger för K114 i jämförelse med K113 mellan 5 och 10 Hz, se Figur 2.5.

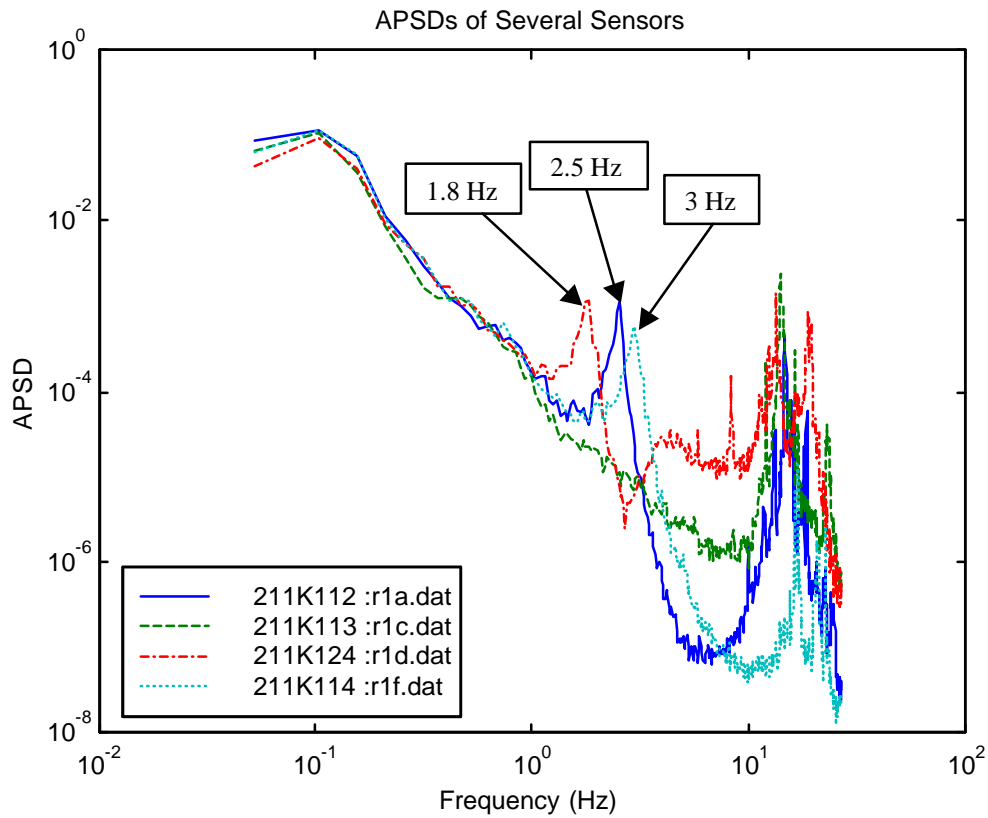
2.4 Resultat för tryckgivare anslutna till impulsledning D

Mätningen omfattar tre tryckgivare med anslutning till impulsledningen D, Dessa är K102, K124 och K120. APSD för de tre signalerna visas i Figur 2.6. Det är tydligt att K102 och K124 överensstämmer upp till ca 2 Hz. Dessa bägge signaler innehåller en resonanstopp vid 1.8 Hz. Denna resonans är också den ett tydligt exempel på trycksvängningar i impulsledningen som inte har med reaktortrycket att göra.

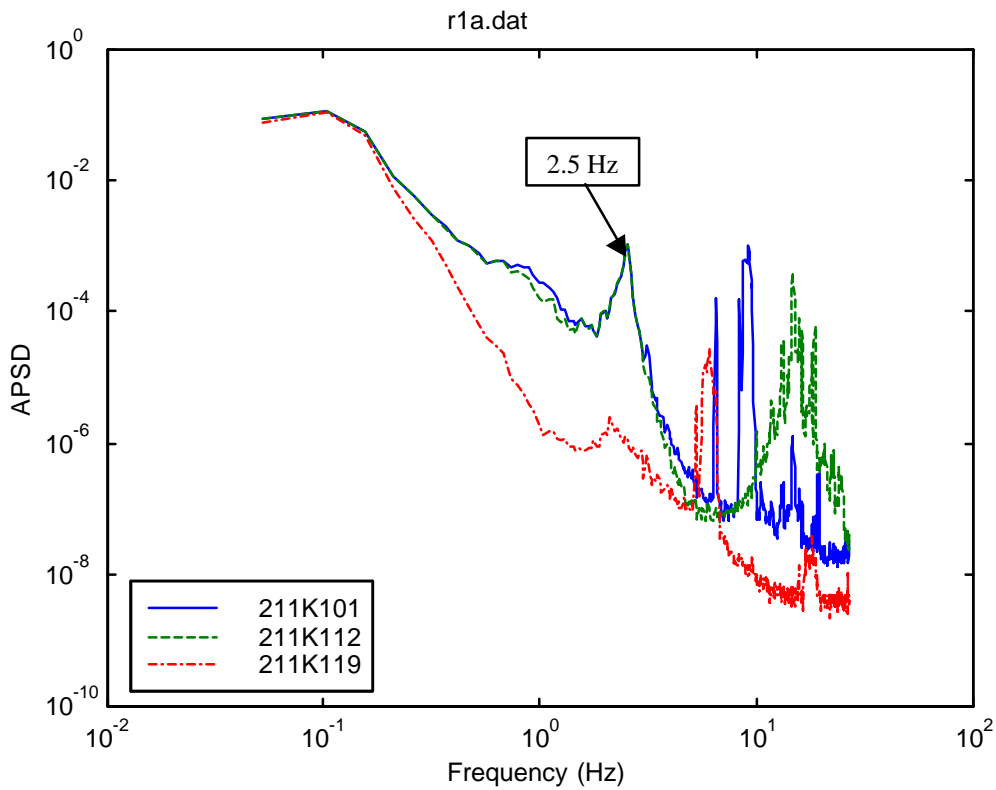
Sensorn K124 uppvisar onormalt förhöjt brus för frekvenser mellan 2 och 15 Hz. Bruset avviker från det som K102 uppvisar. De två extra resonanser mellan 5 och 10 Hz som K102 uppvisar är också ifrågasatt. Transmitterarna K102 och K124 är båda av typen Hartmann & Braun AZC200. Eftersom transmitterarna är av samma typ är avvikelserna

För sensorn K120 är resonansen vid 1.8 Hz inte synlig. Anledningen till detta är den mycket tydliga filtreringen med 1.3 sekunder relativt sin multipla sensor K102, som denna sensor är behäftad med, se Figur 2.7 och 2.8. K120 är av typen Rosemount 3051C-smart. Jämför med tidigare kommentar för tryckgivaren K119 som också mäter

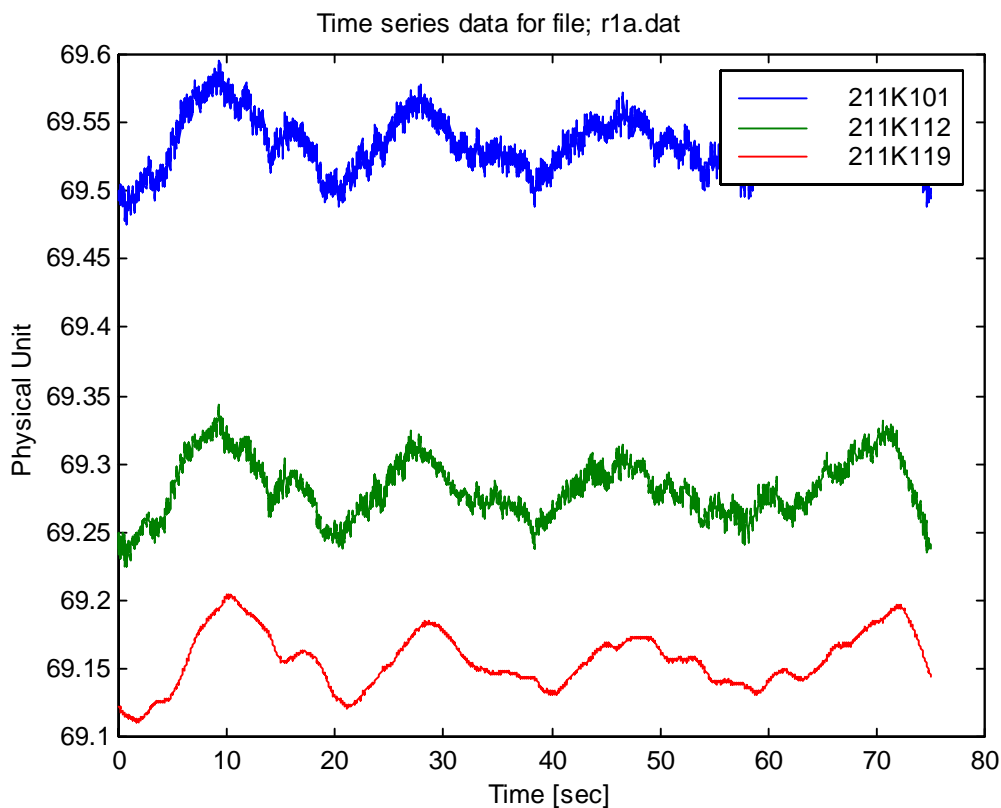
Det är tydligt att såväl 211K120 som tidigare nämnda 211K119 är filtrerade med tidskonstanten 1.3 sekunder relativt sina multipla sensorer. Filtreringen innebär att signalen fördröjs med 1.3 sekunder vid en snabb trycktransient. Enligt uppgift från Ringhals har transmitterarna en dämpning med 0.56 sekunder. Det är värt att notera att reaktortrycksignalerna 211K119 och 211K120 ingår i det automatiska för 314 ventilerna. Enligt uppgift från verket är orsaken till filtreringen "snubbers" i impulsledningarna. Den interna granskningsgruppen vid Ringhals 1 kommer att fatta beslut om dessa "snubbers" ska demonteras under RA-00.



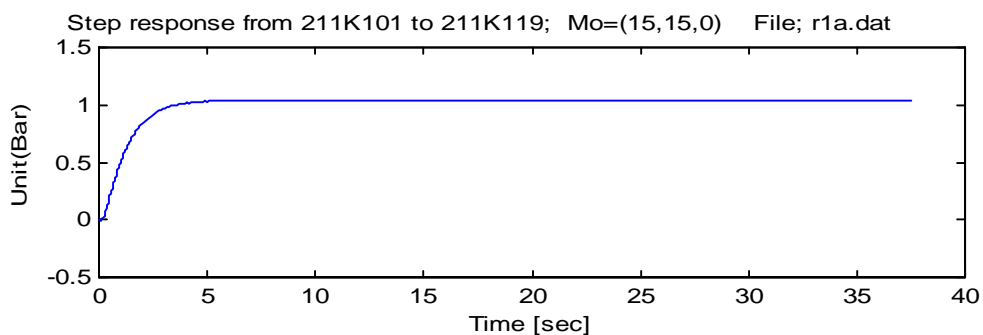
Figur 2.1 APSD för reaktortrycksignalerna K112, K113, K124 och K114. De är i ordning anslutna till impulsledningarna A, B, D och C.



Figur 2.2 APSD för reaktortrycksignalerna K101, K112 och K119. Dessa transmittar är anslutna till samma impulsledning och registrerade i samma mätning.



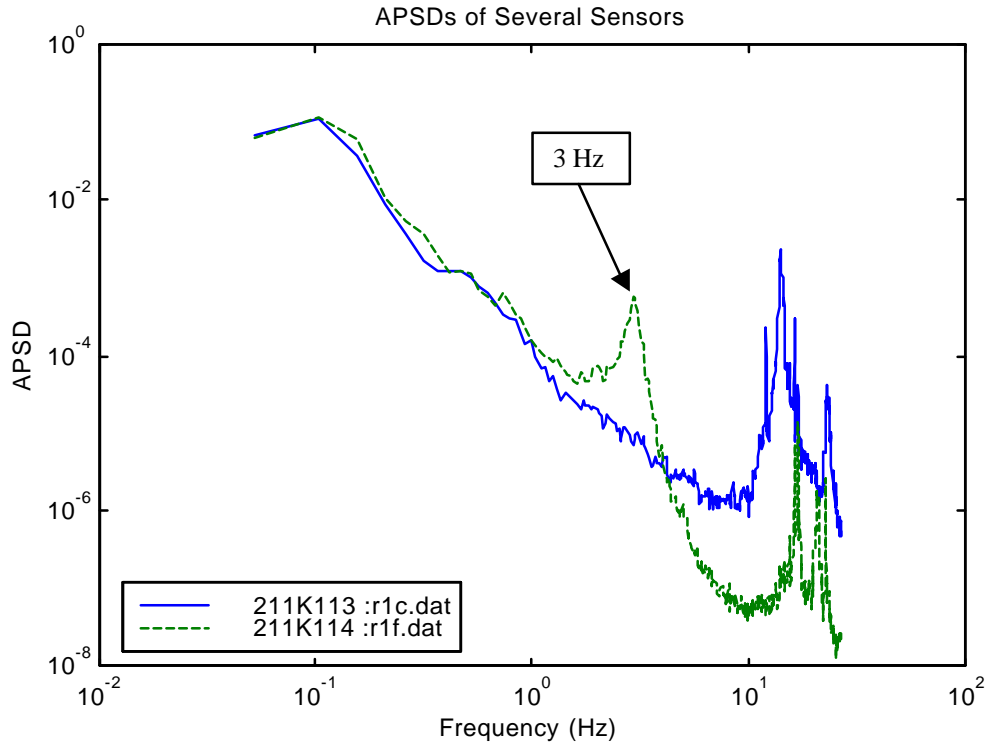
Figur 2.3 Reaktortrycksignalerna K101, K112 och K119 som funktion av tiden. De är anslutna till impulsledning A. Det är uppenbart att K119 är filtrerad i förhållande till de övriga signalerna.



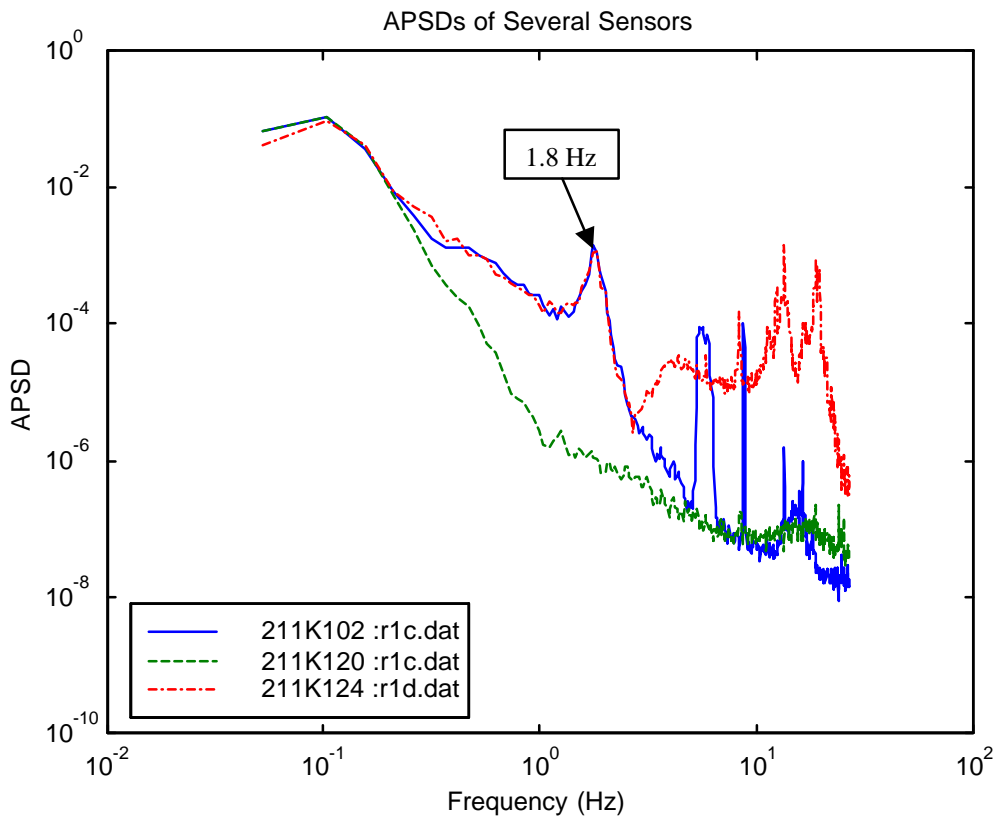
- Response characteristic parameters

Time const	; 1.3342 (sec)	PK overshoot	; 0 (%)
Rise time	; 2.6619	Final value	; 1.0426
Peak time	; Inf	Init data	; 1
Settle time	; 3.3563	No data	; 34807
Peak value	; 1.0426	Sampl Frq.	; 53.3333 (Hz)

