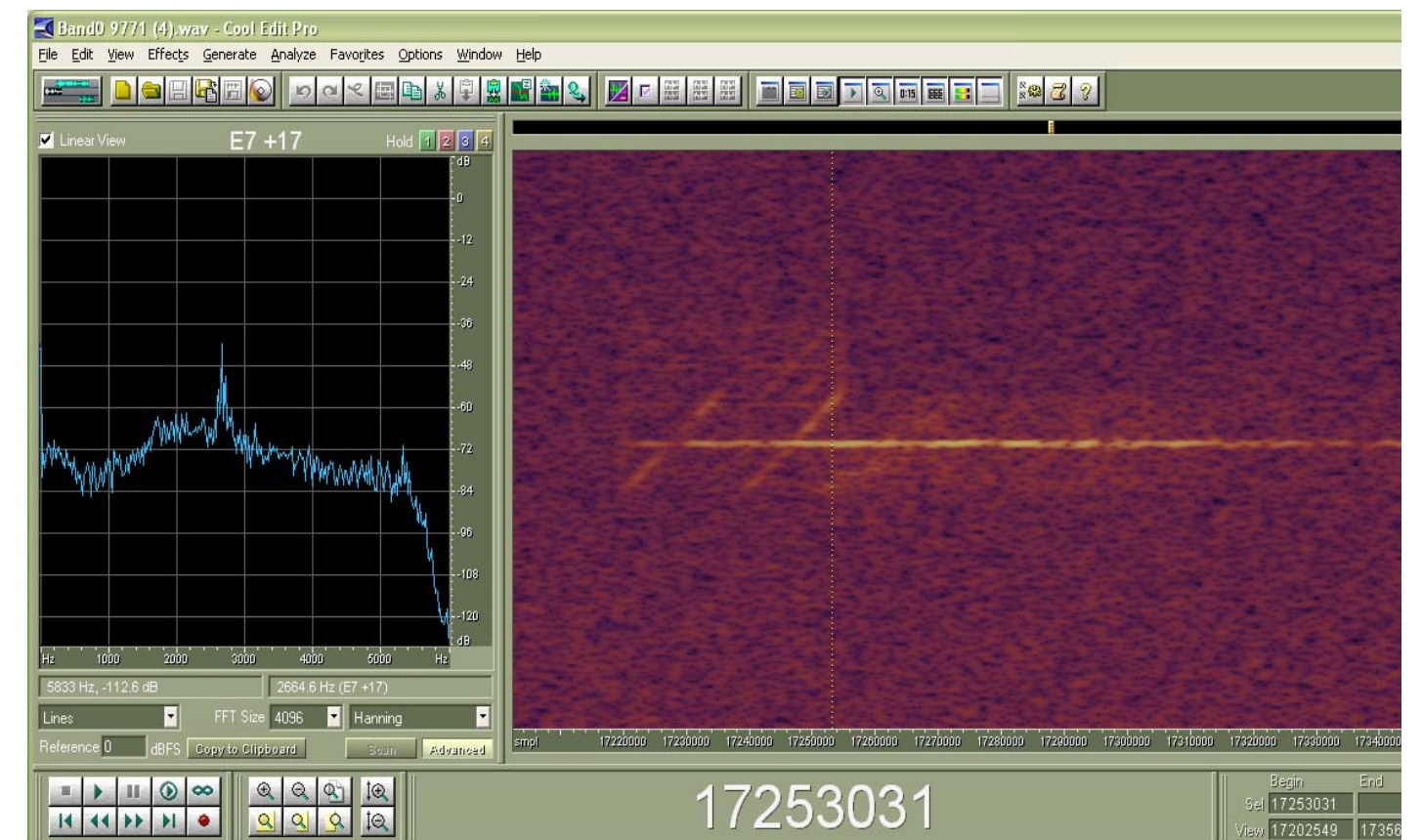




Resultat av Analysuppdrag HKV 23 321:61522, MTRL ref 252:3301

ERLAND SANGFELT, GUNNAR SUNDIN



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Försvars- och säkerhetssystem
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se

FOI-R--2509--SE Teknisk rapport
ISSN 1650-1942 Maj 2008

Försvars- och säkerhetssystem

Erland Sangfelt, Gunnar Sundin

Resultat av Analysuppdrag HKV 23 321:61522

MTRL ref 252:3301

Titel	Resultat av Analysuppdrag HKV 23 321:61522, MTRL ref 252:3301.
Title	Results from the commission HKV 23 321:61522, MTRL ref 252:3301.
Rapportnr/Report no	FOI--2509--SE
Rapporttyp Report Type	Teknisk rapport Technical report
Sidor/Pages	44 p
Månad/Month	Maj
Utgivningsår/Year	2008
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde Programme area	4. Sensorer och signaturanpassning 4. Sensors and Low Observables
Delområde Subcategory	43 UV-teknik – sensorer 43 Underwater Technology - Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance
Projektnr/Project no	E28084
Godkänd av/Approved by	Nils Olsson
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	FOI, Swedish Defence Research Agency Defence & Security, Systems and Technology
164 90 Stockholm	SE-164 90 Stockholm

Sammanfattning

I uppdraget ingick att komplettera tidigare analyser av ljudinspelningen ”3:47” på band 1 från 1982-10-12, genom att bl.a. fastställa antalet propellerblad, om möjligt, och avgöra om ljudkällan kommer från ubåt eller ytfartyg.

I detta arbete har vi spelat in och analyserat ljud från taxibåten Amalia som enligt uppgift befunnit sig i området samma dag som 3:47-inspelningen gjordes.

3:47-inspelningens demonspektrum visar på tydliga asymmetriska sidband från ljudkällan. Vi vet att dessa kan uppkomma från en ljudkälla i u-läge genom ljudspridning mot en rörlig vattenyta. Vi vet inte om och hur de skulle uppstå från en ytkälla, men vi kan inte utesluta att en sådan effekt finns.

Vi har inte påvisat asymmetriska sidband från Amalia, men vi håller det ändå för troligt att Amalia orsakat kavitationsljudet på 3:47-inspelningen. Vi stöder denna slutsats på:

- Amalias ljudlikhet
- Likheterna i demon
- Likheten i varvtal
- Amalias närvaro i området söder om Mälsten på eftermiddagen 1982-10-12
- Amalias skadade propellerblad
- Samma frekvens som Amalias motortändfrekvens återfinns i 3:47-inspelningen

I uppdraget ingick även att analysera en pingliknande signal från 1982-10-11 och försöka avgöra om den kom från egen helikoptersonar (Sonar 204) eller någon annan sonar. Vi skulle även undersöka några mystiska brushöjningar.

Slutsatsen är att pingsignalen kan härröra antingen från Marinens egen helikoptersonar, Sonar 204, eller från någon annan sonar. De tekniska undersökningar vi gjort utesluter inte något av alternativen. De fel vi undersökt som skulle kunna ge den observerade pingsignalen verkar mindre troliga, men kan inte uteslutas. Vi har inte undersökt om elektriska överslag skulle kunna generera en samtidig CW- och FM-puls.

Brushöjningarna orsakades högst sannolikt av regn.

Nyckelord: 3:47-inspelning, Amalia, Sonar 204

Summary

In our commission we were asked to find out if the sound source in the 3:47 recording from October 12, 1982, originates from a submarine or a surface vessel.

In this work we recorded and analysed sound from the taxi boat Amalia which, as we now have been informed, was present in the area on October 12, 1982.

The 3:47 recording contains strong, asymmetric sidebands in the demon signal from the propeller. We know that they can arise from an underwater sound source, through scatter of sound against a moving sea surface. We do not know if and how they could be formed from a surface source like a vessel. However, we can not exclude that possibility. Thus, even if we have not proven that Amalia causes asymmetric sidebands we still judge that the origin of the cavitation noise in the 3:47 recording is Amalias propeller. This conclusion is supported by the following facts:

- Amalia sounds similar to the source in the 3:47 recording
- Amalia has similar demon as the source in the 3:47 recording
- Amalia has the same RPM as the source in the 3:47 recording
- Amalia was present in the area south of Mälsten, October 12, 1982
- Amalia has a fault in one of the propeller blades
- The frequency of Amalia's EFR (Engine Firing Rate) is present in the 3:47 recording

In the commission we should also analyse a ping signal from October 11, 1982 and make a judgement of its origin. The conclusion is that the ping was transmitted either from our own Sonar 204 or from a foreign sonar of some sort. Our technical investigation does not exclude any of the two alternatives. The faults that we have investigated, which could explain the observed ping signal, do not seem too plausible but can not be excluded.

We should also judge on the origin of some increased noise levels in the recording. Our conclusion is that they are due to rain.

Keywords: 3:47-recording, Amalia, Sonar 204

Innehållsförteckning

Position 1 i uppdraget: Analys av 3:47 Bandet	7
Bakgrund.....	7
Tid-frekvensanalys.....	7
Demonanalys.....	8
Analys av Amalia 2008-04-02.....	11
Tid-frekvensanalys.....	11
Demonanalys.....	13
Ljud	15
Spektrum	15
Hela 3:47-bandet	16
Amalias motortändfrekvens finns i 3:47.....	18
Delresultat.....	20
Slutsats	21
Referenser	21
Position 2 i uppdraget: Analys av ping och brushöjning från 1982-10-11, Band 0	22
Bakgrund.....	22
Orsaken till brushöjningarna.....	24
Försök att lokalisera ping-signalens källa.....	25
"Ursprungliga" positioner	26
Positioner från FOA-pärm.....	26
Försök att analysera Band 10.....	26
Ping från helikopter på andra bandinspelningar	27
Bestämning av hydrofonpositioner med hjälp av korrelogram från Gotlandsfärjan	27
Beräkning av pingsignalens källposition.....	29
Varför ser man bara ett enda ping om det är en helikopterhydrofon som sönt?.....	31
Hur kan man på Sonar 204 få CW- och FM-signal samtidigt?	31
Slutsatser, position 2.	32
Referenser	32
Appendix 1: Beskrivning av väderläget 11-12 Oktober 1982	33
Väderläget i stort:.....	33
Vädret i Mälstenområdet:.....	33
Källor:	34
Appendix 2: De beräknade hydrofonpositionernas beroende av sprängplatspositionerna	35
Appendix 3: Beräkningar av hydrofonpositioner med hjälp av korrelogram från Gotlandsfärjan.....	36
Appendix 4: Korrelationskurvor	38
Appendix 5: Hur kan man på Sonar 204 få CW- och FM-signal samtidigt?	41

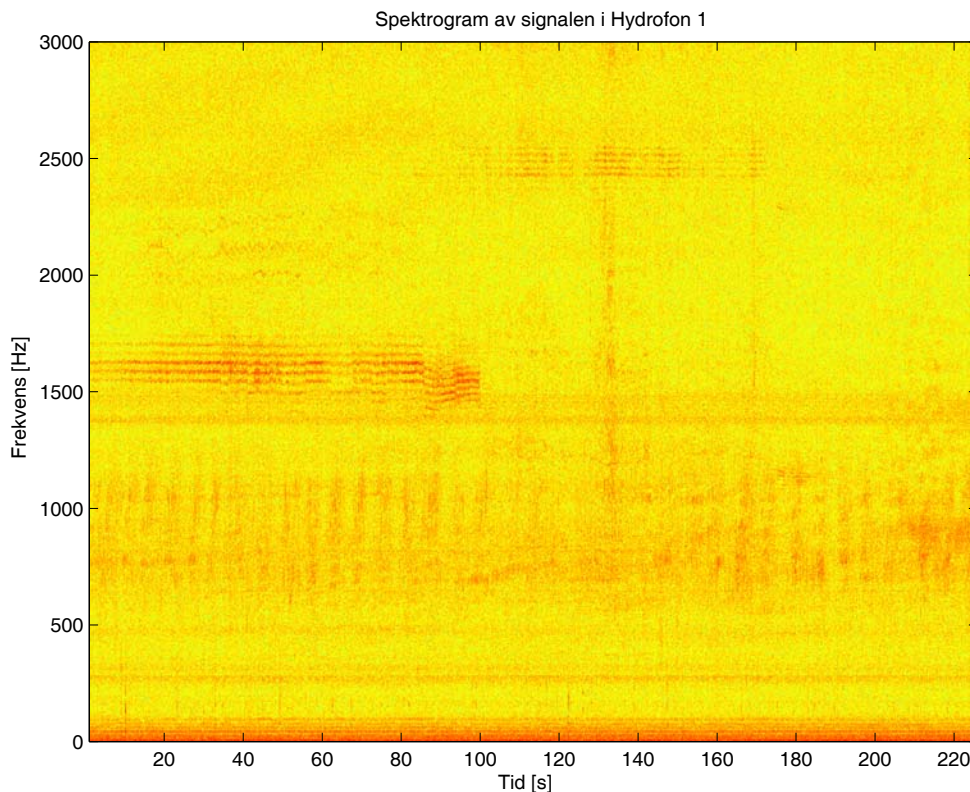
Position 1 i uppdraget: Analys av 3:47 Bandet

Bakgrund

I uppdraget ingår att komplettera den tidigare analysen av ljudinspelningen ”3:47” från 1982-10-12, genom att bl.a. fastställa antalet propellerblad, om möjligt, och avgöra om ljudkällan kommer från ubåt eller ytfartyg. Nedan visas några resultat som gäller sedan tidigare analyser.

Tid-frekvensanalys

I figur 1 visas en tid-frekvensyta (spektrogram) för hela 3:47-inspelningen. Här har vi valt att titta på frekvensområdet 0 till 3000 Hz. Det mest intressanta frekvensområdet ligger mellan 600 och 1200 Hz, det mönster som syns i det området är orsakat av kavitationsljud från en propeller. Sedan 1982 har detta ljud bedömts komma från ubåt. Under hösten 2007 ifrågasatte FOI och Musac denna bedömning.



Figur 1. I figuren visas ett spektrogram av signalen som spelades in med hydrofon 1 under hela 3:47 inspelningen.

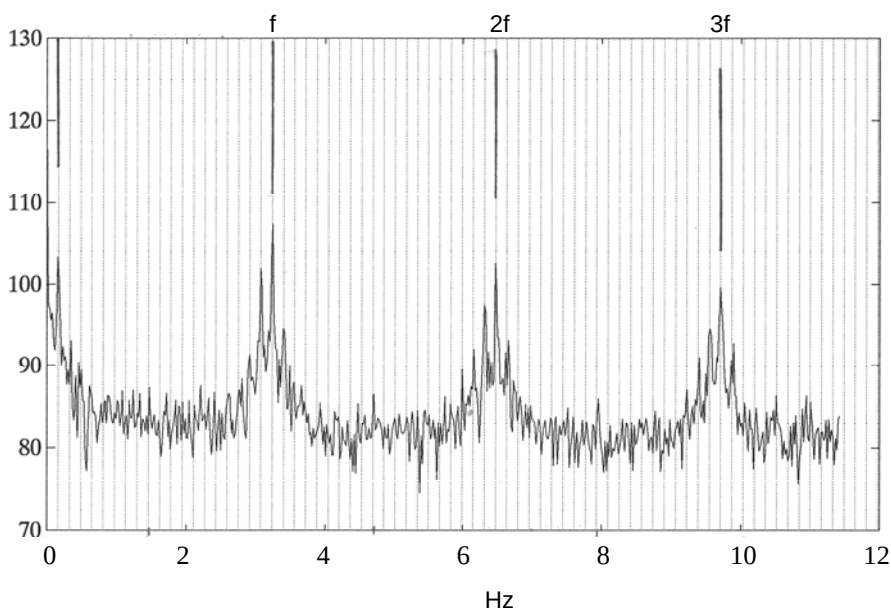
Från figur 1 framgår att kavitationsljudet tilltar och avtar i styrka mer eller mindre regelbundet med en periodtid på ca 6 sek. Enligt uppgift fanns en gammal sjö från dagen innan och en dyning rullade in från OSO. För övrigt gällde bleke. Östersjöns dyning har en periodtid på ca 6 sek, varför periodtiden vi ser i figur 1 troligen är relaterad till vattenytans rörelse.

Enligt FOA:s tidigare undersökningar under 1993, som hade till uppgift att stärka ubåts-hypotesen, förklarar denna rörliga yta förekomsten av asymmetriska sidband i ljudkällans demonspektra, se figur 2, (demon förklaras kort i följande avsnitt) om ljudet kommer från ubåt. Teorin för asymmetriska sidband [1-2] fanns i forskningslitteraturen och bearbetades

vidare av FOA, som dessutom verifierade teorin experimentellt. Under hösten 1993 gjordes sjöförsök med bogserad undervattenshögtalare söder om Mälsten och teorin tycktes stämma. Den förändring av asymmetrin med tiden som man kunde observera visade enligt teorin och sjöförsöken på en rörelse från V mot Ö, i stort sett i en riktning mot hydrofonkedjan. Detta var betydelsefullt eftersom ljudkällans rörelse varit svår att påvisa på annat sätt. Sammantaget såg FOA detta som ett indicium på ubåt, speciellt som FOA inte hade någon annan förklaring till asymmetrin. FOA hade dessutom fått uppgift om att ytan varit fri, sånär som på en motorbåt norröver och antog då att det krattspårsliknande mönstret (se figur 1) vid 1500-1700 Hz härrörde från motorbåten.

Efter sommaren 2007 förde FOI diskussioner med Musac om analysen 1993. Det framkom att Musac vid något tillfälle hade hört att en bevakningsbåt i en speciell driftsmod hade ljudinslag som påminde om kavitationsljudet i 3:47-inspelningen. Eftersom det nu dessutom stod klart att man inte kände till ytläget 1982-10-12, räckte detta för att FOI tillsammans med Musac under hösten 2007 skulle resa ett frågetecken om ubåthypotesen var korrekt eller inte. Om inte, måste det finnas någon annan förklaring till asymmetriska sidband. En teori för, eller mätningar på, sådana effekter från ytkälla saknas idag.

Den exakta inspelningstiden för 3:47 är okänd, på bandets talkanal finns tyvärr ingen uppgift. Dessutom stängdes inspelningen plötsligt av efter 3:47, utan någon uppgift om detta på talkanalen. Det finns inte heller någon anteckning i krigsdagbok om 3:47 eller varför man stängde av.



Figur 2. Asymmetriska sidband i demonspektrum av 3:47. Spektrumet är gjort i mycket hög upplösning och visar tydliga frekvenskomponenter vid sidan av huvudfrekvenserna vid 3,2 Hz, 6,4 Hz och 9,6 Hz (grundfrekvens och övertoner för propellerrotationen). Frekvensskillnaden mellan huvudfrekvenser och sidbanden är ca 0,2 Hz och man ser även denna frekvensskillnad nere vid 0 Hz.