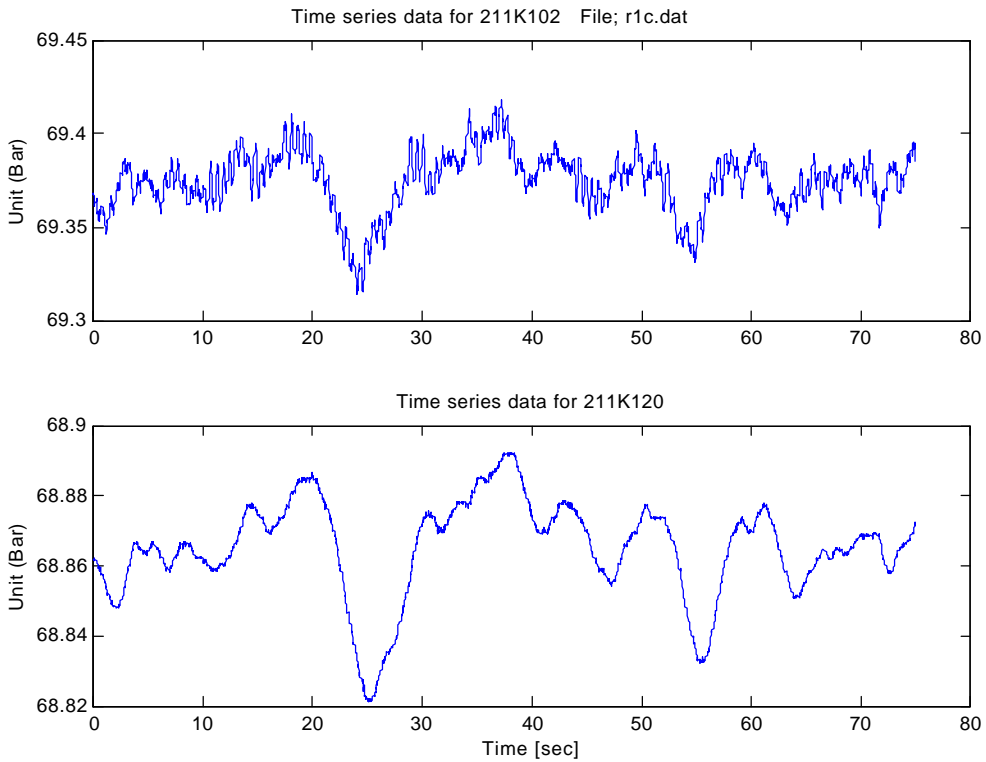
Figur 2.4 Stegsvartest med signalen K101 som insignal och K119 som utsignal. Tidskonstanten =1.3 s.



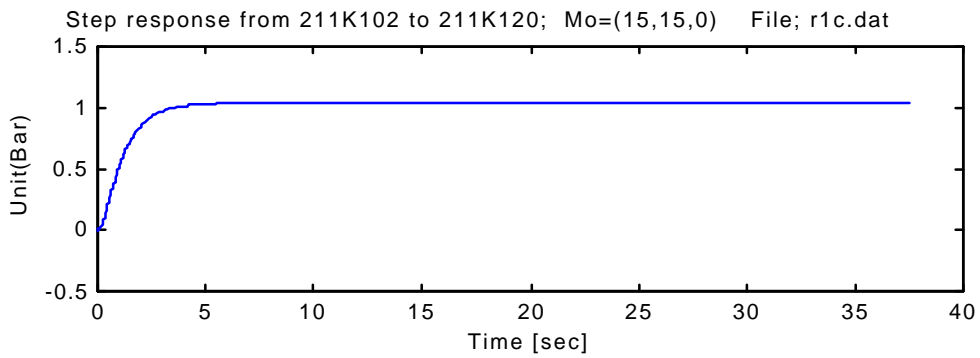
Figur 2.5 APSD för reaktortrycksignalerna K113 och K114. De är i ordning anslutna till impulsledningarna B och C. De är ej registrerade i samma mätning.



Figur 2.6 APSD för reaktortrycksignalerna K102, K120 och K124. De är i ordning anslutna till samma impulsledning (D) men ej registrerade i samma mätning. Det är uppenbart att K120 är lågpasfilterad i förhållande till de övriga.



Figur 2.7 Reaktortrycksignalerna K102 och K120 som funktion av tiden. De är anslutna till impulsledningarna D och registrerade i samma mätning.



- Response characteristic parameters

Time const	; 1.3051 (sec)	PK overshoot	; 0 (%)
Rise time	; 2.5747	Final value	; 1.0362
Peak time	; Inf	Init data	; 1
Settle time	; 3.2625	No data	; 31928
Peak value	; 1.0362	Sampl Frq.	; 53.3333 (Hz)

Figur 2.8 Stegsvartest med signalen K102 som insignal och K120 som utsignal. Tidskonstanten = 1.3 s. Detta innebär att en snabb transient registrerad med K120 blir extra fördröjd med 1.3 s.

3 Resultat för nivågivarna

Resultat presenteras i detta kapitel för de nivågivare som ingår i undersökningen. Sensorerna benämns Jäsningsvakter, Grov nivåR-tank, FinnivåR-tank, Finnivåhård samt Reaktornivå se Figur 1.1 - 1.2. Det finns Jäsningsvakter med området 0-950 mmvp (mm vattenpelare), dit hör K416, K417, K418 och K419. Det ingår en Grov nivåR-tank med området -5.4 - +11.6 m, den är K401. Det finns FinnivåR-tank med området +1.8 - +5.8 m, dit hör K403, K431, K402 och K430. Det ingår Finnivåhård med området 0.5 - 4.5 m, dit hör K421 och K420. Det finns slutligen Reaktornivå med området -5.4 - +5.5 m, den är K429. För att underlätta tolkningen görs en uppdelning med hänsyn till vilka impulsledningar som sensorn är ansluten till.

Nivåmätningen är utförd på sådant sätt att först sker differenstryckmätning. Detta görs med de så kallade nivåtransmittarna. Dessa signaler är mätbara i Ringhals 1. Därefter görs densitetskompenseringen. Den funktionen har differenstrycket och reaktortrycket som insignal och den beräknade nivån som utsignal. Dynamiken för dessa densitetskompenseringsenheter presenteras i Kapitel 3.5 och 3.6. Där visas också sensorernas

3.1 Resultat för Jäsningsvakter

Reaktorn är instrumenterad med fyra Jäsningsvakter med benämningarna 211K416, 211K417, 211K418 och 211K419, se Figur 1.1-1.2. Av dessa är 211K419 reserv i systemet. Tryckuttagen till transmittarna är parvis kopplade till samma tryckuttag (K416, K417) och (K418, K419). Signalerna K418 och K419 registrerades samtidigt. För att reducera trip-risken i samband med mätningen var det inte tillåtet att mäta K416 och K417 samtidigt.

Tabell 3.1 Medelvärden och standardavvikelser för signalerna från Jäsningsvakterna. Symbolen * indikerar att signalen registrerats separat.

Signalnamn	Medelvärde	Standardavvikelse
211K416 *	872 mmvp	6.7 mmvp
211K417 *	871	7.9
211K418	873	5.9
211K419 reserv	870	7.6

Tabell 3.1 presenterar medelvärden och standardavvikelser för Jäsningsvakternas mmvp överensstämmer mycket väl med varandra trots att två av signalerna registrerats vid separata tillfällen. Detsamma gäller för standardavvikelserna 5.9-7.9 mmvp.

Tidsseriedata för K418 och K419 visas i Figur 3.1. Det är uppenbart att dessa signaler avviker väsentligt från varandra vad gäller det dynamiska innehållet. Den statistiska delen av

signalerna överensstämmer däremot ganska bra. Den är 860 mmvp i början av tidsserien, se Figur 3.1. Avvikelsen mellan de förväntat lika signalerna framgår också av APSD-funktionerna i Figur 3.2. K419 har ett väsentligt större brusinnehåll mellan 0.5 – 8 Hz.

APSD för alla fyra Jäsningsvaktsignaler visas i Figur 3.3. Även denna figur styrker påståendet att K419 avviker dynamiskt från de övriga.

GSE's bedömning att sensorn K419 avviker vad gäller det dynamiska innehållet. Den behöver ersättas med en fungerande enhet.

Det förtjänar att påpekas att Jäsningsvakterna ingår i reaktorns snabbstoppsystem (SS5).

3.2 Resultat för FinnivåR-tank

Det finns två par sensorer för FinnivåR-tank. Dessa är (K431, K403) och (K402, K430), se Figur 1.1 – 1.2 där deras anslutning till reaktortanken framgår. Det är uppenbart att de är anslutna vid 90 respektive 270 grader på reaktortanken, det vill säga på motsatta sida om tanken.

I Figur 3.4 visas APSD för Reaktortryck K114 samt för FinnivåR-tank K431 och K403. Samtliga signaler har en resonanstopp vid frekvensen 3 Hz. Denna topp är ett resultat av ett samspel mellan transmittarnas dynamik och vattenpelaren i impulsledningen. Den fluktuation som detta motsvarar hos nivåsignalen och trycksignalen finns inte hos

Rosemount 3051C-smart, medan K403 är av typen Hartmann & Braun AZI200. K431 är en relativt ny transmitter med förmodad liten volymändring vid tryckförändringar. Resonanstoppen för K431 visar att transmittern känner av de variationer i differenstryck som de andra transmitterna åstadkommer i impulsledningarna.

Det är intressant att se att K431 i detta fall inte uppträder med extra filtrering, se Figur 3.4. Jämför med kommentaren för denna transmittertyp för reaktortryckmätning K119 och K120.

Förväntningarna när det gäller jämförelsen mellan K431 och K403 är att APSD för signalerna ska vara helt lika varandra eftersom transmittarna mäter samma differenstryck, se Figur 3.4. Så är det inte. Det är stora avvikelser mellan spektra. K403 uppträder mer dämpat i hela frekvensintervallet trots att de är samplade vid samma tillfälle. Det faktum att transmittarna är av olika fabrikat gör att dessa multipla sensorsignaler har tydligt olika dynamiskt innehåll. De kan därför inte ersätta varandra. Tidskonstanten = 2.1 s beskriver skillnaden i dynamik med K431 som insignal och K403 som utsignal, se Figur 3.5.

Enligt uppgift från verket har 211K403 ”dämpningen = 1.5 s” medan 211K431 har ”dämpningen = 0.56 s”. Den uppgivna skillnaden i ”dämpning” samt att transmittarna är av olika fabrikat kan förklara skillnaden i dynamik.

Sensornparet K402 och K430 är multipla men de är inte samplade vid samma tillfälle. APSD för dessa signaler tillsammans med trycksignalen K124 återfinns i Figur 3.6. Resonanstoppet vid 1.8 Hz som tidigare visats för trycksignalen i denna impulsledning gäller också för nivåsignalerna. Orsaken har redan behandlats.

När det gäller sambandet mellan reaktortryck och -nivå i en BWR så gäller det allmänt att dessa signaler saknar koherens. GSE's erfarenheter av tryck- och nivåinstrumentering visar det. Däremot uppstår koherens i de fall där transmittermembranen oscillerar, se Referens 8. Sår fallet i Ringhals 1. I Figur 3.7 och 3.8 presenteras koherensen som funktion av frekvensen för tryck- och nivåsignal som är anslutna till samma impulsledning och samplade samtidigt. För samhörigheten mellan K102 och K402 är koherensen = 0.8 vid oscillationsfrekvensen 1.8 Hz, se Figur 3.7. Mellan nivåsignalen K430 och trycksignalen K124 är koherensen = 0.9 vid nämnda frekvens. Dessa höga koherenser mellan tryck och nivå är typiska när tryckstörningar förekommer mellan transmittarna.

3.3 Resultat för Finnivåhård

De tvåtransmittarna som registrerar Finnivåhård är K421 och K420. De är inte multipla i den meningen att de är kopplade till samma tryckuttag, se Figur 1.1-1.2. APSD för dessa signaler presenteras i Figur 3.9. Trots att differensstrycken är olika så är spektra mycket lika varandra. Någon resonanstopp vid 2-3 Hz syns inte. Detsamma gäller för Jäsningsvakternas dynamik, se Figur 3.3. Det är tydligt att transmittarna som är anslutna till dessa impulsledningar inte oscillerar. Det är samma transmittertyp AZI200 som gäller

För övrigt kan noteras att signalen K420 har en del peakar i spektrum vid 10 Hz till skillnad från K421 som har en mer utslätad spektrumform. Se också här Figur 3.9.

3.4 Resultat för Grov nivå R-tank och Reaktornivå

Transmittarnas position och anslutning till impulsledningar framgår av Figur 1.1-1.2. Det finns enbart en Grov nivå R-tank (K401) och det finns dessutom bara en Reaktornivåsignal (K429). Av det skälet är det inte möjligt att jämföra dessa signaler med några andra i den mätning som gjorts.

Grov nivåsignalen K401 är behäftad med samma oscillation som observeras med trycksensorn K101. Detta framgår av Figur 3.10. Orsaken är den omnämnda dynamiska växelverkan mellan transmittarna via impulsledningarna. Transmittern K401 är av typen Hartmann & Braun AZI200.

3.5 Resultat för densitetsomvandlarna

Inledningsvis nämndes att nivåmätningen är utförd på sådant sätt att först sker differenstryckmätning. Detta görs med de så kallade nivåtransmittorna och dessa DP(differenstryck)-signaler är mätbara. Därefter görs densitetskompenseringen av en elektronisk enhet med differenstrycket, reaktortrycket och eventuellt temperaturen som insignaler och den beräknade nivån som utsignal. Dynamiken för dessa densitetskompenseringsenheter presenteras i detta kapitel.

I Tabell 3.2 presenteras en sammanställning av resultaten. Här framgår det att nivån varierar mellan 3.2-3.7 m beroende på mätpunkt. Här är det viktigt att påpeka att mätsignalerna inte samlats in samtidigt. Det kan således ha skett en förändring av medelnivån i reaktorn under mätkampanjens gång.

Standardavvikelsen för nivåsignalerna presenteras också. Dess värde ligger mellan 0.013-0.016 m, utom för de två sista kanalerna i tabellen som är <0.010 m.

Tidskonstanterna som beskriver det dynamiska sambandet mellan DP och nivåsignal är slutligen också med i tabellen. Av tabellen framgår det att tidskonstanterna ligger mellan 209 och 237 ms. Utom för K401 där tidskonstanten = 73 ms.

I jämförelse med andra verk så är tidskonstanter = 80 ms vanligast förekommande. Detta gäller för analoga kompenseringseenheter. För moderna digitala kompensatorer har 250 ms uppmätts som tidskonstant för dynamiken mellan DP och nivå.

Enheten K042 har störningar på signalutgången. Detta framgår vid stegsvarstesten.

För nivågivarna K429 och K430 är inte de densitetskompenserade signalerna möjliga att utvärdera avseende tidskonstanten. Dessa signaler har därför en ifrågasatt funktion. Signalerna kommenteras separat under Kapitel 3.6.

Tabell 3.2 Medelvärde och standardavvikelse för utsignalerna från densitetsomvandlarna. Dessutom finns den beräknade tidskonstanten med som beskriver dynamiken från DP till nivå. *) Störning på nivåsignalutgången K042.

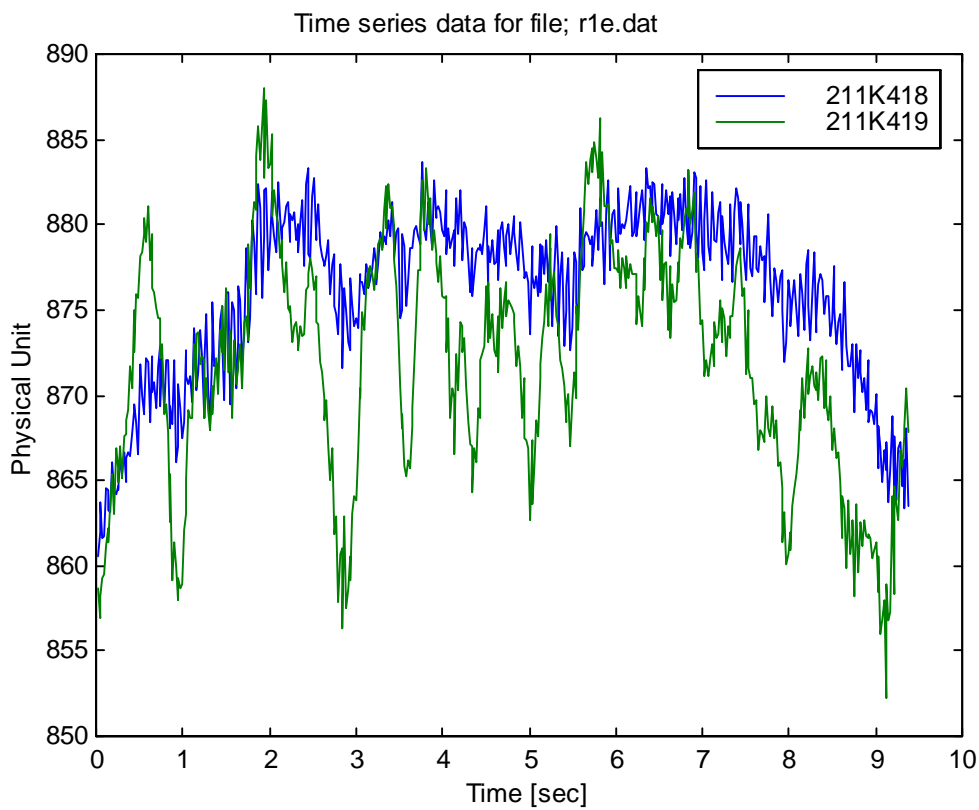
Input DP	Output Nivå (m)	Medelvärde (m)	Standard-Avvikelse (m)	Tidskonstant (ms)
211K403	211K041	3.53	1.38 e-002	237
211K420	211K044	3.27	1.57 e-002	209
211K421	211K043	3.19	1.30 e-002	218
211K402>	211K042	3.73	1.38 e-002	225 *
211K429	211K429komp	3.46	1.49 e-002	-
211K430>	211K430komp	3.71	0.61 e-002	-
211K401	211K401komp	3.24	0.99 e-002	73

3.6 Funktionen för densitetsomvandlarna K429 och K430

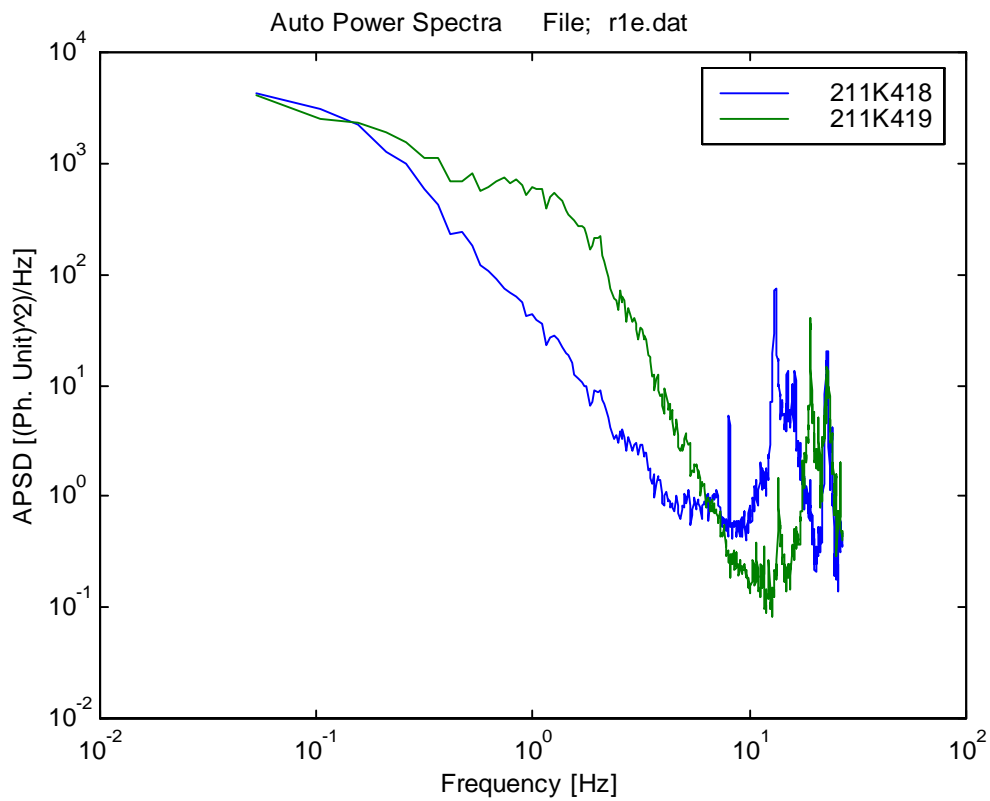
Mellan differenstrycket i 211K429 och nivåsignalen i 211K429komp sitter en digital densitetsomvandlare av typen ABB PLC master. Detsamma gäller 211K430 respektive 211K430komp. Den uppmätta nivåsignalen 211K429komp visas i Figur 3.11 och 3.12. Signalen ser mycket underlig ut och det är svårt att se ifall den överhuvudtaget följer med DP-signalen eller ej. Enligt GSE's erfarenhet från tidigare undersökningar med digitala omvandlare skall nivåsignalen noggrant följa dynamiken i insignalen med små trappsteg. I Figur 3.12 visas en uppförstorad del av tidsserien för 211K429komp. Signalen verkar ju grovt sett följa DP i dess upp- och nedgångar, men noggrannheten verkar dock vara väldigt dålig. Stegen är cirka 3 cm i 211K429komp-signalen, se Figur 3.12.

Nivåsignalen 211K430komp i Figur 3.13 och 3.14 uppvisar ett ännu mer märkligt beteende. Signalen innehåller en grundnivå och en mängd spikar som slår upp från denna nivå. Signalen verkar inte följa med i insignalens dynamik överhuvudtaget. Spikarna är cirka 7 cm i 211K430komp-signalen, se Figur 3.14.

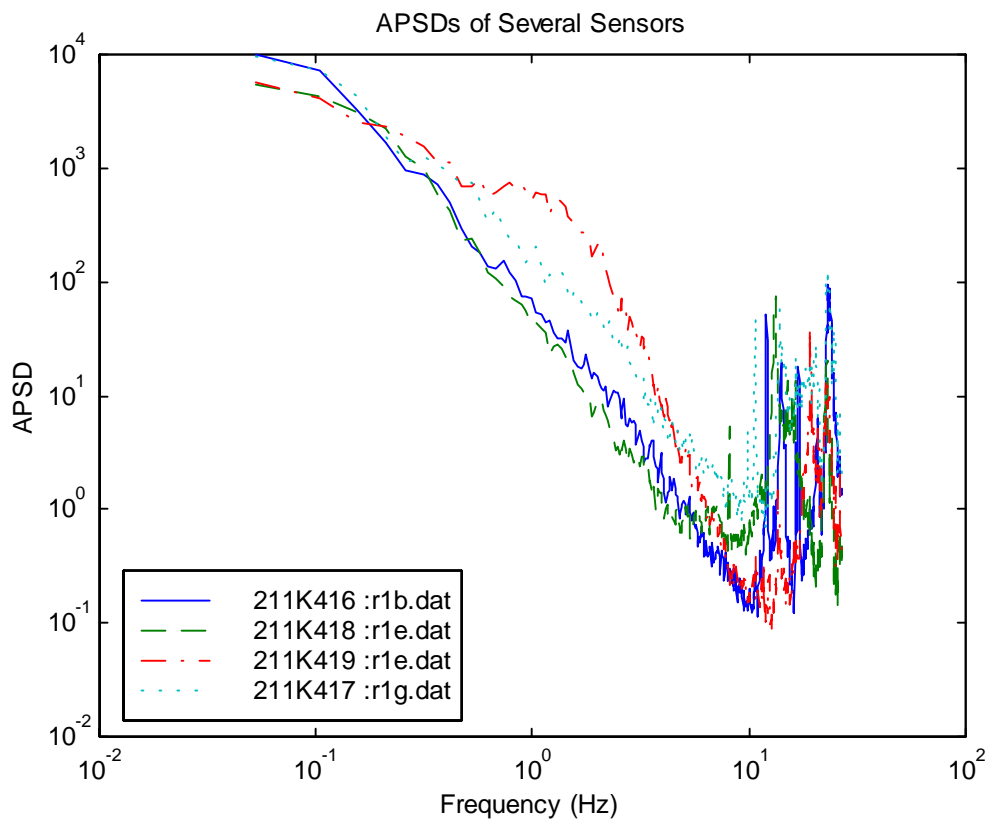
Enligt uppgift från Ringhals ska upplösningen vara 1 mm hos båda nivåsignalerna. Detta stämmer inte med de uppmätta signalerna, vilkas upplösning är 3 cm för 211K429komp och 7 cm för 211K430komp. Mot bakgrund av vad som kan förväntas av en digital densitetsomvandlare, blir GSE's slutsats att densitetsomvandlarnas funktion bör ifrågasättas.



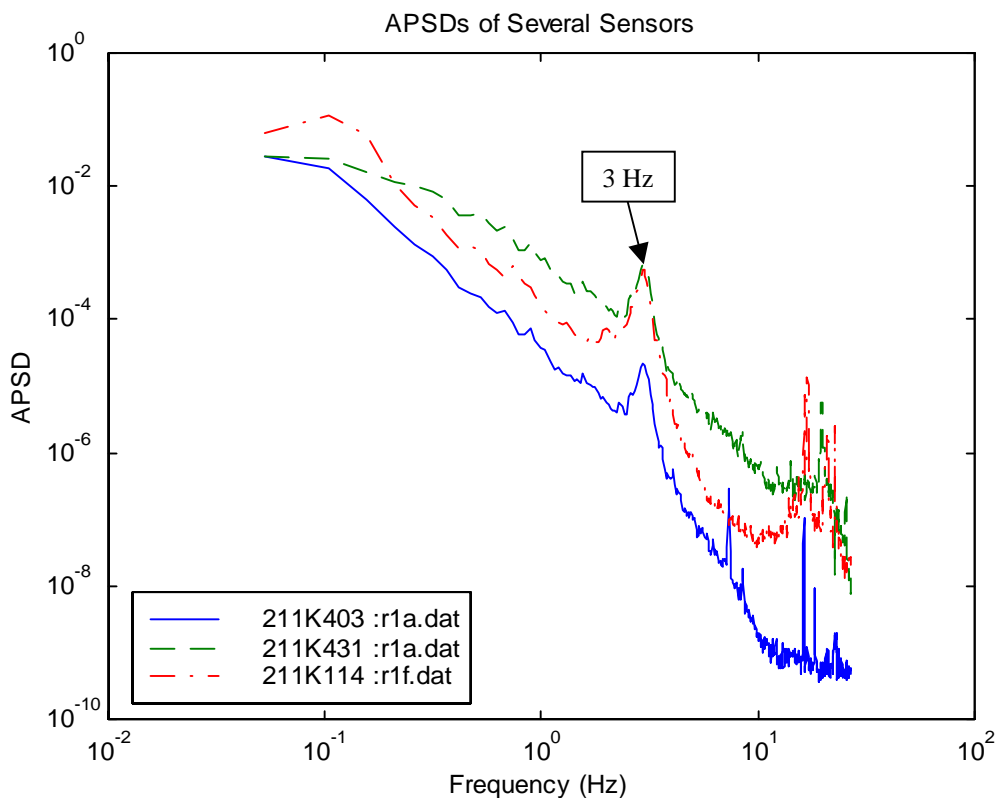
Figur 3.1 Jäsningsvaktsignalerna K418 och K419 som funktion av tiden. De är multipla och anslutna till samma impulsledning. Signalerna har registrerats i samma mätning. Signalerna borde överensstämma, men gör det inte.



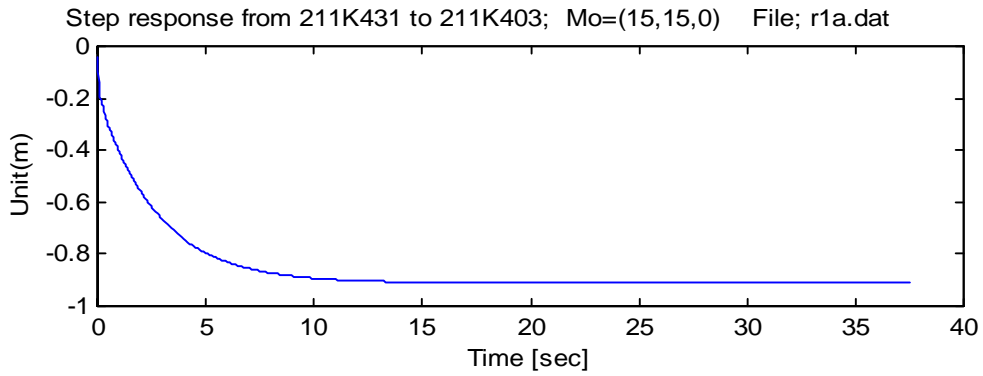
Figur 3.2 APSD för Jäsningsvaktsignalerna K418 och K419. Spektra borde överensstämma, men så är det inte.



Figur 3.3 APSD för Jäsningsvaktsignalerna K416, K417, K418 och K419. Observera att spektrumformen för K419 är avvikande.



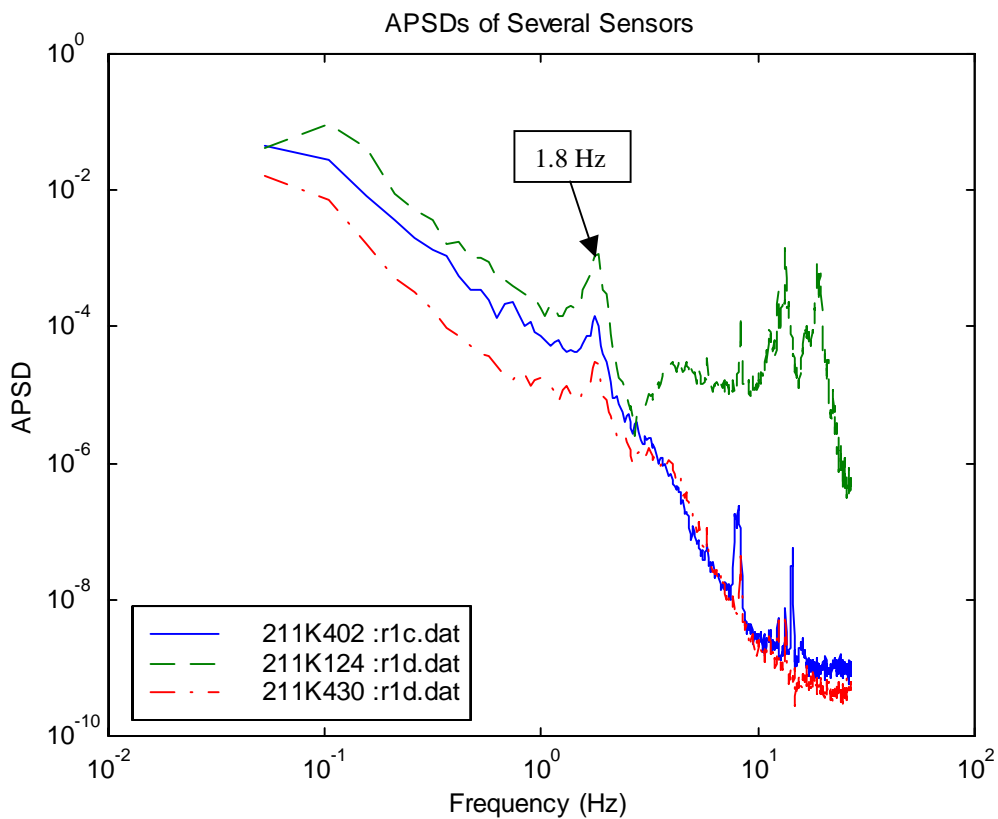
Figur 3.4 APSD för reaktornivåsignalerna K403 och K431 samt reaktortrycksignalen K114. Spektra uppvisar en gemensam resonans vid 3 Hz.