Demonanalys

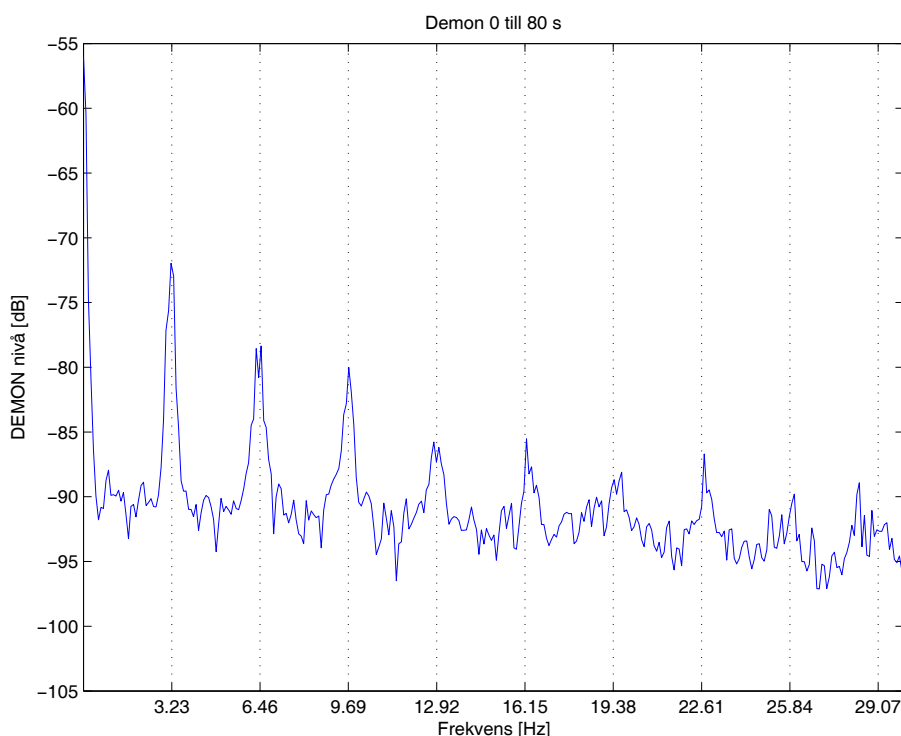
I stort sett är det bara ett blad på propellern som ger en tydlig kavitation. Därför kan just detta blad vara skadat. Allt sedan 1982 har antalet blad på propellern varit svårt att bestämma. Detta illustreras i det följande, med hjälp av demonanalys.

DEMON står för Engelskans DEMODulated Noise och innebär att man frekvensanalyserar ljudkällans brusenvelopp som modulerats av propellerrotationen. Bruset härrör från kavitationseffekter som uppkommer då ett propellerblad river upp små håligheter eller kaviteter i vattnet kring och bakom propellerbladet. Håligheterna imploderar med ett skarpt ljud och ett stort antal sådana ljudkällor bildar en brusliknande signal. Modulationsfrekvensen i detta ljud ger i regel information om propellervarvtal och bladantal. Grundtonen i frekvensserien som erhålles ger propellerns rotationsfrekvens, och antalet blad kan bestämmas om någon av övertonerna är betonad.

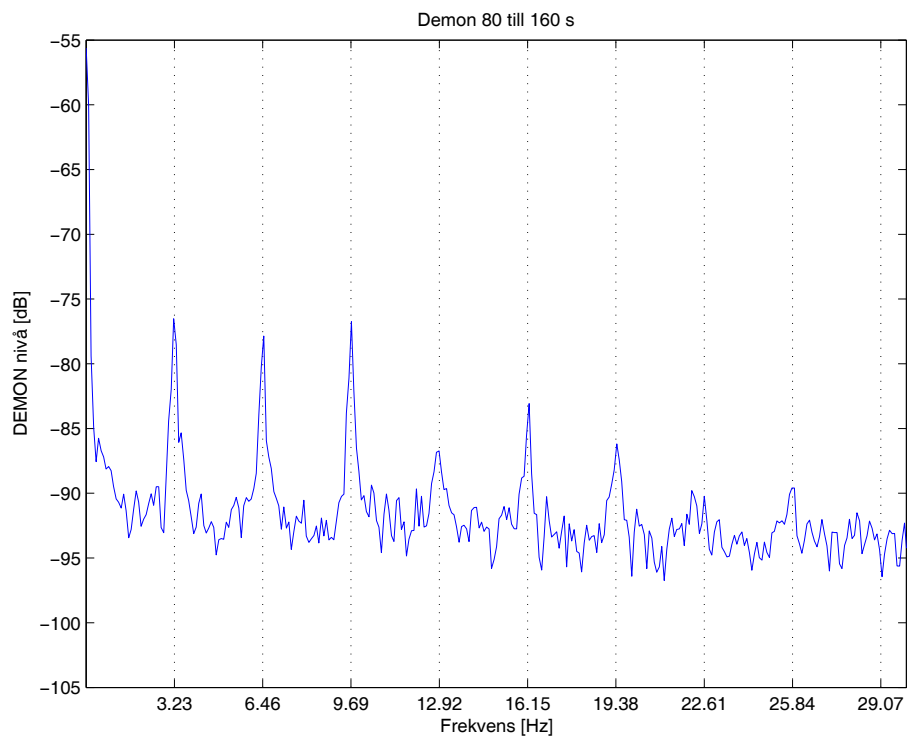
I figur 1 identifierades kavitationssnärter i området 600 till 1200 Hz. Här har demonanalys gjorts för detta frekvensområde. I figurerna 3 till 5 visas spektrum för demonsignalen från tre olika tidsavsnitt. Utseendet varierar lite mellan de tre avsnitten, men är i princip detsamma med en serie av sex till sju mer eller mindre tydliga frekvenstoppar. Som vi kan se så är grundfrekvensen cirka 3,23 Hz. Den fjärde frekvenstoppen är undertryckt, vilket troligen beror på att kavitationspulsernas eget spektrum har ett nollställe kring 12-13 Hz. Kavitationspulserna kan grovt sett modelleras som 80 ms långa fyrkantpulser, vilket ger den nämnda effekten i spektrum.

Karakteristiskt för 3:47-inspelningen är att antalet blad är svårt att bestämma, eftersom ingen topp i figurerna 3 – 5 är kraftigt betonad, jämfört med de andra. Möjligen kan man tycka att tredje frekvenstoppen är betonad i figur 4, men jämfört med figur 3 har även den femte tonen förstärkts. Markeringen av frekvenstopparna beror delvis på analysparametrar, och det är svårt att få fram ett entydigt mönster. Vi har även analyserat kavitationssnärterna med hög frekvensupplösning och försökt hitta snärter mellan huvudsnärterna, men detta leder till samma diffusa bild. En analys baserad på Wavelet-transformer tillför inte heller något.

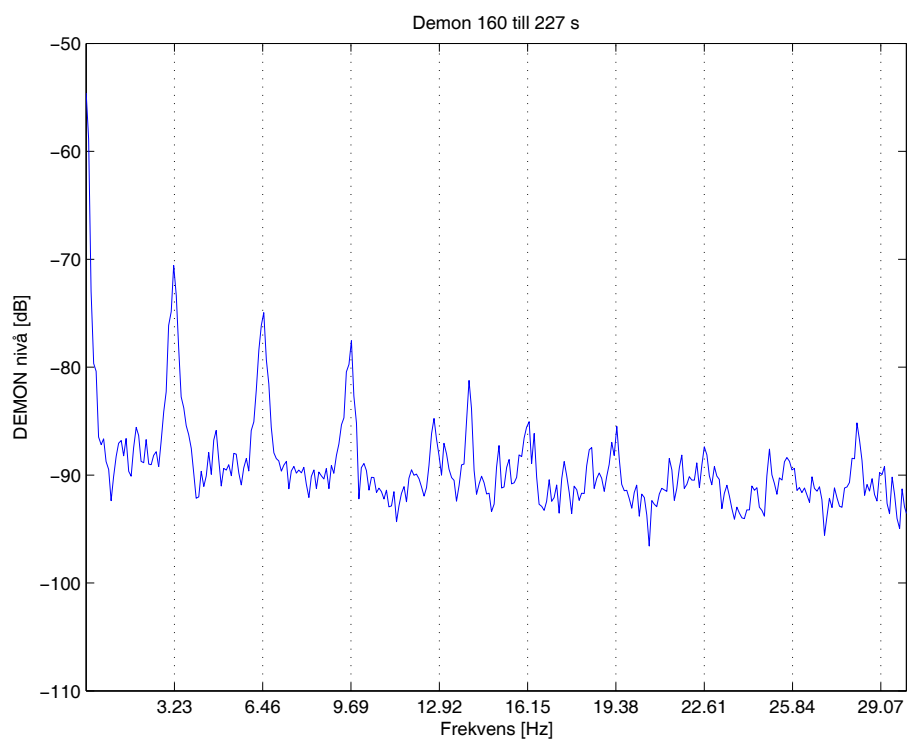
Det är troligen så att det blad som företrädesvis kaviterar har en sämre utformning än de andra, möjligtvis är det skadat. Med tanke på den bladspetsliknande kavitationen man tycker sig höra, vore det naturligt om skadan satt nära bladspetsen i så fall.



Figur. 3 I figuren visas spektrum av demonsignalen i tidsintervallet 0 till 80 sekunder.



Figur 4. I figuren visas spektrum av demonsignalen i tidsintervallet 80 till 160 sekunder.



Figur 5. I figuren visas spektrum av demonsignalen i tidsintervallet 160 till 227 sekunder.