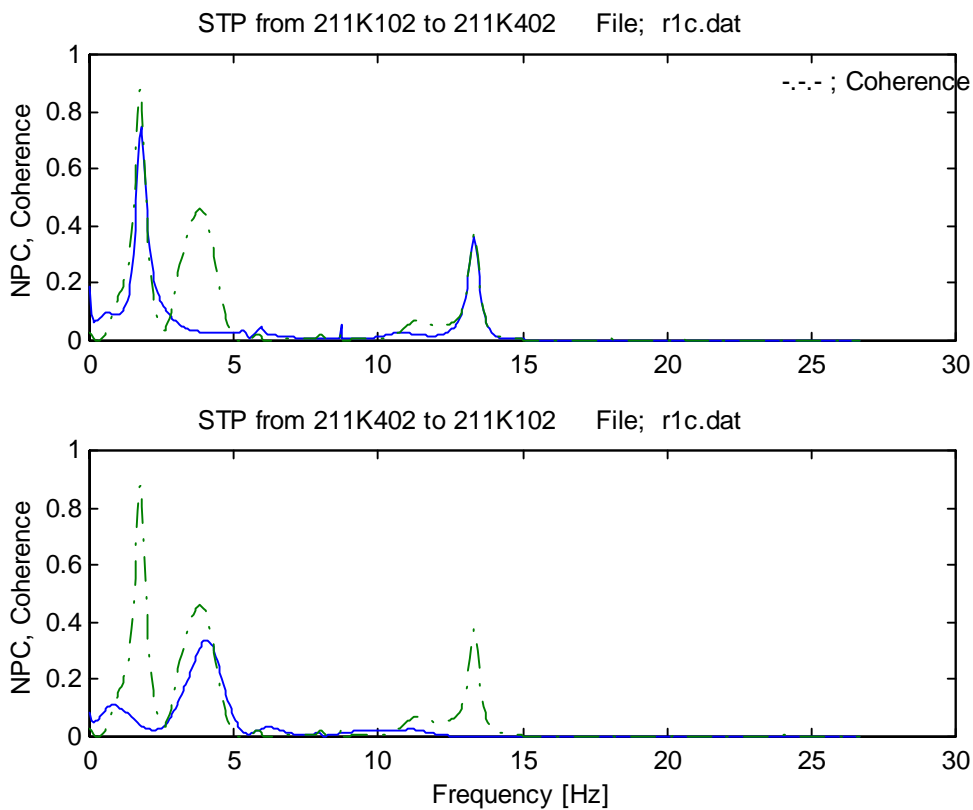
- Response characteristic parameters

Time const	; 2.1086 (sec)	PK overshoot	; 0 (%)
Rise time	; 5.6762	Final value	; 0.9112
Peak time	; Inf	Init data	; 1
Settle time	; 7.575	No data	; 34807
Peak value	; 0.9112	Sampl Frq.	; 53.3333 (Hz)

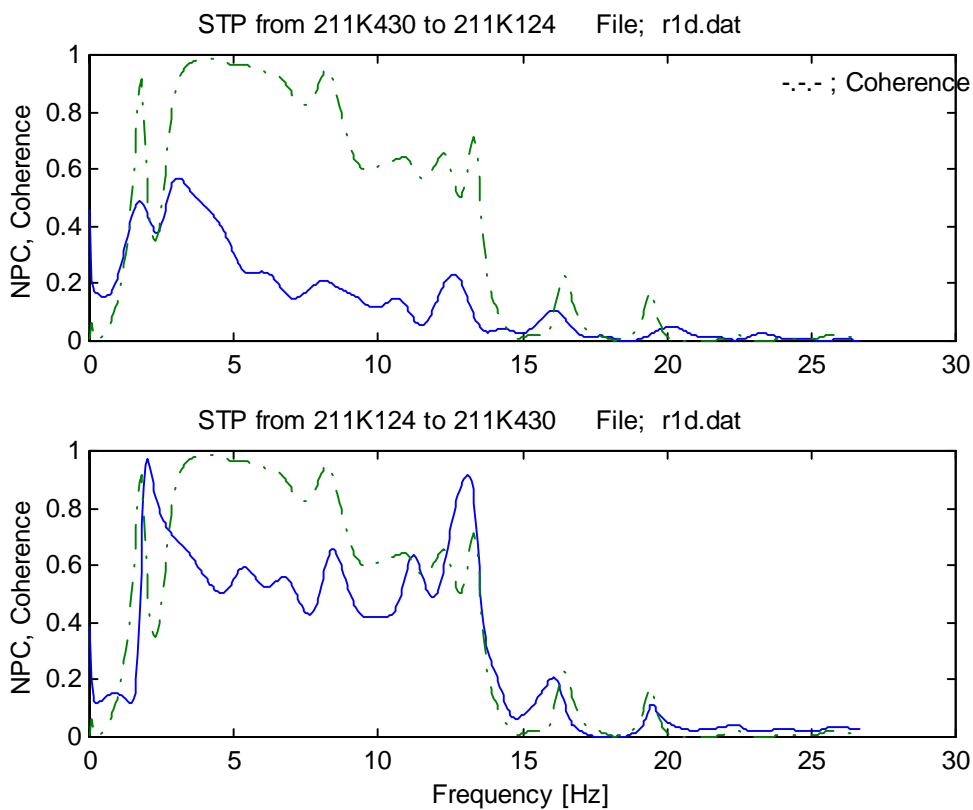
Figur 3.5 Stegsvartest med reaktornivåsignalen K431 som insignal och K403 som utsignal. Tidskonstanten = 2.1 s. Figuren visar också att signalerna är i motfas.



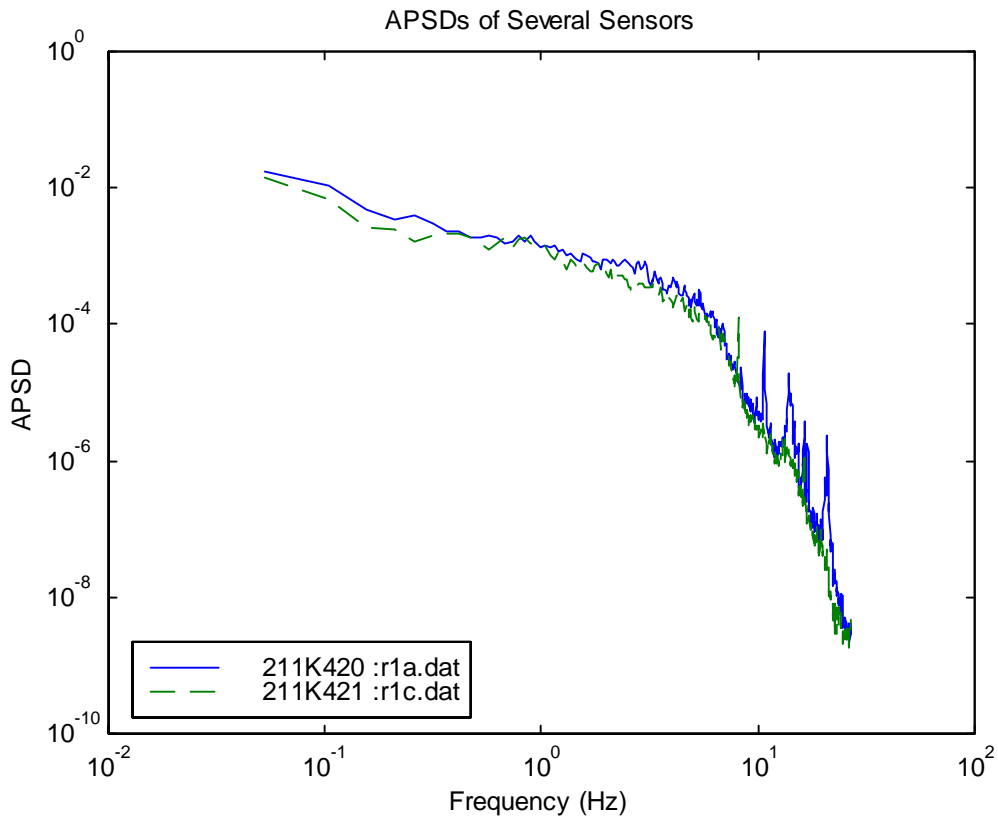
Figur 3.6 APSD för reaktornivåsignalerna K402, K430 och reaktortrycksignalen K124. Signalerna har en gemensam resonans vid 1.8 Hz.



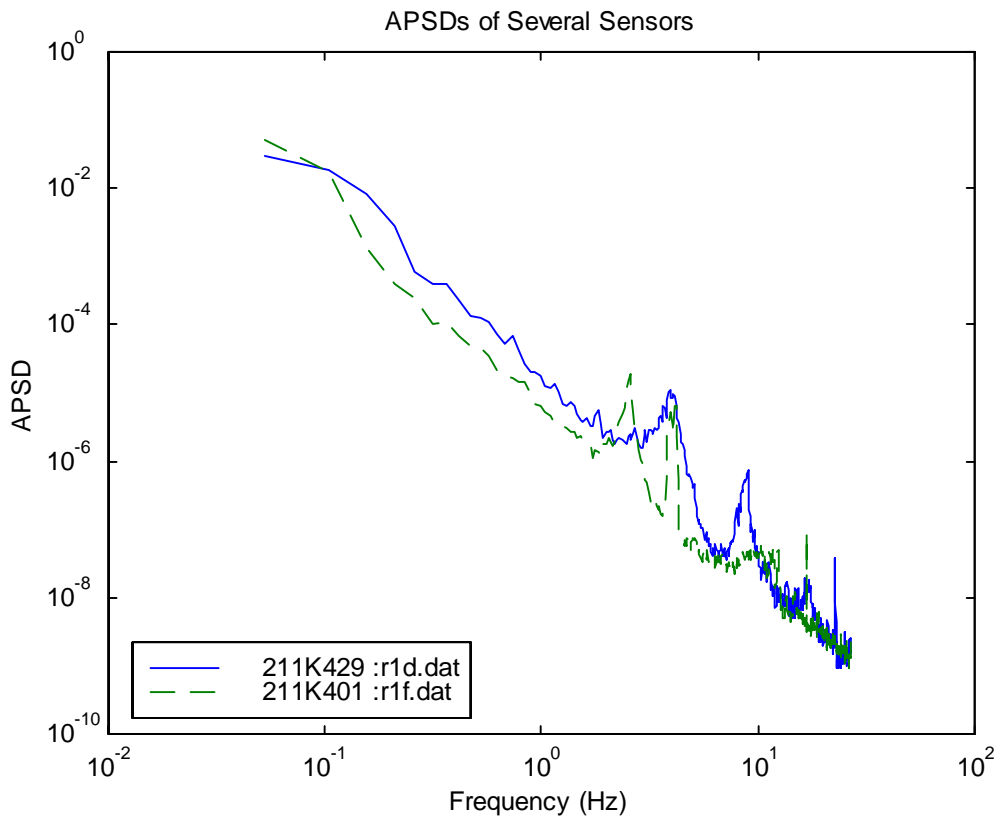
Figur 3.7 Koherensen mellan reaktortryck K102 och reaktornivå K402. Transmittorrarna har impulsledningen D gemensam. Den höga koherensen är ett tecken på anomali.



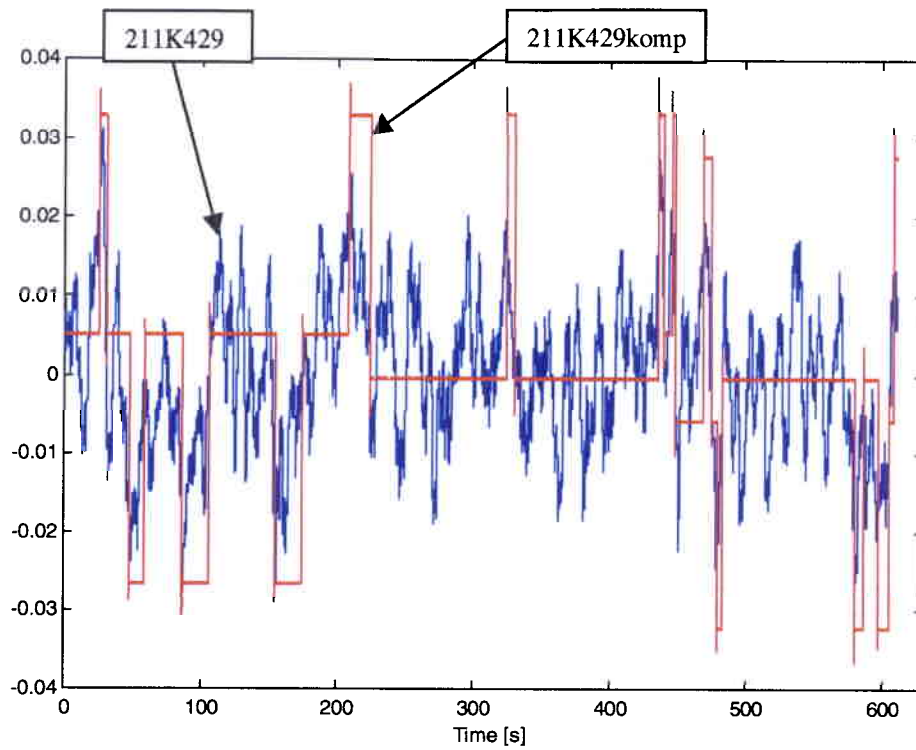
Figur 3.8 Koherensen mellan reaktortryck K124 och reaktornivå K430. Transmittorrarna har impulsledningen D gemensam. Den höga koherensen är ett tecken på anomali.



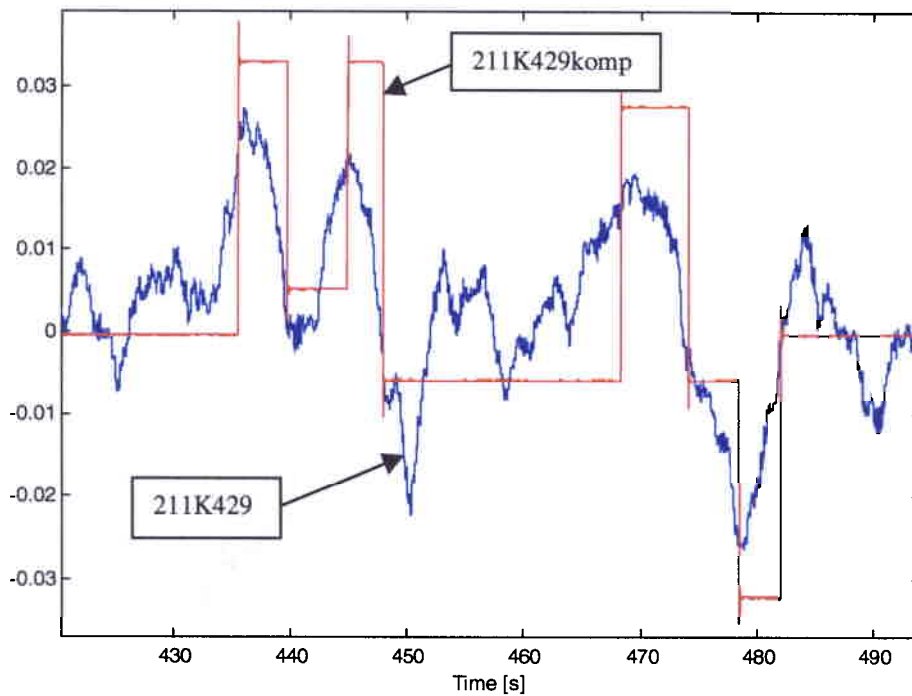
Figur 3.9 APSD för reaktornivåsignalerna K420 och K421. Signalerna är multipla men anslutna till olika tryckuttag.



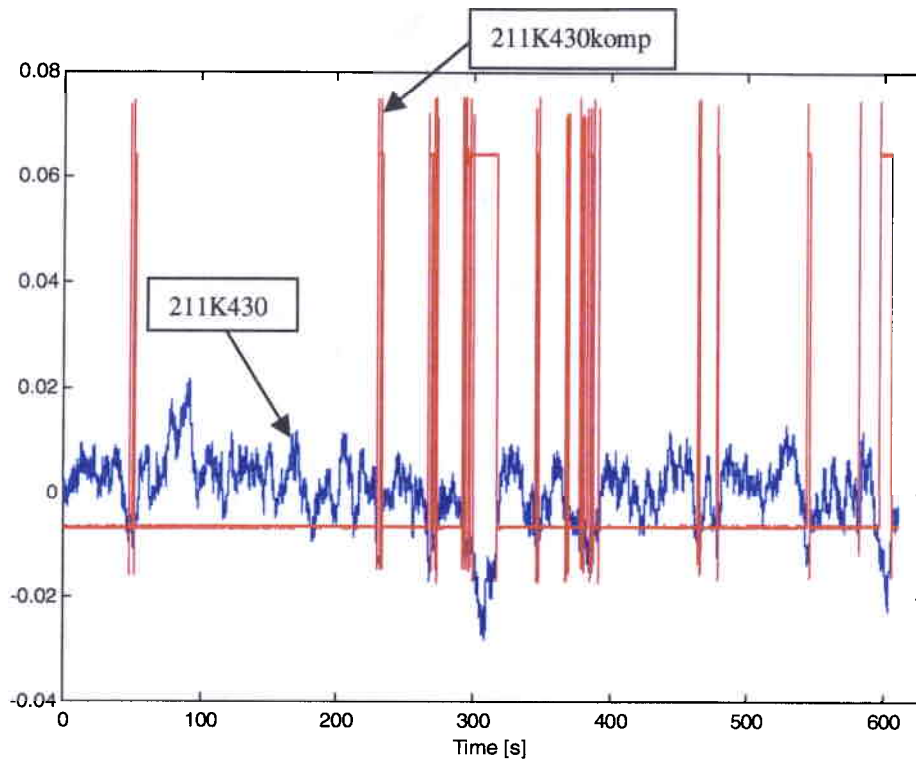
Figur 3.10 APSD för grov nivåsignalen K401 och reaktornivåsignalen K429. Dessa transmittorer är ej multipla och inte heller anslutna till samma impulsledning.



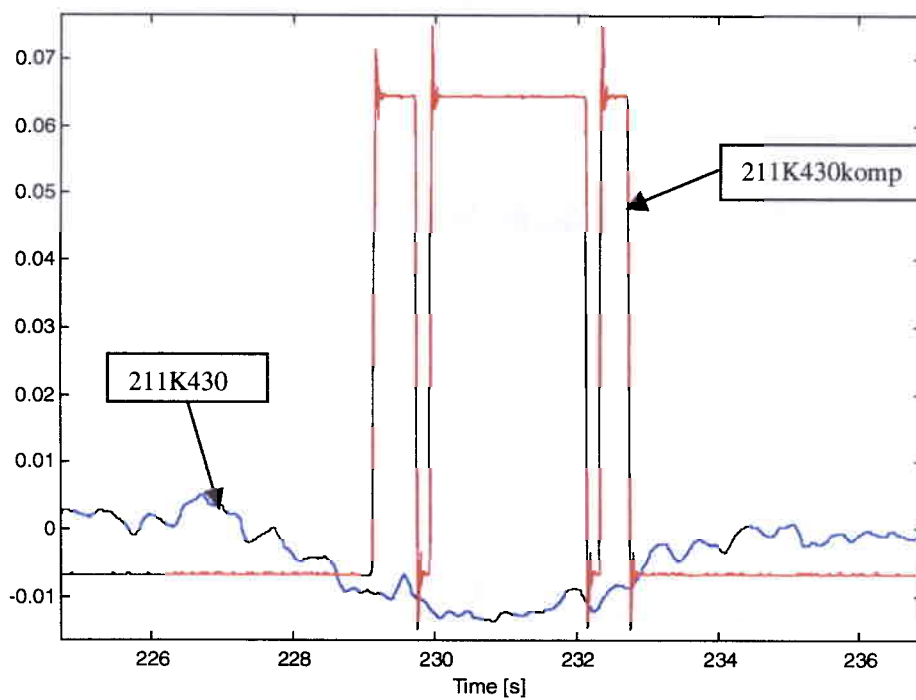
Figur 3.11 Reaktornivån i meter som funktion av tiden. Den blå kurvan visar 211K429, medan röd kurva visar 211K429komp. Observera att medelvärdet har eliminerats från signalerna.



Figur 3.12 Samma signaler som funktion av tiden som i Figur 3.11, men med ett annat tidsfönster.



Figur 3.13 Reaktornivån i meter som funktion av tiden. Den blå kurvan visar 211K430, medan röd kurva visar 211K430komp. Observera att medelvärdet har eliminerats från signalerna.



Figur 3.14 Samma signaler som funktion av tiden som i Figur 3.13, men med ett annat tidsfönster.

4 Resultat för Ångflöde- och Matarvattenflödesignalerna samt Laborrietest av givare

4.1 Resultat för Ångflödessignalerna

Undersökningen omfattar också analys av ångflödessignalerna. Dessa har benämningen 411K301, 411K302, 411K303 och 411K304. Transmitterarna mäter flödet i de 4 ångledningarna och de är alla av typen Hartmann & Braun AZI200 utom 411K303 som är en Rosemount 1151DP. Detta betyder att det inte förekommer några redundanta signaler. Resultaten från mätningen antyder dock att förhållandena är mycket likartade i de olika ångledningarna. Utom för signalen 411K304. Denna signal har förhöjt brus, se tidsregistreringen i Figur 4.2. I Figur 4.1 som visar signalens APSD framgår det att det förhöjda bruset är en resonans vid ungefär 10 Hz.

Tabell 4.1 visar medelvärden och standardavvikelser för ångflödessignalerna. Medelvärdena varierar i intervallet 313-326 kg/s medan standardavvikelsena varierar mellan 1.34-1.50 kg/s, utom för sensorn 411K304. Den förhöjda standardavvikelsen = 1.94 kg/s för signalen 411K304. Orsaken till den förhöjda standardavvikelsen är den resonans som denna sensorsignal uppvisar.

Slutsatsen blir alltså avvikande dynamik hos transmittern 411K304. Teoretiskt sett skulle det kunna hända något med flödet i ångledning 4 (exempelvis en gasbubbla i impulsledningen) som förklarar den observerade resonansen. Men bedömningen är att så är inte fallet.

Tabell 4.1 Medelvärden och standardavvikelser för ångflödessignalerna.

Signal	Position	Medelvärde	Standardavvikelse
411K301	Ångledning 1	326 kg/s	1.42 kg/s
411K302	Ångledning 2	315	1.50
411K303	Ångledning 3	313	1.34
411K304 oscillation?	Ångledning 4	325	1.94

4.2 Resultat för Matarvattenflödessignalerna

De två ledningar som förser Ringhals 1 med matarvatten är instrumenterade för 2 flödesmätningar i vardera ledning. Dessa sensorpar benämnes (415K301, 415K303) och (415K302, 415K304). I Tabell 4.2 visas medelvärden och standardavvikelser för signalerna. Den parvisa överensstämmelsen mellan medelvärdena är acceptabelt god. Förvånande är dock att skillnaden är så stor mellan standardavvikelsena. 415K301 och 415K303 har 2.12 respektive 5.3 kg/s medan sensorparet 415K302 och 415K304 har 2.12 respektive 5.18 kg/s.

Tolkningen till detta är att det sensorpar som mäter på exempelvis matarvattenledning 1 är av olika typ och kan dessutom ha olika filtreringar, se Tabell 4.2 och Figur 4.3-4.4.

Enligt uppgift från verket har 415K301 & 415K302 ”dämpningen = 3 s” medan 415K303 & 415K304 har ”dämpningen = 1.66 s”. Detta skulle kunna förklara den observerade avvikelser i dynamik.

Flödessignalerna som funktion av tiden samt APSD för signalerna visas i Figur 4.3-4.6. APSD för de olika signalerna styrker observationerna i tidsplanet. AZI200 transmittornas signaler uppvisar en annan filtrering.

Tabell 4.2 Medelvärden och standardavvikelser för matarvattenflödet registrerat med de fyra flödessensorerna.

Sensor	Typ	Medelvärde	Standardavvikelse
415K301 ledning 1	H&B AZI200	618 kg/s	2.44 kg/s
415K303 ledning 1	Rosemount 1151DP	630	5.30
415K302 ledning 2	H&B AZI200	614	2.12
415K304 ledning 2	Rosemount 1151DP	618	5.18

4.3 Laborrietest av trycktransmittar

En aktivitet under sensorundersökningen var laborrietest av trycksensorer. Testen innebar att tre transmittar sammankopplades till ett gemensamt tryckuttag och utsattes sedan för snabba tryckändringar som genererades med tryckluft. Eftersom givarna har samma insignal beror eventuella skillnader i respons på dynamiken hos de enskilda transmittarna.

De transmittar som ingick i testen var: Hartmann & Braun AVI200, Hartmann & Braun ASK800 och Rosemount 3051C-smart. De två sistnämnda givarna är digitala. ASK800 transmittern har sådan inställning att extra elektronisk filtrering saknas. Samma sak gäller Rosemount 3051C-smart transmittern.

Resultaten visas i tidsform i Figur 4.7-4.8. Det är uppenbart att såväl Rosemount 3051-smart som ASK800 har döttidsfördröjning. Dödtid är den tid som förlöper efter en tryckändring till dess att sensorn reagerar. Dödtid är typiskt för digitala komponenter.

Figuren visar också att AVI200 har kortare tidskonstant än ASK800. Rosemount 3051C-smart däremot har kortare tidskonstant än AVI200. Tidskonstanten är ett mått på lutningen hos stegsvarskurvan vid förändring från en trycknivå till en annan.

I Tabell 4.3 framgår sensorernas uppskattade dödtider och tidskonstanter. Tidskonstant måtten kan enbart tolkas relativt varandra eftersom den sanna trycksignalen saknas.

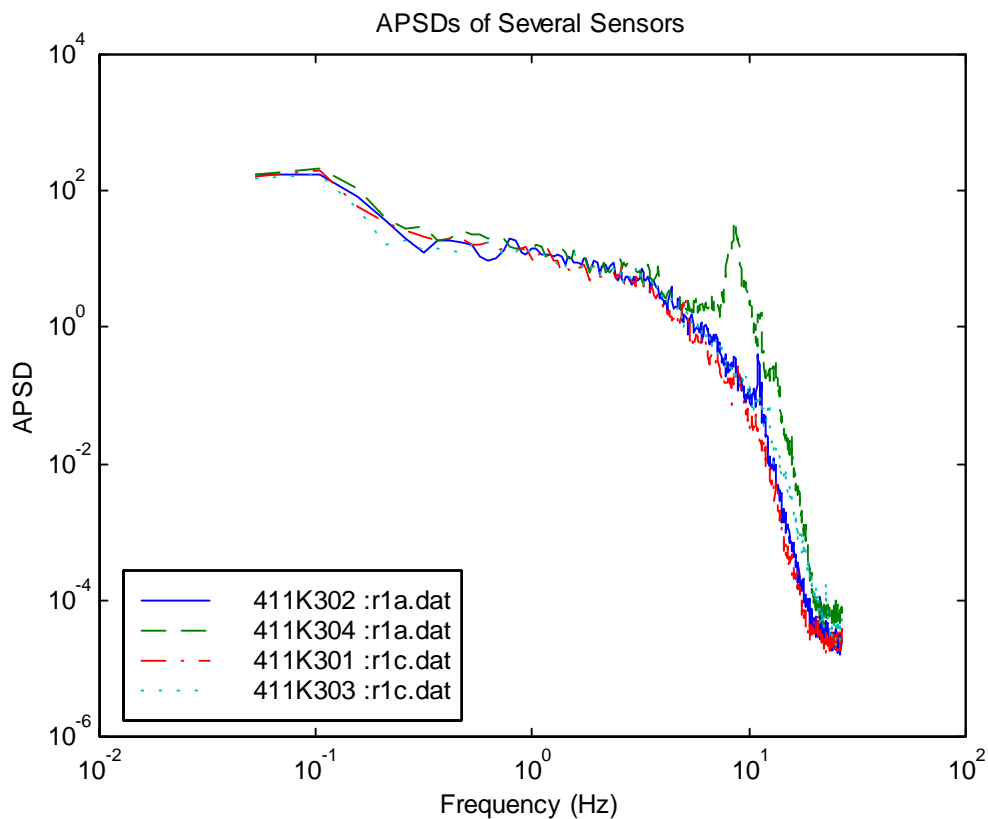
APSD för de testade transmittersignalerna visas i Figur 4.9. Det är uppenbart att de tre sensorerna överensstämmer mycket väl med varandra upp till 2 Hz. Sedan skiljer de sig

åt. ASK800 visar ett mer filtrerat uppträdande än de andra två. Detta är att vänta med tanke på observationerna i tidserieform.

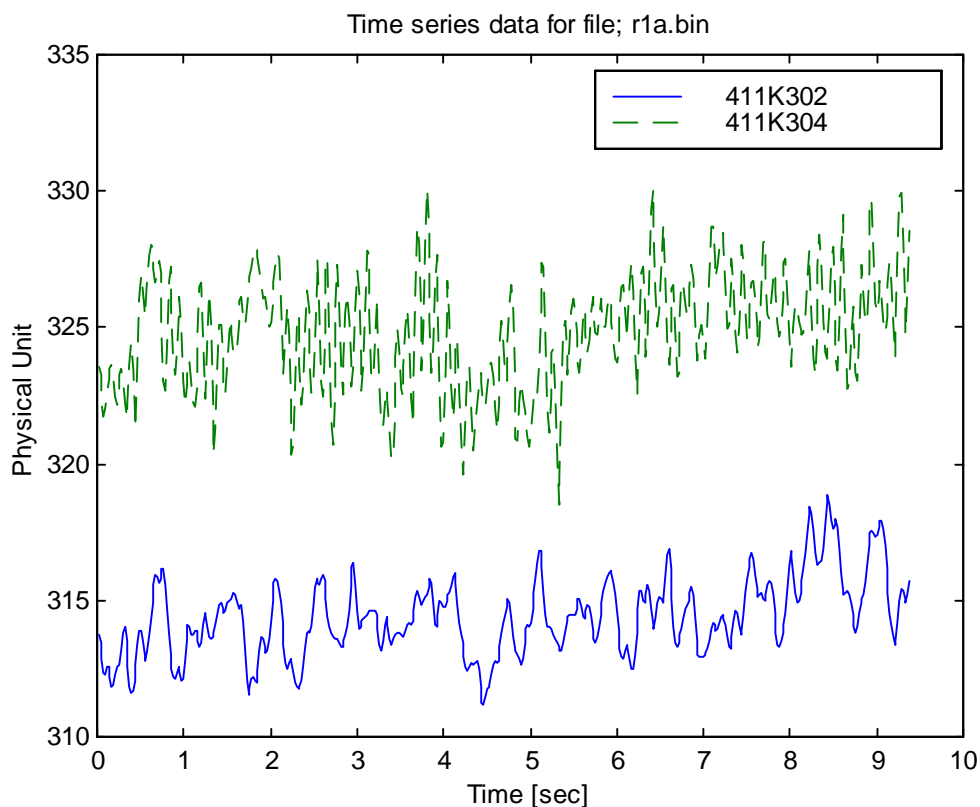
Rosemount 3051C-smart och AVI200 följs åt upp till 5 Hz, sedan avtar överensstämmelsen för högre frekvenser. Det är tydligt att Rosemount 3051C-smart har högre frekvenskomponenter än AVI200. Även detta resultat är rimligt med tanke på den ojämna form som signalen från Rosemount 3051C-smart har, se Figur 4.8.

Tabell 4.3 Resultat av laboratorietest med trycksensorer. Uppskattad dödtid och tidskonstant ska jämföras med varandra eftersom den ”sanna” trycksignalen saknas.