Analys av Amalia 2008-04-02

FOI fick under våren 2008 kännedom om att taxibåten Amalia (se figur 6) fanns i området utanför Mälsten under eftermiddagen den dagen 3:47-inspelningen gjordes. Dessutom fick vi veta att skepparen fått lyssna på 3:47-inspelningen och funnit ljudet mycket likt det från hans egen båt Amalia. Med anledning av detta genomfördes en ljudinspelning vid Älvsnabben 2008-04-02. Amalia har inte modifierats under alla dessa år utan de skillnader som eventuellt finns beror på slitage. Skepparen uppger dessutom att han har ett hack i en av bladspetsarna på propellern. Detta hack fanns även på eftermiddagen 1982-10-12 då han gick söder ut genom Danziger Gatt, förbi hydrofonkedjan till ett läge söder om Mälsten, där han kan ha gjort en lov med Amalia innan hemfärd västerut. Ytterligare en inspelning har gjorts av Amalia, denna gång söder om Mälsten 2008-04-23. Den har dock inte tillfört något ytterligare och analysen av den tas inte upp här.



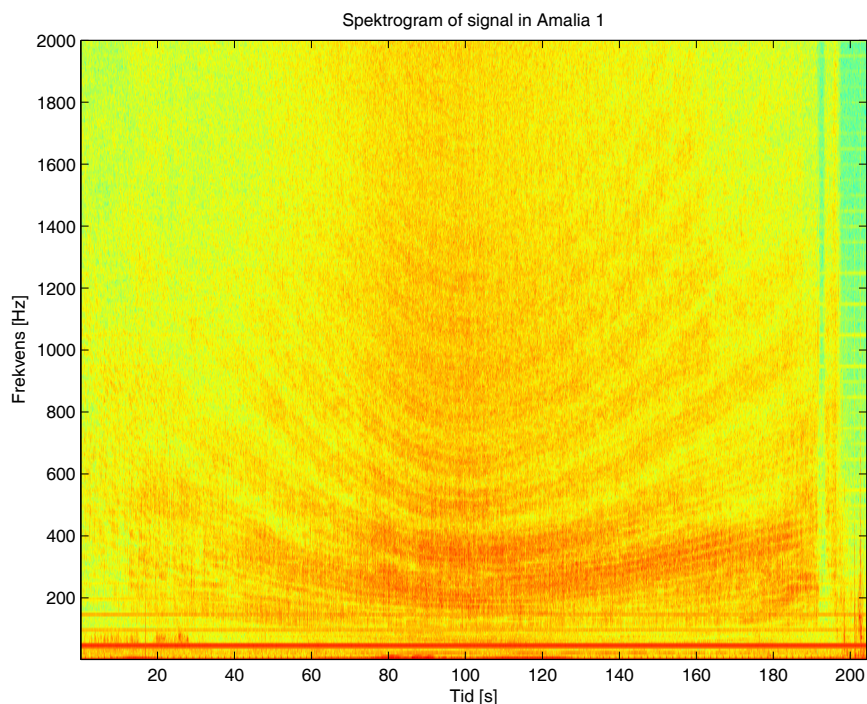
Figur 6. Amalia vid Älvsnabben under inspelningarna 2008-04-02.

Tid-frekvensanalys

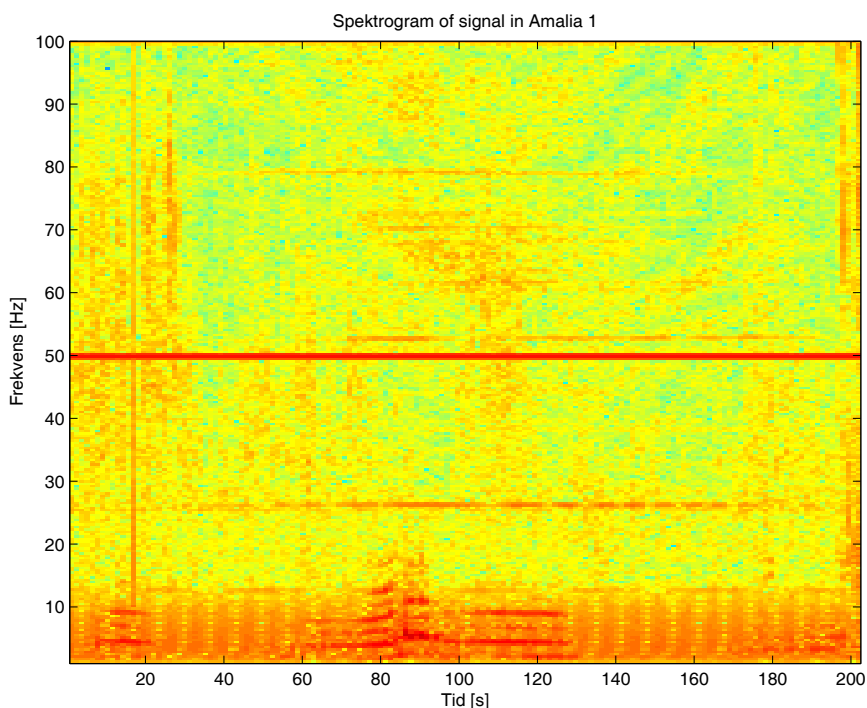
I figur 7 visas ett spektrogram för den första inspelningen av Amalia (2 april 2008), där Amalia gick med låg fart, ca fyra till fem knop. Frekvensområdet som visas är mellan 0 och 2000 Hz. Bågmönstret i spektrogrammet, som härrör från flervägsutbredning [3-6], tyder på kavitation under i stort sett hela inspelningen. Av figuren framgår vidare att Amalia har sitt CPA (Closest Point of Approach – närmsta läge) i förhållande till hydrofonen vid ca 100 sekunder.

I figur 8 har vi fokuserat på den lågfrekventa delen (0-100 Hz) av spektrogrammet i figur 7. I figur 8 kan vi se linjer som är genererade av Amalias maskineri, främst under 10 Hz, men det finns även en tydlig frekvenslinje vid cirka 26,5 Hz samt några svagare ovanför 52 Hz. Dessa frekvenser syns tydligt bara under en del av inspelningen, vi kunde dock höra Amalias propeller hela tiden.

Vi kan följaktligen dra slutsatsen att buller genererat av Amalias maskineri har relativt kort räckvidd, jämfört med dess kavitationsljud.



Figur 7. I figuren visas ett spektrogram för den första inspelningen den 2 april 2008 (Frekvensområde 0 till 2000 Hz). Vi ser ett karakteristiskt bågformat modulationsmönster i spektrumnivån som beror på effekter av flervägsutbredning.



Figur 8. I figuren visas den lågfrekventa delen av spektrogrammet i figur 7 (frekvensområde 0 till 100 Hz). Frekvenslinjerna vid 26,5 Hz och de ovanför 50 Hz som härrör från Amalias motor har relativt kort räckvidd, i detta fall mindre än 200 m.

Demonanalys

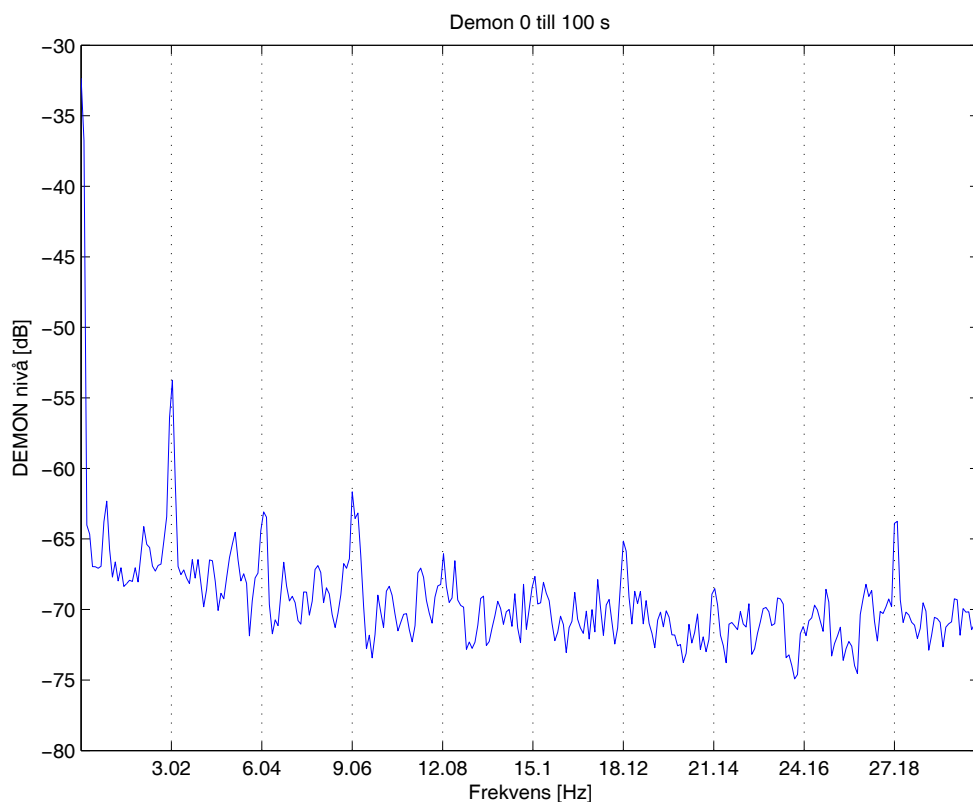
Vi har valt att göra demonanalysen i samma frekvensområde som för 3:47 bandet, dvs. 600 till 1200 Hz.

För demonanalysens del har signalen delats in i två intervall 0-100 sekunder och 100-200 sekunder. Demonspektrum för dessa intervall visas i figur 9 och 10. Grundfrekvensen i båda dessa intervall är 3.02 Hz, dvs. 0,2 Hz lägre än kavitationsljudet i 3:47-inspelningen.