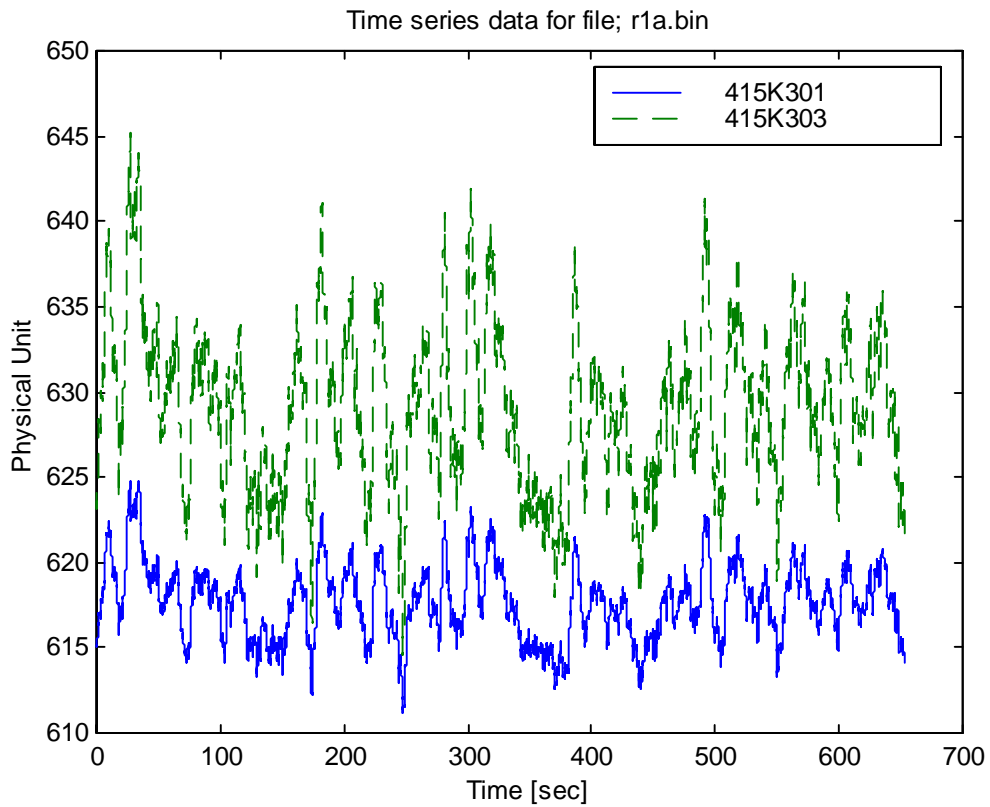
Transmitter	Typ	Tidskonstant (ms)	Dödtid (ms)
H&B AVI 200	Analog	83	-
H&B ASK800	Digital	133	95
Rosemount 3051C-s	Digital	78	61



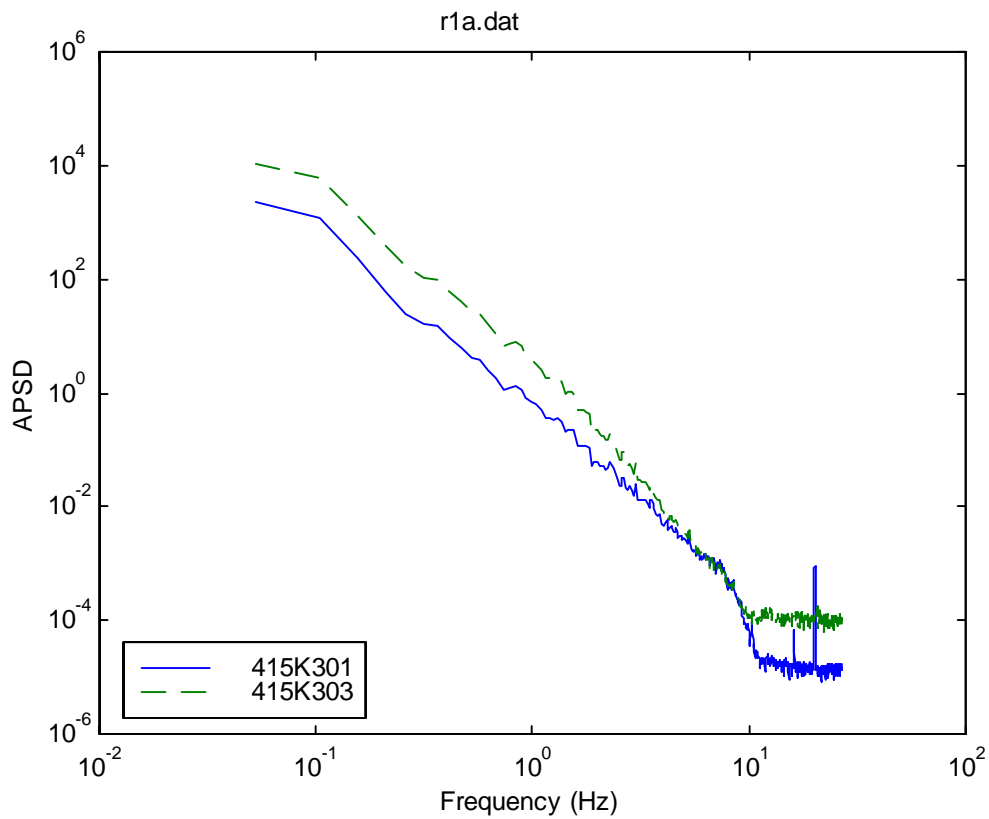
Figur 4.1 APSD för Ångflödessignalerna 411K301, 411K302, 411K303 och 411K304.



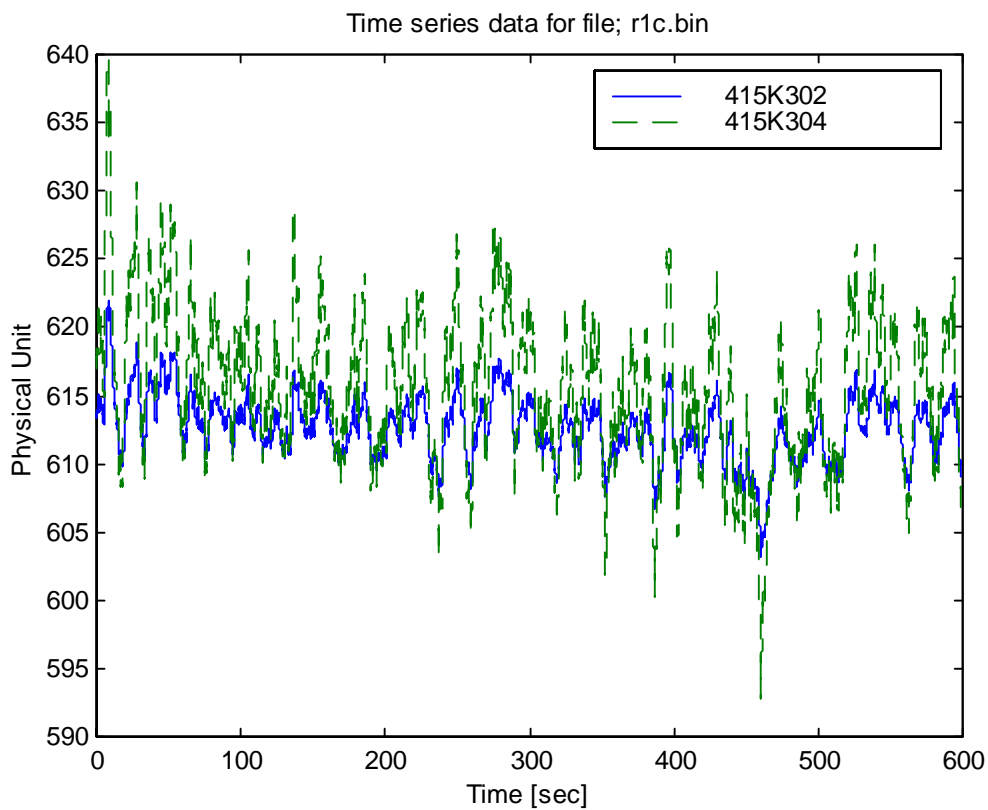
Figur 4.2 Ångflödessignalerna 411K302 och 411K304 som funktion av tiden.



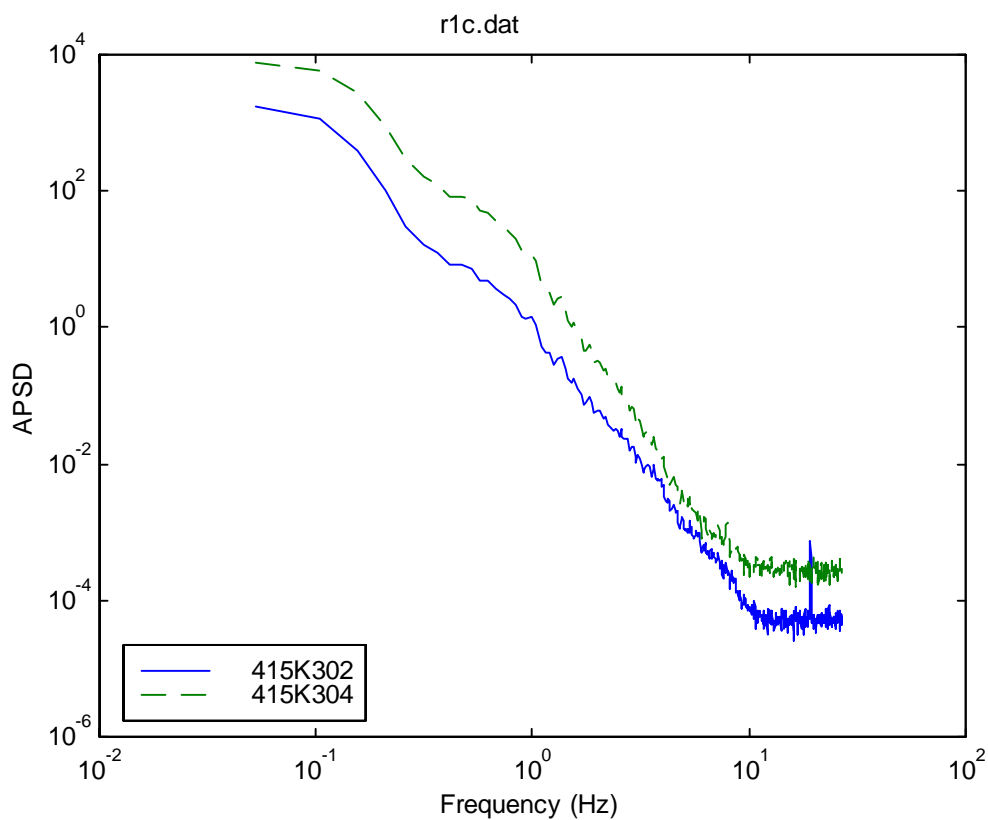
Figur 4.3 Matarvattenflödessignalerna 415K301(AZI200) och 415K303(Rosemount 1151DP) som funktion av tiden. Transmitterna är multipla och anslutna till samma impulsledningar till matarvattenledning 1.



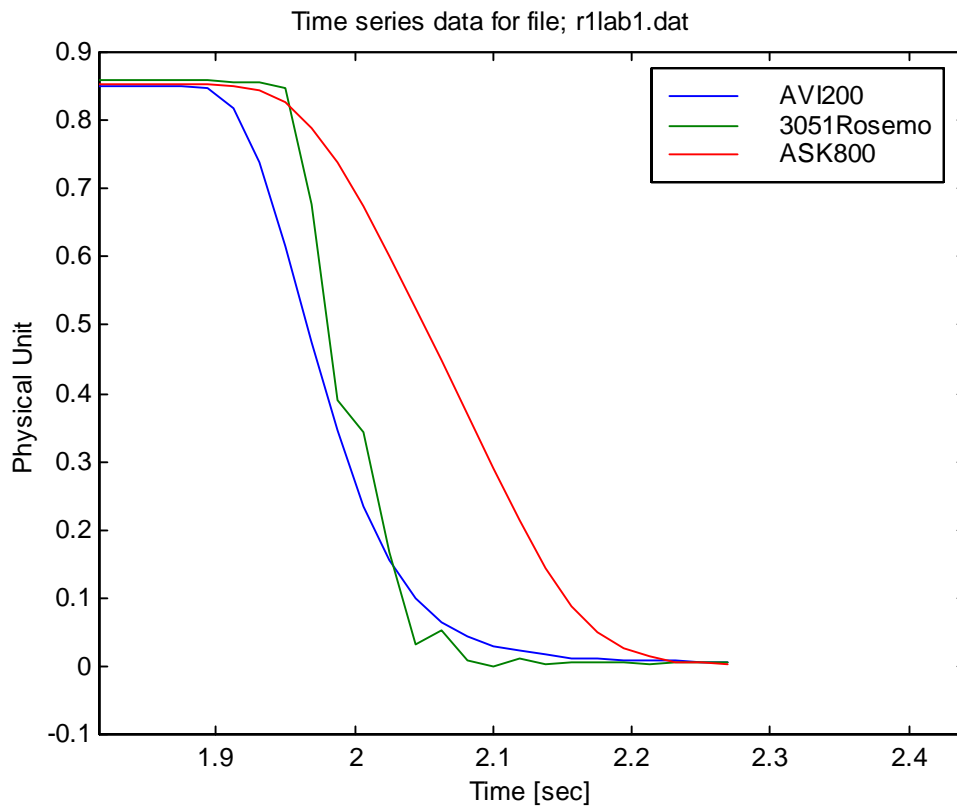
Figur 4.4 APSD för matarvattenflödessignalerna 415K301 och 415K303.



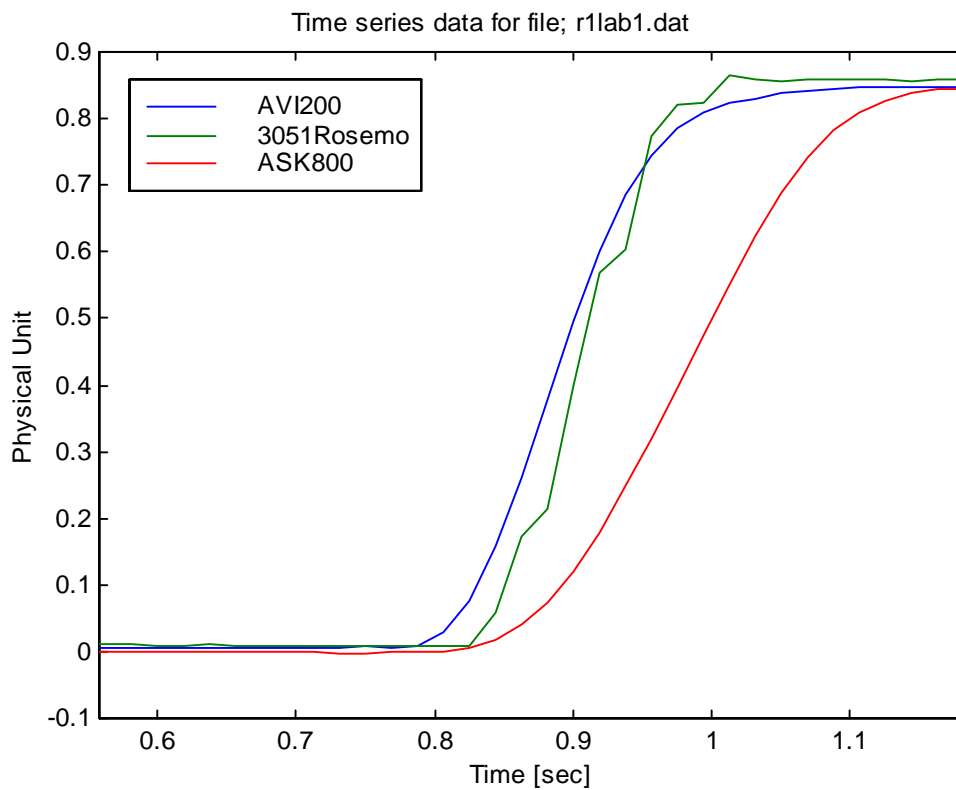
Figur 4.5 Matarvattenflödessignalerna 415K302(AZI200) och 415K304(Rosemount 1151DP) som funktion av tiden. Transmittorna är multipla och anslutna till samma impulsledningar till matarvattenledning 2.