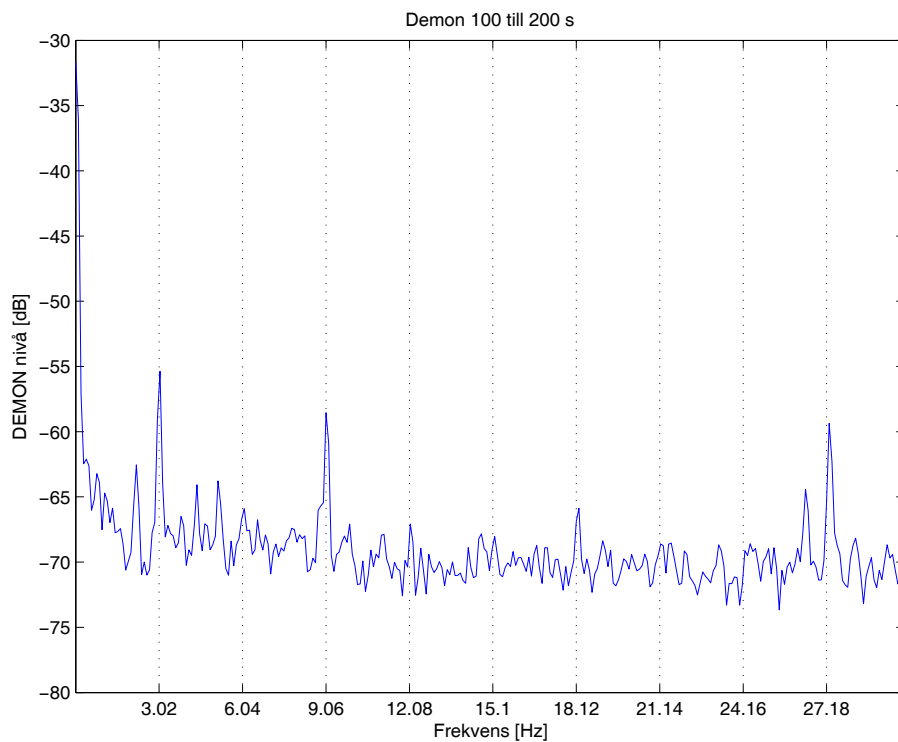
Demonanalys har även gjorts av inspelning 2 av Amalia den 2 april 2008. Demonspektrum för denna inspelning visas i figur 11, här är grundfrekvensen 3.23 Hz.

Om vi jämför med demonspektrum ifrån 3:47-inspelningen (se figur 3-5) så ser vi att det finns likheter men även skillnader. Mest likt är demonspektrumet i figur 11. Här stämmer även grundfrekvensen exakt med den för 3:47-bandet.

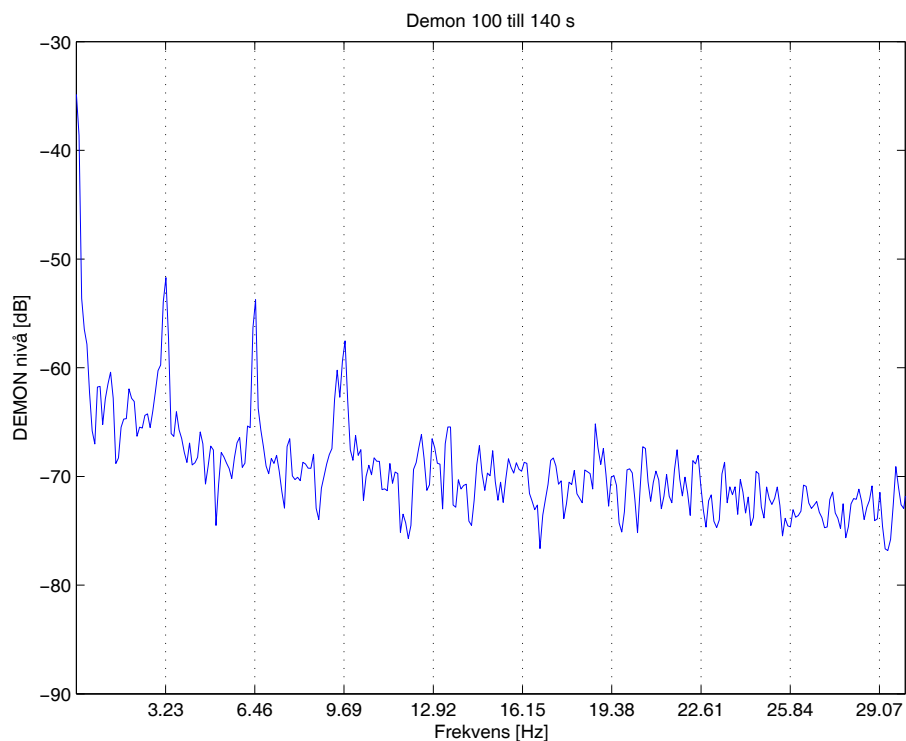
Det tycks som om den andra frekvenstoppen är undertryckt i figur 9 - 10. Vi upplevde kavitationsljudet som något grövre, med längre kavitationspulser än de som fanns i inspelning 2 (figur 11). Kavitationspulsernas spektrum kan därför ha haft sitt nollställe kring 6 Hz i detta fall.



Figur 9. I figuren visas spektrum av demonsignalen i tidsintervallet 0 till 100 sekunder (inspelning 1 av Amalia den 2 april 2008).



Figur 10. I figuren visas spektrum av demonsignalen i tidsintervallet 100 till 200 sekunder (inspelning 1 av Amalia den 2 april 2008)



Figur 11. I figuren visas spektrum av demonsignalen i tidsintervallet 100 till 140 sekunder (inspelning 2 av Amalia den 2 april 2008). Detta demogram är likt dem vi har i 3:47-inspelningen och grundfrekvensen stämmer helt. Möjligen kan splittringen i tredje tonen vara ett tecken på sidband.

Ljud

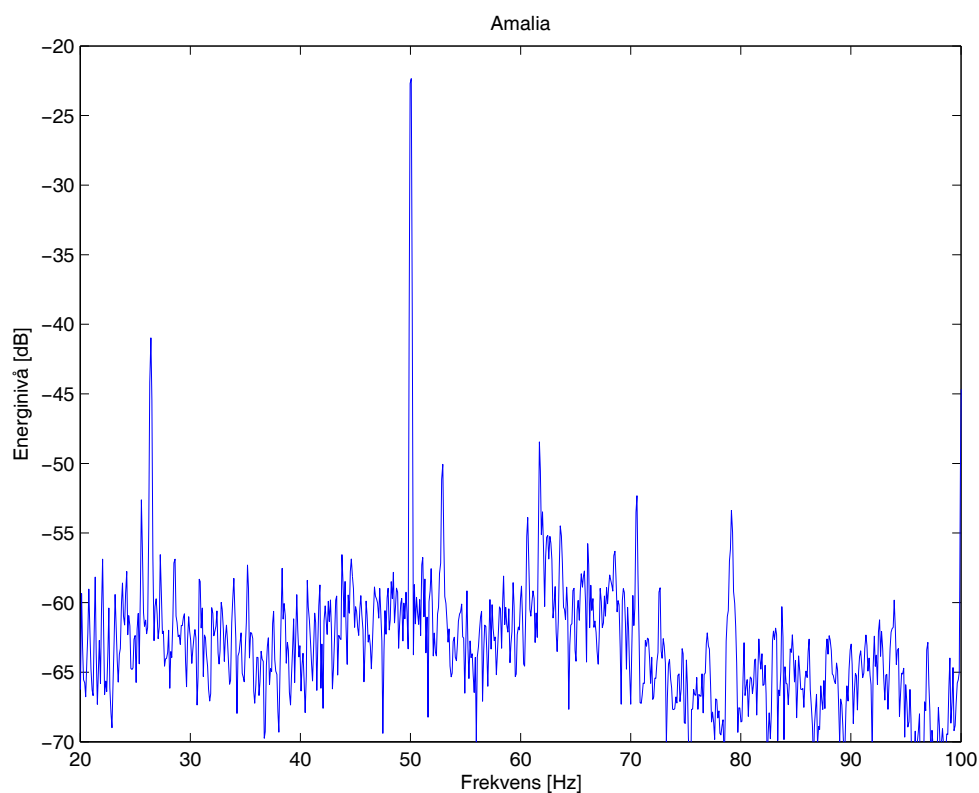
För att ytterligare undersöka likheterna mellan de kavitationsljud som finns på 3:47-inspelningen och de på inspelningarna av Amalia den 2 april 2008, har vi även lyssnat på bandpassfilterat ljud. Vi har helt enkelt filterat bort området utanför 600 till 1200 Hz och sedan skapat ljudfiler från den filterade signalen. När vi sedan spelar upp dessa ljudfiler så låter de påfallande lika, tillfälligtvis mycket lika.

Spektrum

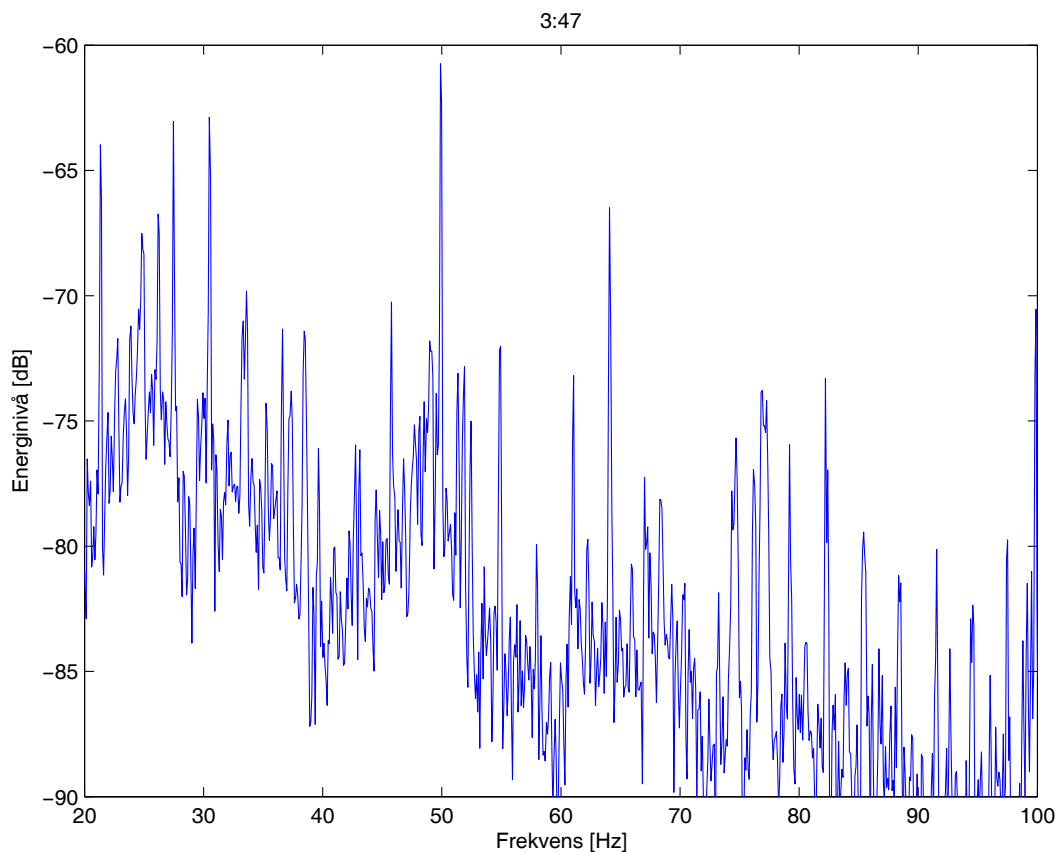
Vi har vid tid-frekvens-analysen av de nya inspelningarna kunnat se frekvenser som är genererade direkt av Amalias maskineri i området kring CPA (se figur 8). Tid-frekvens-analysen visade dessutom att Amalias maskinrelaterade buller tycks ha kortare räckvidd än hennes kavitationsljud.

I figur 12 visas spektrum för den första Amalia-inspelningen (beräknat på tidsintervallet 100-140 sekunder) och i figur 13 visas spektrum för 3:47-inspelningen (beräknat på tidsintervallet 180-220 sekunder).

Ett försök har gjorts att hitta frekvenser som relaterar till Amalias maskineri i 3:47-inspelningen. Det hela kompliceras av att det finns en mängd toner i 3:47-inspelningen som är genererade av störningar från den bandspelare som användes vid inspelningen. Bandspelaren orsakar toner med grundfrekvensen 3.06 Hz samt en hel rad övertoner (se nästa avsnitt). Även utan dessa störningar är det svårt att återfinna toner som härrör från Amalia, om det är Amalia som finns på 3:47, eftersom vi har ett sammelsurium av frekvenser att leta i (figur13).



Figur 12. I figuren visas spektrum för den första inspelningen av Amalia den 2 april 2008 (beräknat på tidsintervallet 100-140 sekunder).



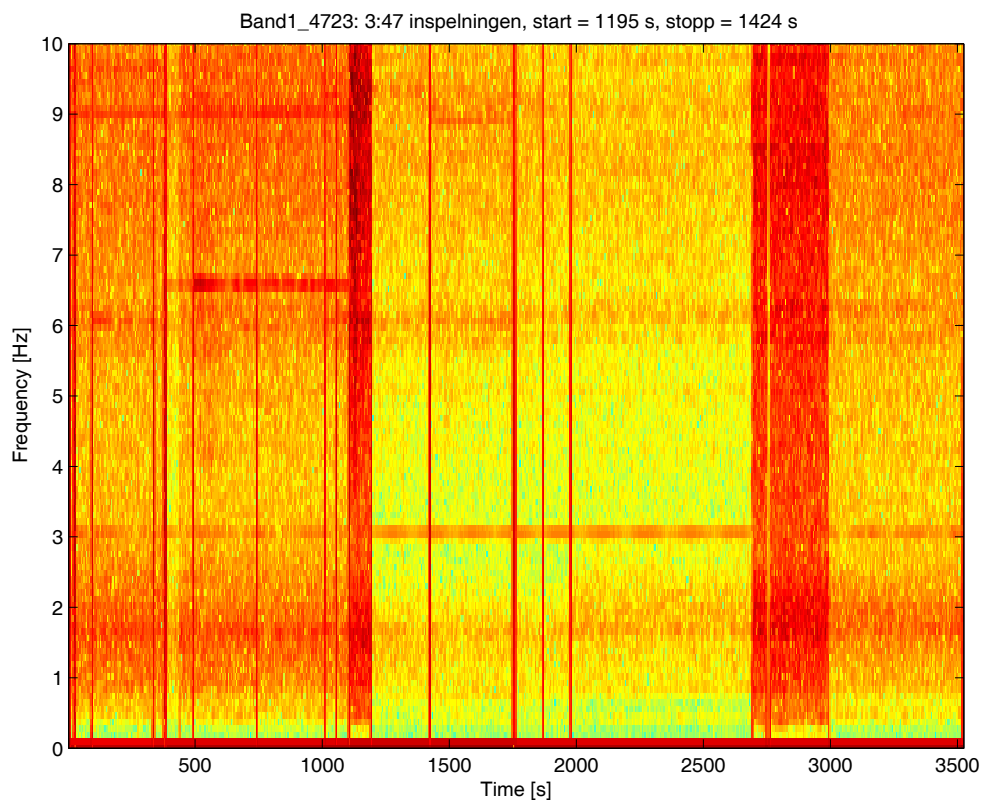
Figur 13. I figuren visas spektrum från 3:47-inspelningen (beräknat på tidsintervallet 180-220 sekunder).

Hela 3:47-bandet

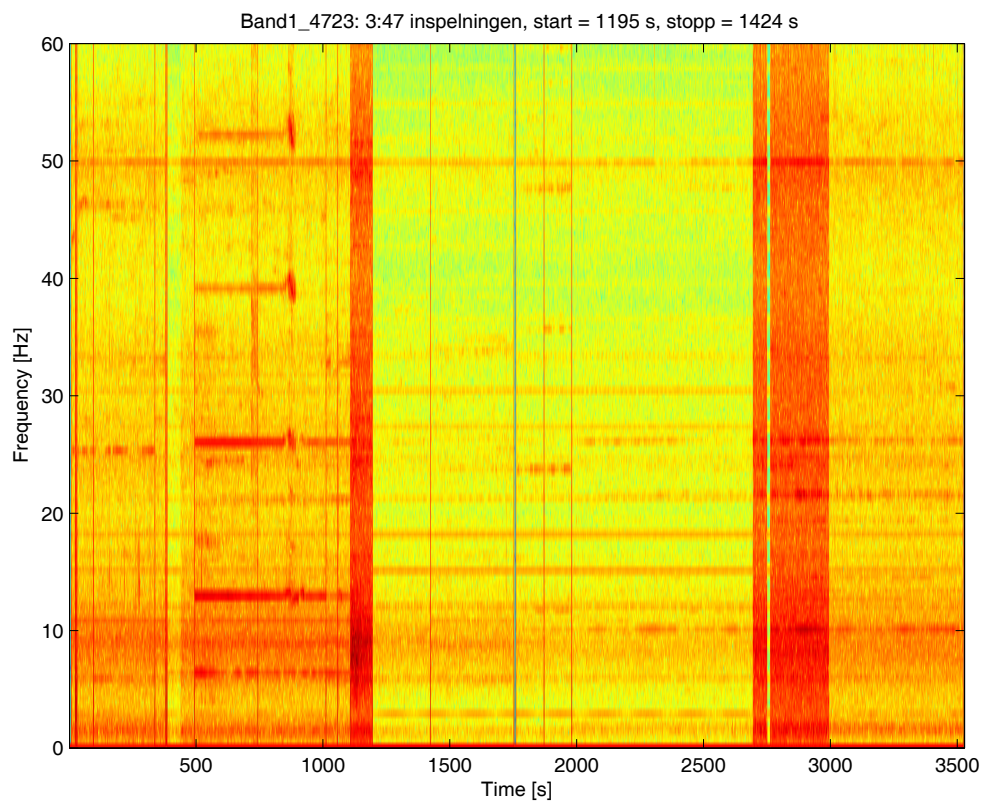
Det finns lågfrekventa toner i inspelningen som kan härröra från bandspelaren. Dessa toner har nästan samma grundfrekvens som demonsignalen, det skiljer bara 0.2 Hz.

För att kontrollera att det verkligen är bandspelaren som orsakar harmoniserien med grundfrekvens 3.06 Hz har vi analyserat hela bandet som 3:47-inspelningen finns på. Bandet innehåller totalt en timme data. I figur 14 och 15 visas spektrogram för hela bandet. 3:47-avsnittet startar vid 1195 sekunder och slutar vid 1424 sekunder. I figur 14 ser vi att frekvenslinjen vid cirka 3 Hz finns under hela timmen, och i figur 15 syns även några övertoner under hela inspelningen. Detta styrker hypotesen om att dessa toner är genererade av bandspelaren eller annan del av mätsystemet.