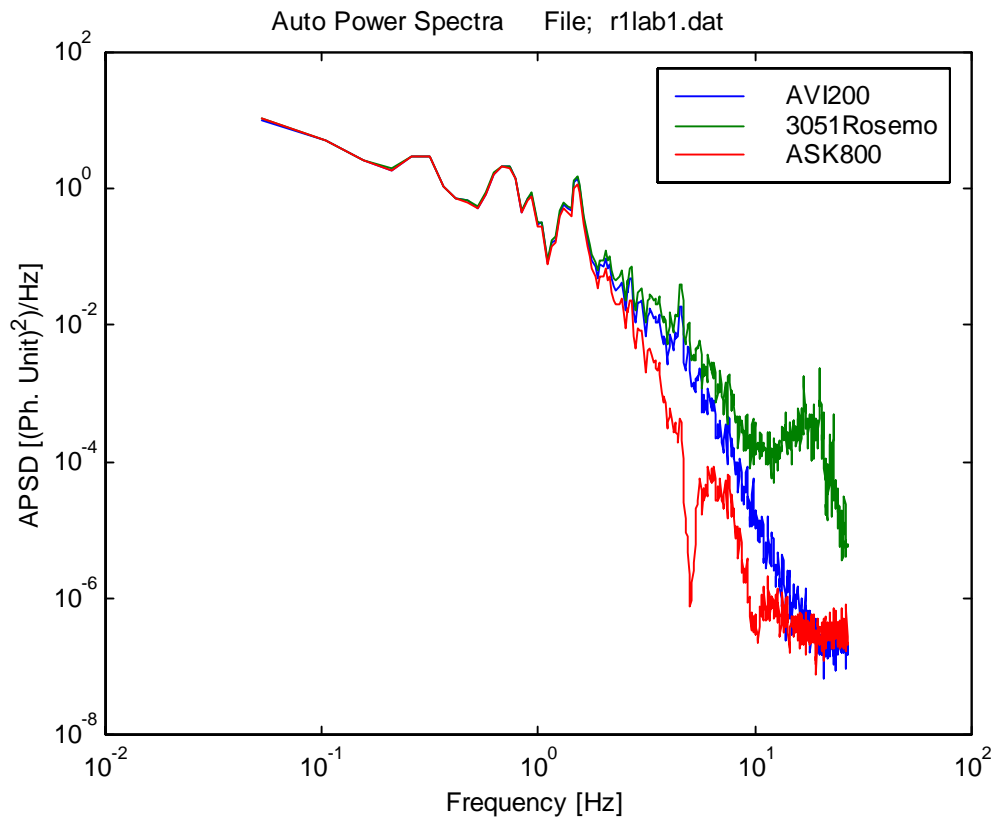
Figur 4.6 APSD för matarvattenflödessignalerna 415K302 och 415K304.



Figur 4.7 Dynamiktest av tryckgivarna AVI200(analog), 3051 Rosemount(digital) och ASK800(digital) i laboratorium. Observera den tydliga dödtid som de digitala sensorerna uppvisar.



Figur 4.8 Dynamiktest av tryckgivarna AVI200(analog), 3051 Rosemount(digital) och ASK800(digital) i laboratorium.



Figur 4.9 APSD för transmittersignalerna Hartmann & Braun AVI200, Rosemount 3051C-Smart och Hartmann & Braun ASK800.

5 Resultat för neutronflödessignalerna

5.1 Bakgrund till sondvibrationer

Neutronflödestätheten i reaktorhärden mäts med 144 LPRM (Local Power Range Monitor) detektorer. Detektorerna är organiserade i 36 sonder. Varje sond innehåller fyra LPRM jämnt fördelade på sondens längd. Sonderna sitter i ett instrumentrör med diameter ~1.8 cm och med samma längd som härden ~380 cm. Instrumentrören är fastspända med en fästpunkt i varje ända, med den nedre fästpunkten i patronuppställningsplattan och den övre i härdgallret. Detta betyder att det långsmala instrumentröret beter sig som en gitarrsträng och börjar svänga med sin resonansfrekvens, ifall det exiteras. Resonansfrekvensen för fria vibrationer hos sondrören är typiskt mellan 2 och 3 Hz. Kylvattnets närvaro runt en sond påverkar dess resonansfrekvens och enligt GSE's erfarenhet så ökar den med ökande kylflöde. Vibrationernas amplitud påverkas också av kylflödet och amplituden ökar även den med ökande kylflöde. Ifall neutronflödestätheten uppvisar en gradient vid sondpositionen fås oscillationer i detektorsignalerna när sonden vibrerar. Detta illustreras i Figur 5.1.

I tidiga konstruktioner av patronuppställningsplattan i ABB-reaktorer matades kylvatten in i spalten mellan bränsleelementen genom hål i plattan intill sondpositionerna. Dessa hål gav upphov till jetströmmar som i sin tur medförde kraftig turbulens i strömningen runt sonden och ständiga tryckstötter på densamma. Sonden kunde således börja vibrera. Vibrationsamplituden beror förutom på styrkan hos strömningsturbulensen även på hur mycket ledigt utrymme som finns tillgängligt för sonden. Före cykel 16 i Oskarshamn-2 (1991/92) så fanns minimalt utrymme för sonderna och inga skador hade observerats. Vid denna tidpunkt började man dock symmetrisera härden genom att flytta bränsleelement mot styrstavspositionerna och man bytte även bränsle mot modernare varianter med tunnare boxväggar. Flyttningen av bränslet gav sonderna något större utrymme ca. 6 mm mot 3,7 mm tidigare. Dessa två faktorer fick till följd att många sonder i O-2 började vibrera med tillräcklig amplitud och energi för att orsaka nötningskador på bränsleboxhörnerna. Vid revision efter cykel 16 upptäcktes ett bränsleelement med hål i boxväggen som följd av kraftiga sondvibrationer.

Efter händelsen med hål i box i O-2, tillverkade och installerade GSE en monitor kallad VIBMON för övervakning av eventuella sondvibrationer och bedömning av risken för stötter mot bränsleboxarna. VIBMON installerades i April 1992 och gav larm för 11 sonder. Vid följande revision hittades en box med hål och ett flertal nötningskador. I Figur 5.2 visas största uppmätta nötningsdjupet på boxhörnerna runt varje sond. VIBMON larmade för de 7 sonder som befanns ha störst nötningskador inklusive den sond som orsakade ett hål i en box. De sonder som gav larm i VIBMON markeras i figuren med en ring. Vid revision 1992 pluggades kylvattenhålen och resultatet blev generellt avsevärt lägre vibrationsamplituder för sonderna. Trots det fick man larm för en sond under cykel 17 (1992/93) och små nötningskador upptäcktes vid revision. Under cykel 18 (1993/94) blev det återigen larm för en sond och denna gång hittades ett hål i en box. Sedan 1994 har det dock varit lugnt och inga ytterligare skador har upptäckts.

Signalbehandling av LPRM signalerna i en sond ger snabbt besked ifall vibrationer förekommer samt viss möjlighet att bedöma risken för stötar mot bränsleboxarna. En fullständigt säker metod för detektering av stötar finns dock inte. En orsak till detta är att storleken på flödesgradienten är okänd. Samtidigt är flödesgradienten en väldigt viktig parameter, eftersom den är ansvarig för att de mekaniska vibrationerna ger utslag i detektorsignalen. I ett ovanligt men tänkbart scenario skulle gradienten kunna vara noll och då syns inga vibrationer i signalerna, trots att vibrationer kan förekomma med stor amplitud. Genom att räkna ut flera olika statistiska mått på signalerna kan man få en samlad bild av vibrationernas beteende och göra en bedömning av risken för stötar. Bedömningen baserar man på tidigare erfarenheter av motsvarande statistiska mått för de fall där det är känt att stötar har förekommit. I fallet med O-2 beräknas de statistiska måtten automatiskt i VIBMON och larm för att indikera förekomsten av vibrationer sätts utifrån tröskelvärden. Före varje avställning genomfördes dock en manuell tolkning av måtten för att bedöma risken för stötar.

5.2 Resultat från Ringhals 1

I denna sensorundersökning i Ringhals 1 ingår LPRM signalerna i sub A samt motsvarande APRM signal. APRM signalen ges av medelvärdet av LPRM signalerna. De uppmätta neutronflödessignalerna är delade på två delmätningar och de ingående signalerna anges i Tabell 8 och 9 i Bilaga Mätsignaler. APRM signalen ingår i båda delmätningarna. Spektrum (APSD) för LPRM signalerna visar att sondvibrationer förekommer för sönerna 12, 16, 24, 28 och 35. Av totalt 10 uppmätta sonder (2 LPRM signaler tillhörande varje sond) i sub A visar 5 tecken på sondvibrationer.

Figur 5.3 visar APSD för LPRM signalerna i sond 12. Spektrum uppvisar en typisk sondvibrationstopp vid 2,6 Hz i båda signalerna. Vi förväntar oss att vibrationsamplituden skall vara större för en LPRM nära sondens mitt än för en LPRM nära toppen eller botten. Detta stämmer även för signalerna i sond 12, där LPRM 12:2 (blå linje) har större svängningsamplitud än LPRM 12:4 (grön linje). Koherens och fas mellan LPRM 12:2 och 12:4 visar att koherensen är nära ett och fasfördröjningen nära noll vid frekvensen för sondvibrationerna. Detta faktum bekräftar att det är fråga om sondvibrationer och inte något annat fel på en enstaka LPRM detektor.

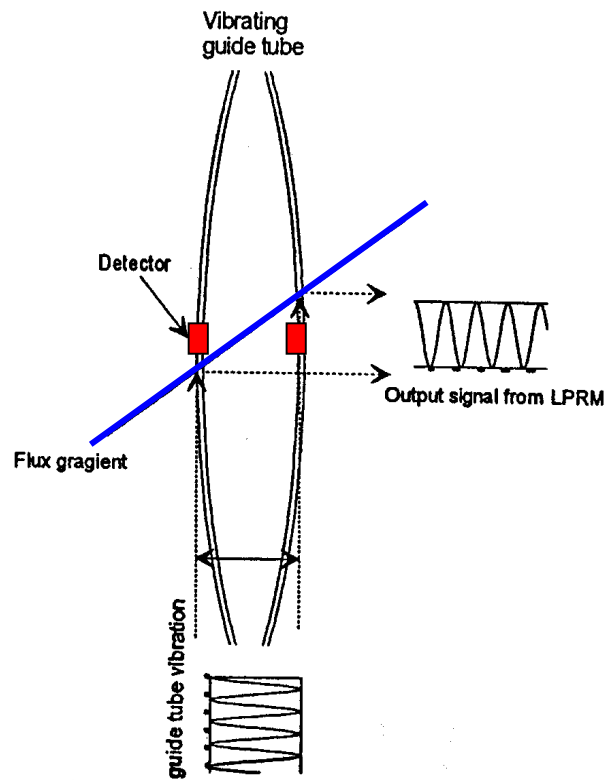
Spektrum i Figur 5.3 visar att sondvibrationerna är mycket starka och har en tillräckligt stor amplitud för att lätt observeras i tidssignalen. Tidssignalen för LPRM 12:2 visas i Figur 5.4, där det också framgår att medelvärdet är ungefär 105% och vibrationsamplituden är ~3% från topp till topp. Sond 16 och 35 visar på liknande beteende och ungefär samma frekvens som sond 12, men med lägre amplitud på vibrationstopparna. Sond 24 och 28 däremot uppvisar ett annorlunda beteende med en avsevärt lägre vibrationsfrekvens vid 1,4 Hz samt tendenser till ett antal övertoner vid multipla frekvenser till grundfrekvensen (detta gäller speciellt för signalen LPRM 28:2). För dessa båda sonder är svängningsamplituderna i LPRM signalerna tillräckligt starka för att lätt observeras i tidssignalen. I Figur 5.5 visar vi tidssignalen för LPRM 28:2 med 1,4 Hz svängningar. Signalen visar en svängning som liknar en fyrkantvåg, vilket förklarar varför signalens spektrum uppvisar många övertoner. Eftersom det krävs ett stort antal termer i en Fourier-serie för att beskriva en fyrkantvåg, så ger Fourier-

transformen av en fyrkantvåg toppar vid alla multiplar av grundtonen med minskande amplitud. Den här typen av beteende har observerats tidigare i andra reaktorer och fenomenet kan tolkas som att sonden har två grundlägen med olika statistisk neutronflödestäthet och när den växlar läge fås en skiftning i signalnivå. Växlingarna mellan olika nivåer uppfattar vi som en fyrkantvåg eftersom de sker med en typisk period. Fenomenet med att sonden antar två olika lägen kan till exempel bero på att någon infästning av sonden har fått ett nyckelhålsliknande utseende med två typiska ytterlägen, som sonden kan växla mellan. Det är också möjligt att beteendet kan uppstå p.g.a. en komplicerad struktur hos neutronflödesgradienten. Den ovanliga grundfrekvensen på 1,4 Hz kan dock inte förklaras av detta.

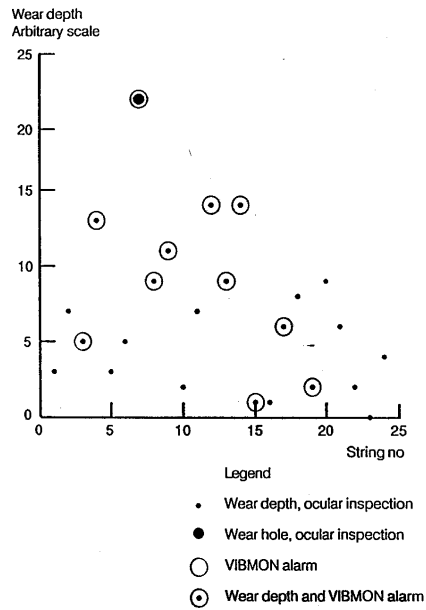
Vi har utvärderat de uppmätta LPRM signalerna i sub A och resultaten avseende sondvibrationer är sammanfattade i Tabell 5.1. Vi har sammanfattat uppgifter om sondvibrationernas förekomst, resonansfrekvens, amplitud (i fysikalisk enhet, ej normaliserad) och risken för stötar. Risken för stötar har bedömts utifrån våra tidigare erfarenheter av sondvibrationer och värderats enligt en 4-gradig skala med värdena: ingen risk, låg, medel och hög risk. Eftersom svängningsamplituderna är stora för sönerna 12 och 28, så bedömer vi att risken för stötar är *medel* enligt vår skala. Sond 24 kan anses ha något lägre risk, det vill säga låg till medel risk. Amplituderna för sond 12 och 28 är tillräckligt stora för att ge upphov till larm enligt de kriterier som VIBMON använder. Spektra och de olika statistiska måtten indikerar dock i första hand fria vibrationer för alla tre sönerna 12, 24 och 28 och vi bedömer således att det finns en viss risk för stötar, men risken för stora nötningsskador är låg. En okulärbesiktning av boxhörnen runt de tre sönerna 12, 24 och 28 kan med fördel genomföras för att kontrollera ifall någon nötningsskada har inträffat. För sönerna 24 och 28 kan en besiktning av sönernas infästningspunkter ge besked ifall deras otypiska vibrationsfrekvenser beror på förslitning eller något liknande problem i infästningarna. Eftersom vi endast har uppmätt signaler från sonder i sub A i denna undersökning, så vet vi inget om situationen för de övriga sönerna. Det kan finnas sondvibrationer även bland övriga sonder och en undersökning av situationen för dessa sonder rekommenderas.

Tabell 5.1 Sammanfattning av egenskaper hos sondvibrationerna i sub A.

Sond	Sondvibrationer	Resonans- frekvens	Amplitud	Risk för stötar
1	Nej	-	-	Ingen
3	Nej	-	-	Ingen
10	Nej	-	-	Ingen
12	Ja	2,6 Hz	2,8%	Medel
14	Nej	-	-	Ingen
16	Ja	2,8 Hz	0,14%	Ingen
24	Ja	1,4 Hz	1,9%	Låg
26	Nej	-	-	Ingen
28	Ja	1,5 Hz	2,8%	Medel
35	Ja	3,1 Hz	0,05%	Ingen

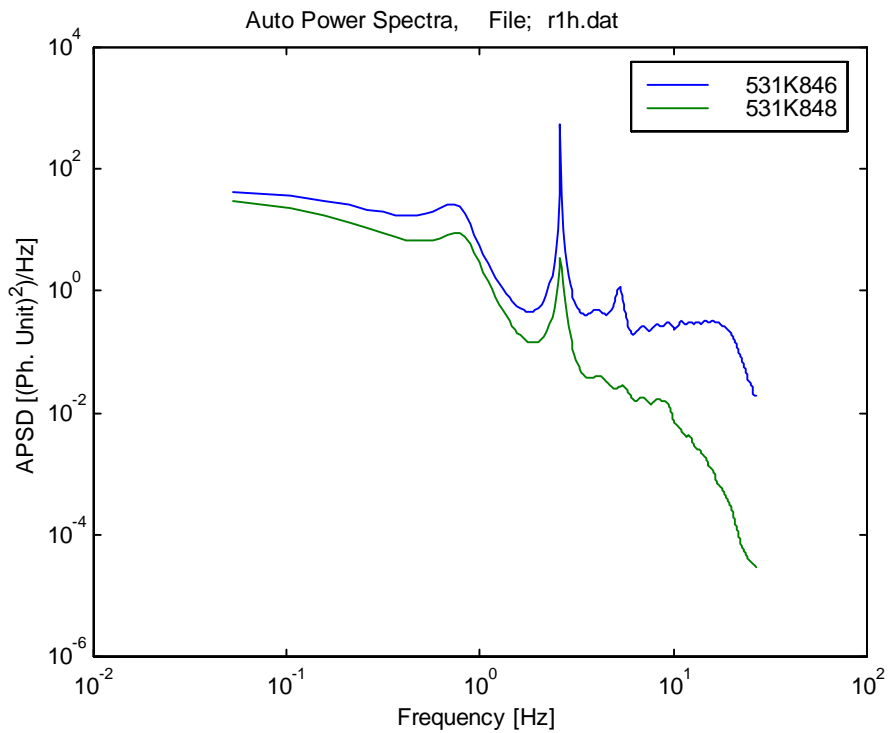


Figur 5.1 Figuren visar hur sondvibrationer i en flödesgradient ger upphov till oscillationer i detektorsignalerna

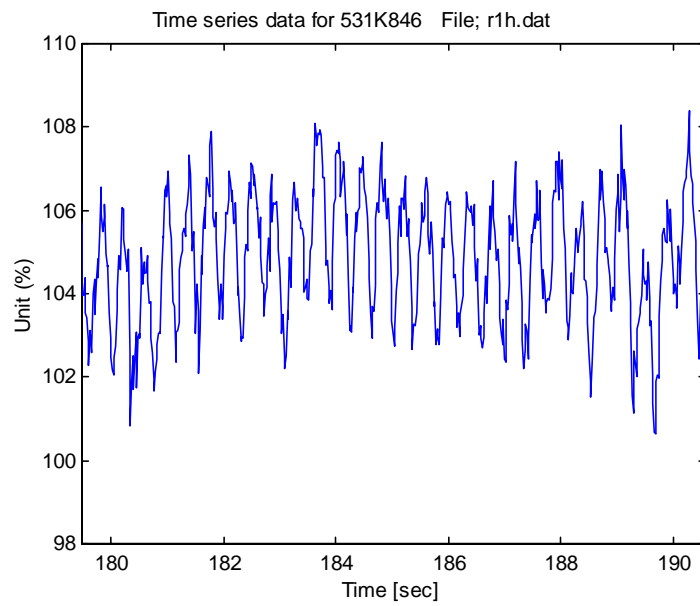


Results from Oskarshamn 2 after cycle 17.
Found wear depths on the box walls adjacent to the detector strings. The figure also shows impact alarm from VIBMON.