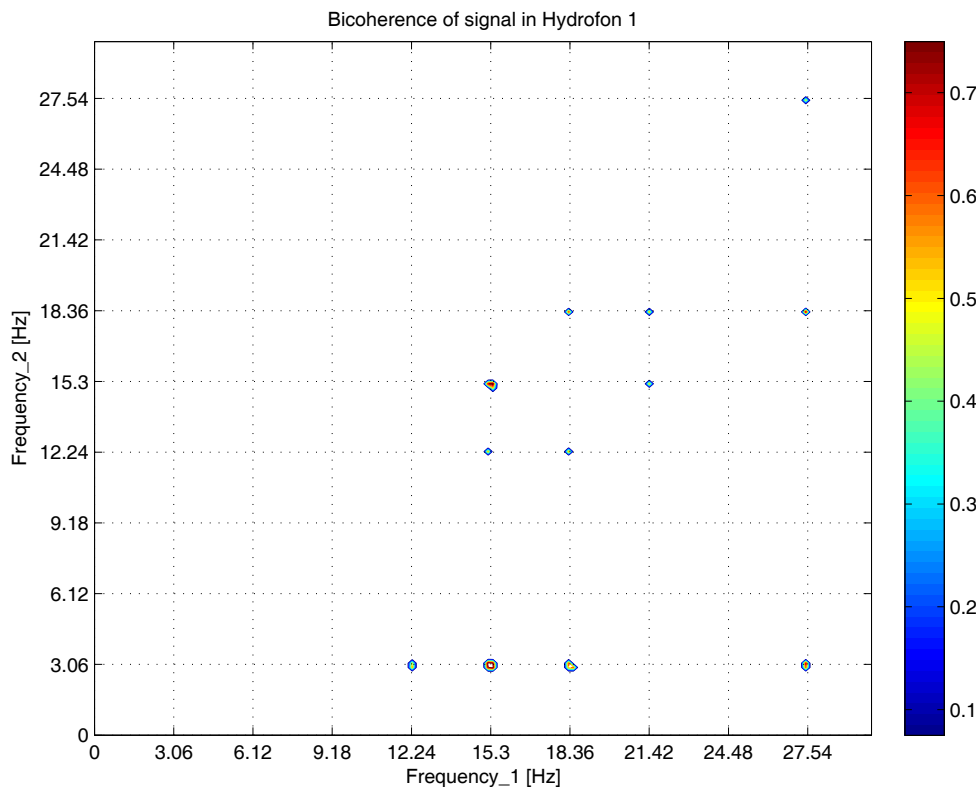
I figur 16 visas en bikoherensyta [7-8] för 3:47-inspelningen. Figur 16 visar att alla kopplingar som återfinns i bikoherensytan utgörs av de frekvenser från hela bandinspelningen som vi misstänker härrör från bandspelaren. Dessa frekvenser är genererade av samma signalkälla, enligt innebörden av bikoherens. Vi bedömer därför att frekvenserna verkligen härrör från bandspelaren.



Figur 14. I figuren visas ett spektrogram för hela bandet som 3:47-inspelningen återfinns på.



Figur 15. I figuren visas ett spektrogram för hela bandet som 3:47-inspelningen återfinns på.



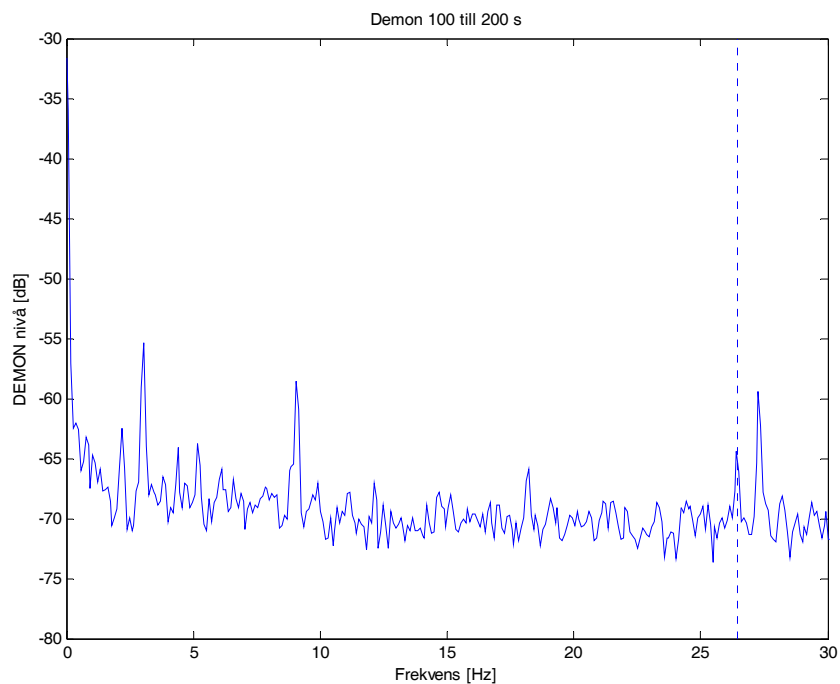
Figur 16. Bikoherens för 3:47-avsnittet, alla kopplingar som uppträder är kopplingar mellan bandspelarfrekvenser.

Amalias motortändfrekvens finns i 3:47

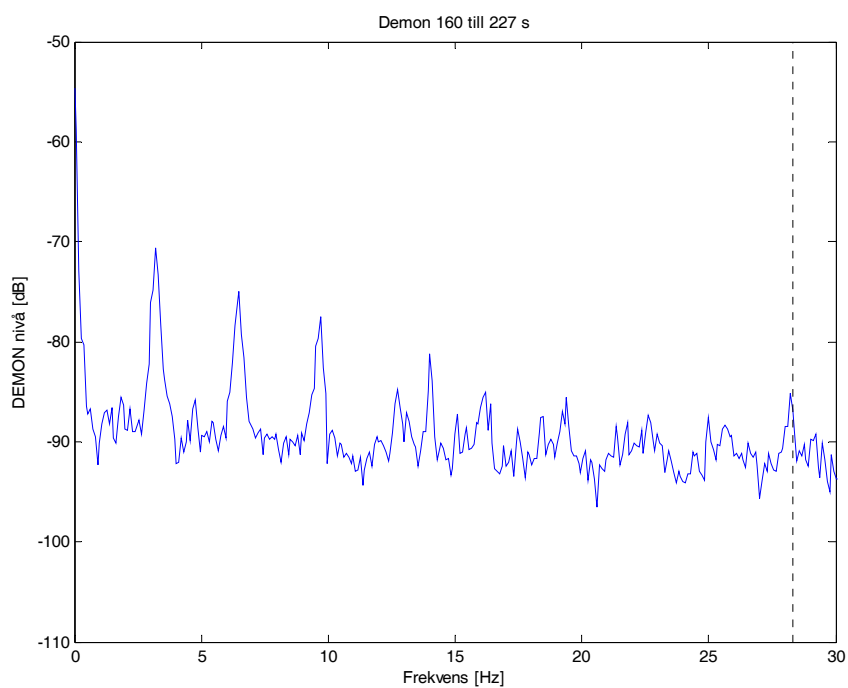
Från inspelningen av Amalia 2008-04-02 erhöles en tydlig frekvenslinje vid 26.5 Hz i signalens spektrum, se figur 12, då Amalia passerade nära hydrofonen. Denna frekvens återfinns även i Amalias demonspektrum, se figur 17, från samma passage.

Frekvensen kan härledas till Amalias motortändfrekvens (eng. EFR, Engine Firing Rate), [9]. Den utgörs av produkten av propellerns varvtalsfrekvens, utväxlingsförhållandet, som är 2,92 för Amalia, samt antal tändningar i cylindrarna per vevaxelvarv. Amalia har en 4-taktsmotor med 6 cylindrar, vilket innebär att vi får 3 tändningar per vevaxelvarv. Amalias varvtalsfrekvens var vid tillfället 3,02 Hz, varför motortändfrekvensen blir $EFR = 3,02 * 2,92 * 3 = 26,45$. Just denna frekvens ser vi vid den streckade linjen i figur 17.

Om vi sedan går till 3:47-inspelningen, hittar vi en frekvens vid 28,3 Hz i kavitationsljudets demonspektrum, se figur 18. Eftersom propellerns varvtalsfrekvens är större, 3,23 Hz, ger en beräkning av motortändfrekvensen denna gång värdet $EFR = 3,23 * 2,92 * 3 = 28,29$. Således, den motortändfrekvens som Amalia skall ge vid detta propellervarvtal stämmer perfekt med den frekvens vi hittar i 3:47.

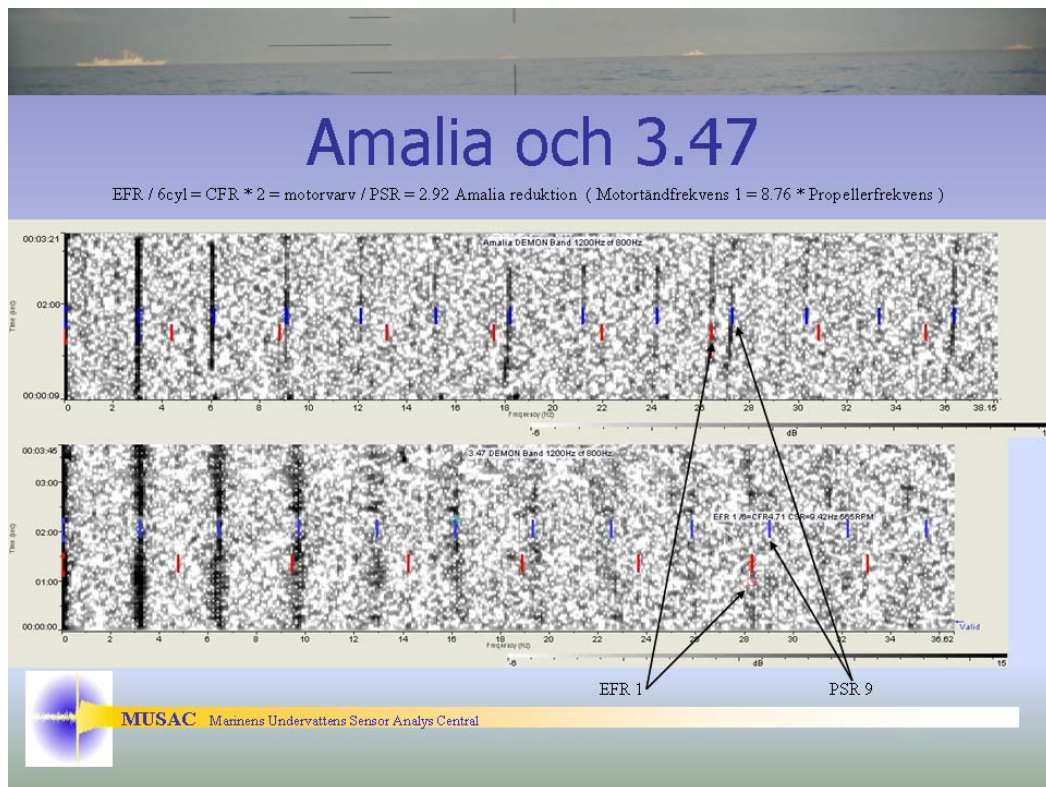


Figur 17. EFR = 26,5 Hz vid den streckade linjen. Från Amalia 2008-04-02.