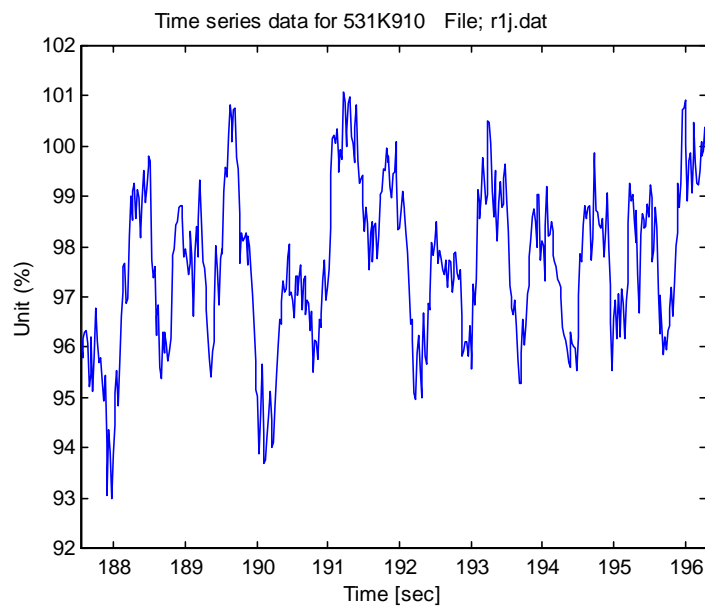
Figur 5.2 Bilden visar nötningsdjupet i närliggande bränsleboxhörn för varje sond, vilket uppmättes vid revision 1992. Ringarna visar alarm från VIBMON



Figur 5.3 Spektra för LPRM signalerna i sond 12.



Figur 5.4 Tidssignalen för LPRM 12:2. Sondvibrationerna syns tydligt i tidssignalen.



Figur 5.5 Tidssignalen för LPRM 28:2.

6 Slutsatser

Mätsystemen i ett kärnkraftverk är viktiga för anläggningens drift och säkerhet. De ger insignaler till reaktorns säkerhetssystem, till larmsystemen, till reglersystemen samt för presentation i kontrollrummet. Det är därför av stor betydelse att sensorerna är tillförlitliga, att de är tillräckligt noggranna samt att deras responstid är tillräckligt snabb.

Mätsignalen består av en statisk del och en dynamisk del. Den statiska delen av signalen är naturligtvis den mest intressanta och den undersöks noggrant i samband med kalibreringen av transmittern. Den dynamiska delen eller fluktuationen hos signalen däremot innehåller information om processens dynamik. Genom att undersöka sensorsignalernas dynamiska egenskaper är det möjligt att avgöra om målet med ett tillförlitligt och alert mätsystem uppfylls.

För att förbättra drifttillgängligheten och säkerheten i anläggningen har multipla sensorer införts. För exempelvis nivåsensorerna innebär detta att två transmitttrar är anslutna till samma tryckuttag på reaktortanken. Idén med multipla signaler är att de ska vara lika varandra såväl för den statiska delen av signalen som den dynamiska.

Vid ett onormalt driftläge, exempelvis vid ett haveritillstånd är de multipla signalerna en viktig tillgång. I ett sådant läge kan den statiska visningen bli ifrågasatt.

- Är vattennivån i reaktor verkligen så låg?

Om då den dynamiska delen hos de multipla signalerna överensstämmer styrker detta att de bägge transmitttrarna fungerar normalt. Därför är det av vikt att de multipla signalerna undersöks för att klargöra om dynamisk överensstämmelse gäller vid normaldrift.

På uppdrag av SKI har GSE Power Systems AB genomfört en undersökning av sensorer vid Ringhals 1. Totalt undersöktes 12 givare för vattennivån i reaktor, 8 givare för reaktortryck, 4 givare för ångflöde, 4 givare för matarvattenflöde och 21 neutronflödesgivare. Dessutom undersöktes två digitala och en analog tryckgivare i laboratorium.

Resultat från Ringhals 1

- Reaktortryck- och vattennivåsignalerna uppvisar resonanser vid 1.8 Hz, 2.5 Hz, 3 Hz eller ingen peak alls beroende på vilken impulsledning transmittern är ansluten till. Förklaringen till de svängningar som syns i Ringhals 1 är inte fluktuationer hos reaktortrycket och -nivå. Tolkningen är att resonanstopparna genereras av transmitttrarna i växelverkan med vattnet i impulsledningarna. 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. Transmitttrarna påverkar varandra. Detta är ett "Common mode" fel för sensorernas dynamiska visning.

- Trycksignalerna 211K119 och 211K120 är filtrerade med tidskonstanten 1.3 sekunder. Filtreringen innebär att en snabb tryckändring fördröjs med 1.3 sekunder. Transmittorna 211K119 och 211K120 ingår i det automatiska stängningsvillkoret för 314 ventilerna. Enligt uppgift från verket är orsaken till filtreringen ”snubbers” i impulsledningarna. Den interna granskningsgruppen vid Ringhals 1 kommer att fatta beslut om dessa snubbers ska demonteras under RA-00.
- Jäsningsvaktgivaren 211K419 avviker dynamiskt. Den behöver ersättas med en fungerande enhet. Jäsningsvakten 211K419 ingår som reserv i reaktorns snabbstoppsystem SS5.
- Nivåsensorn 211K403 har filtrerad transmitterfunktion. Signalen 211K403 är filtrerad med tidskonstant = 2.1 sekunder i jämförelse med den multipla sensorn 211K431. Enligt uppgift från verket har 211K403 ”dämpningen = 1.5 s” medan 211K431 har ”dämpningen = 0.56 s”. Skillnaden i dämpning samt att transmittorna är av olika fabrikat kan förklara skillnaden i dynamik.
- Densitetsomvandlarna för nivåsignalerna 211K429 och 211K430 har grov upplösning mot bakgrund av vad som kan förväntas av en digital densitetsomvandlare.
- Ångflödessensorn 411K304 har avvikande dynamik. En oscillation med 10 Hz förekommer hos signalen.
- Matarvattenflödessignalerna 415K301 och 415K302 har avvikande dynamik i jämförelse med respektive multipla sensorer. Enligt uppgift från verket har 415K301 & 415K302 ”dämpningen = 3 s” medan 415K303 & 415K304 har ”dämpningen = 1.66 s”. Detta kan förklara den observerade skillnaden.
- Laborrietesterna visar att de digitala transmittorna Rosemount 3051C-Smart och ASK800 har dödtidsfördröjningar 60 – 100 ms i jämförelse med den analoga transmittorn AVI200.
- Undersökningen av LPRM signalerna visade att 5 av 10 sonder vibrerade. Sond 12 och 28 hade medelstor risk för islag mot boxhörn medan sond 24 hade låg risk för islag. En undersökning av resterande 26 sonder rekommenderas.

7 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. Uppföljning av sensorundersökning vid Oskarshamn 2 mätningar från 8-9 december 1997. GSE-98/01.
- 3 Mårtensson Johan. Undersökning av isolerförstärkares inverkan på sensorsystemet vid Oskarshamn 2. Mätningar från 24 februari 1998. GSE-98/07.
- 4 Bergdahl B.G. Transmitterundersökningar vid Barsebäck 2. Baserad på mätningar från 11 juni 1997. GSE-97/15.
- 5 Bergdahl BG, Oguma R and Schwaninger H. Sensor tests at Kernkraftwerk Mühleberg, Switzerland. 24-25 Feb. 1994. EuroSim-94/8.
- 6 Bergdahl BG, Liao B, Oguma R, Schwaninger H. Sensor tests at Kernkraftwerk Mühleberg, Switzerland. 3 - 6 April 1995. EuroSim-95/24.
- 7 Bergdahl BG, Sandell S, Kubota O and Schwaninger S. Sensor tests at Kernkraftwerk Mühleberg, Switzerland. Measurement on 19 - 22 March 1996. EuroSim-96/08.
- 8 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.
- 9 Bergdahl BG, Schwaninger H. Sensor tests at Kernkraftwerk Mühleberg, Switzerland. Measurement on 11-12 Sept. 1996. GSE-96/16.
- 10 Bergdahl BG, Oguma R, Kubota O, Schwaninger H. Sensor tests at Kernkraftwerk Mühleberg, Switzerland. Measurement on 17-20 March 1997. GSE-97/9.
- 11 Bergdahl BG and Oguma R. Health test of sensors at Ringhals 3 and 4, with the aid of noise analysis. Paper presented at the IMORN 21th, 20-22 September, 1989, Paul Scherrer Institute, Villigen, Schweiz.
- 12 Bergdahl BG, Investigation of sensors and instrument components in boiling water reactors. Results from Oskarshamn 2, Barsebäck 2 in Sweden and Kernkraftwerk Mühleberg in Switzerland. SKI report 98:22.
- 13 Bergdahl BG and Oguma R. Investigation of in-core instrument guide tube vibrations at Oskarshamn BWR unit 2 based on noise analysis. SKI report 96:37.

Bilaga Mätsignaler

De signaler som ingår i undersökningen finns beskrivna i Tabell 1 - 9. Signalerna omfattar reaktortryck, vattennivån i reaktorn före och efter densitetskompenseringen, signaler till Jäsningsvakter, Matarvattenflöde, Ångflöde och Neutronflöde.

Tabell 1 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1a.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K041	+1.8 - +5.8 m	A	-	5-0 V	K403komp	JA
2	211K044	0.5 - 4.5 m	A	-	5-0 V	K420komp	JA
3	211K101	0 - 100 barö	A	H&B AZC200	0-5 V	Reaktortryck	JA
4	211K112	5 - 76 barö	A	Rosemount 1151GP	0-10 V	Reaktortryck	
5	211K119	64 - 79 barö	A	Rosemount 3051C smart	0-5 V	Reaktortryck	JA
6	211K403	+1.8 - +5.8 m	A	H&B AZI200 15780	5-0 V	Finnivå R-tank	JA
7	211K420	0.5 - 4.5 m	A	H&B AZI200 15780	5-0 V	Finnivå härd	JA
8	211K431	+1.8 - +5.8 m	A	Rosemount 3051C smart	4-20 mA	Finnivå R-tank	
9	411K302	0 - 400 kg/s	A	H&B AZI200	0-5 V	Ångflöde 2	
10	411K304	0 - 400 kg/s	A	H&B AZI200	0-5 V	Ångflöde 4	
11	415K301	0 - 700 kg/s	A	H&B AZI200	0-5V	Mavaflöde 1	
12	415K303	0 - 700 kg/s	A	Rosemount 1151DP	4-20 mA	Mavaflöde 1	

Tabell 2 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1b.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K416	0 - 950 mmvp	A	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt	JA

Tabell 3 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1c.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K042	+1.8 - +5.8 m	B	-	5-0 V	K402komp	JA
2	211K043	0.5 - 4.5 m	B	-	5-0 V	K421komp	JA
3	211K113	5 - 76 barö	B	Rosemount 1151GP	0-10 V	Reaktortryck	
4	211K402	+1.8 - +5.8 m	B	H&B AZI200-15780	5-0 V	Finnivå R-tank	JA
5	211K421	0.5 - 4.5 m	B	H&B AZI200-15780	5-0 V	Finnivå härd	JA
6	411K301	0 - 400 kg/s	B	H&B AZI200	0-5 V	Ångflöde 1	
7	411K303	0 - 400 kg/s	B	H&B AZI200	0-5 V	Ångflöde 3	
8	415K302	0 - 700 kg/s	B	H&B AZI200	0-5 V	Mavaflöde 2	
9	415K304	0 - 700 kg/s	B	Rosemount 1151DP	4-20 mA	Mavaflöde 2	
10	211K102	0 - 100 barö	B	H&B AZC200-15720	0-5 V	Reaktortryck	JA
11	211K120	64 - 79 barö	B	Rosemount 3051C smart	0-10 mA	Reaktortryck	JA

Tabell 4 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1d.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K124	0 - 100 bar	B	H&B AZC200-15720	0-10 V	Reaktortryck	JA
2	211K429	-5.4 - +5.5 m	B	H&B AZI200	10-0 V	Reaktornivå	JA
3	211K429 komp	-5.4 - +5.5 m	B	-	10-0 V	-	JA
4	211K430	+1.8 - +5.8 m	B	H&B AZI200	10-0 V	Finnivå R-tank	JA
5	211K430 komp	+1.8 - +5.8 m	B	-	10-0 mA	-	JA

Tabell 5 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1e.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K418	0 - 950 mmvp	B	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt	JA
2	211K419	0 - 950 mmvp	D	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt Res.	JA

Tabell 6 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1f.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K114	5 – 76 barö	C	Rosemount 1151GP	0-10 V	Reaktortryck	
2	211K401	-5.4 - +11.6 m	C	H&B AZI200-15780	5-0 V	Grovnivå R-tank	JA
3	211K401 komp	-5.4 - +11.6 m	C	-	0-10 V	-	JA

Tabell 7 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1g.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	211K417	0 – 950 mmvp	C	S&F TDE250	0-20 mA	Jäsningsvakt	JA

Tabell 8 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1h.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	531K964	0 – 140 %	A	-	0-5 V	APRM	JA
2	531K802	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM1 pos 2	JA
3	531K804	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM1 pos 4	JA
4	531K810	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM3 pos 2	JA
5	531K812	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM3 pos 4	JA
6	531K838	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM10 pos 2	JA
7	531K840	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM10 pos 4	JA
8	531K846	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM12 pos 2	JA
9	531K848	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM12 pos 4	JA
10	531K854	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM14 pos 2	JA
11	531K856	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM14 pos 4	JA
12	531K862	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM16 pos 2	JA

Tabell 9 Signalnamn, identitet och transmitterfabrikat för signaler i mätfilen r1j.

	Teknisk station	Område Ingenjörstorhet	Sub	Transmitter Fabrikat	Mät-område	Anmärkning	STF
1	531K964	0 – 140 %	A	-	0-5 V	APRM	JA
2	531K864	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM16 pos 4	JA
3	531K894	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM24 pos 2	JA
4	531K896	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM24 pos 4	JA
5	531K902	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM26 pos 2	JA
6	531K904	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM26 pos 4	JA
7	531K910	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM28 pos 2	JA
8	531K912	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM28 pos 4	JA
9	531K938	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM35 pos 2	JA
10	531K940	0 – 140 %	A	-	0-5 V	LPRM35 pos 4	JA