Figur 18. EFR = 28,3 Hz vid den streckade linjen. Från 3:47-inspelningen.

C Musac påpekade detta om motortändfrekvensen för oss, vår analys ovan tillkom efter hans analys. Vi bifogar denna i figur 19.



Figur 19. C Musacs demonanalys av motortändfrekvensen från Amalia och från motsvarande i 3:47-inspelningen.

Delresultat

- Ljudet från Amalia överensstämmer stundtals mycket väl med ljudet på 3:47-inspelningen.
- Denna överensstämmelse erhålles då Amalia går i låg fart, 4 – 5 kn.
- Likheter i demon finns.
- Varvtalet stämmer.
- Amalia befann sig strax söder om Mälsten på eftermiddagen 1982-10-12, enligt skeppsjournal och intervju med skepparen.
- Amalias motorljud tycks ha kort räckvidd.
- Amalia har 3 blad, samma drivlina och propeller som 1982 med ett hack i en av bladspetsarna. Detta skulle kunna förklara avsaknaden av bladinformation i demon.
- Amalias motortändfrekvens (EFR) återfinns i 3:47-inspelningen. Motorn är en Scania 4-takt diesel, 6 cylindrar, utväxling 2,92. Den frekvens vi identifierar är $EFR = (\text{varvtalsfrekvensen}) \times (2,92) \times (3)$ där varvtalsfrekvensen i experimentet var 3,04 Hz. I inspelningen 3:47 är varvtalet 3,23 Hz.
- Vi har undersökt om de få inspelningar vi har av Amalia ger asymmetriska sidband i demon. Asymmetriska sidband i demon är en mycket markant effekt i 3:47-inspelningen. Vi ser tendenser till det i inspelningen från Mälsten 2008-04-23, men de är inte tydliga. Att vi inte fått fram sidbandsmönstret från Amalia, kan ha berott på att de förhållanden som rådde 1982-10-12 behövs för sidbandens uppkomst, men att de inte rådde under proven med Amalia.

- Vi känner inte till någon vetenskapligt förankrad teori, eller några experimentella resultat, som förklarar eller påvisar asymmetriska sidband från ytkälla.

Slutsats

3:47-inspelningens demonspektrum (figur 2) visar på tydliga asymmetriska sidband från ljudkällan. Vi vet att dessa kan uppkomma från en ljudkälla i u-läge. Vi vet inte om och hur de skulle uppstå från en ytkälla, men vi kan inte utesluta att en sådan effekt finns.

Vi har således inte påvisat asymmetriska sidband från Amalia, men vi håller det ändå för troligt att Amalia orsakat kavitationsljudet på 3:47-inspelningen. Vi stöder denna slutsats på:

- Amalias ljudlikhet
- Likheterna i demon
- Likheten i varvtal
- Amalias närvaro i området söder om Mälsten på eftermiddagen 1982-10-12
- Amalias skadade propellerblad
- Samma frekvens som Amalias motortändfrekvens återfinns i 3:47-inspelningens demonspektra

Referenser

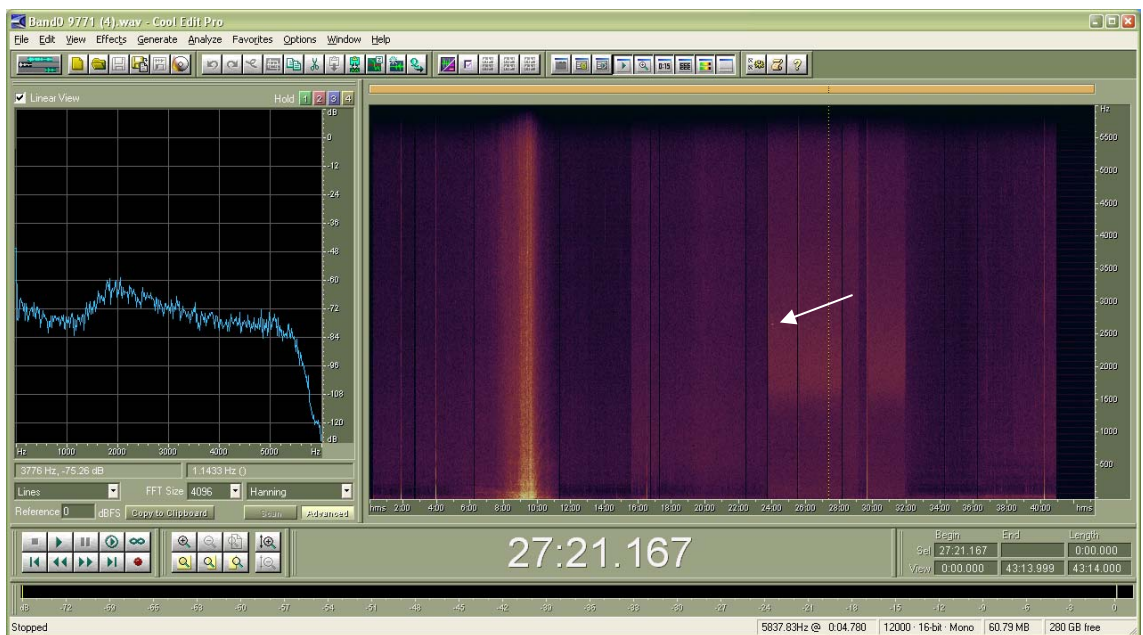
- [1] Tuteur, Franz B. and Tung, Henti, "Asymmetric Doppler Amplitudes in the Surface Scatter Channel", Technical report, Yale University, New Haven, April 1976.
- [2] E. Y. Harper and F. M. Labianca, "Perturbation theory for scattering of sound from a point source by a moving rough surface in the presence of refraction", The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 57, Issue 5, pp. 1044-1051, May 1975.
- [3] Hassab, J. C., "Passive tracking of a moving source by a single observer in shallow water", Journal of Sound and Vibration, Volume 44, Issue 1, pp. 127-145, 1976.
- [4] Moose, R. and Dailey, T., "Adaptive underwater target tracking using passive multipath time-delay measurements", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Volume 33, Issue 4, pp. 778-787, August 1985.
- [5] Abel, J.S., Smith, J.O., "Source range and depth estimation from multipath range difference measurements", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Volume 37, Issue 8, pp. 1157-1165, August 1989.
- [6] Sangfelt, E., Nilsson, B., Granath, B., "Passiv lokalisering av bredbandig ljudkälla med enkelhydrofon", FOA-R--96-00316-2.2--SE, oktober 1996.
- [7] C.L. Nikias and M.R. Raghuver, "Bispectrum estimation: A digital signal processing framework", Proc. IEEE, Vol. 75, No. 7, pp. 869-891, 1987.
- [8] J.W.A. Fackrell, S. McLaughlin and P.R. White, "Bicoherence estimation using the direct method. Part 1: Theoretical considerations", Applied Sign. Process., Vol. 3, pp. 155-68, 1995.
- [9] C. F. Taylor, "The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice", Revised ed., Vol. 2, MIT Press, 1985.

Position 2 i uppdraget: Analys av ping och brushöjning från 1982-10-11, Band 0

Bakgrund

På kvällen 1982-10-11 vid 22:45-tiden noterade hydrofonkedjans operatör på Mälsten en relativt kraftig brushöjning i frekvensområdet 12-20 kHz på tersbandsanalysatorn. Frekvensområdet ligger utanför bandspelarens (Racal store 7DS) normala frekvensområde (0 till drygt 5 kHz) och blev inte inspelat den gången. Brushöjningen återkom tre ggr mellan kl. 23 och kl. 24 och spelades då in i 8 ggr normal bandhastighet, vilket ger ett frekvensområde från 0 till drygt 40 kHz. En översikt av frekvensinnehåll med tiden på Band 0 ges i figur 20. I figuren ser vi brushöjningarna tre gånger mellan bandtiderna ca 24 – 32 min. Dessa tre brusavsnitt avspeglar således frekvenser upp till drygt 40 kHz, medan resten visar frekvenser upp till drygt 5 kHz. Tidslängden på brusavsnitten är 8 ggr längre än i verkligheten, det första brusavsnittet är således inte längre än ca 12 sek. Dessa brushöjningar återkom på tersbandsanalysatorn några gånger till under natten, men spelades inte in. Enligt uppgift hade man ont om band och sparade på inspelningstillfällena.

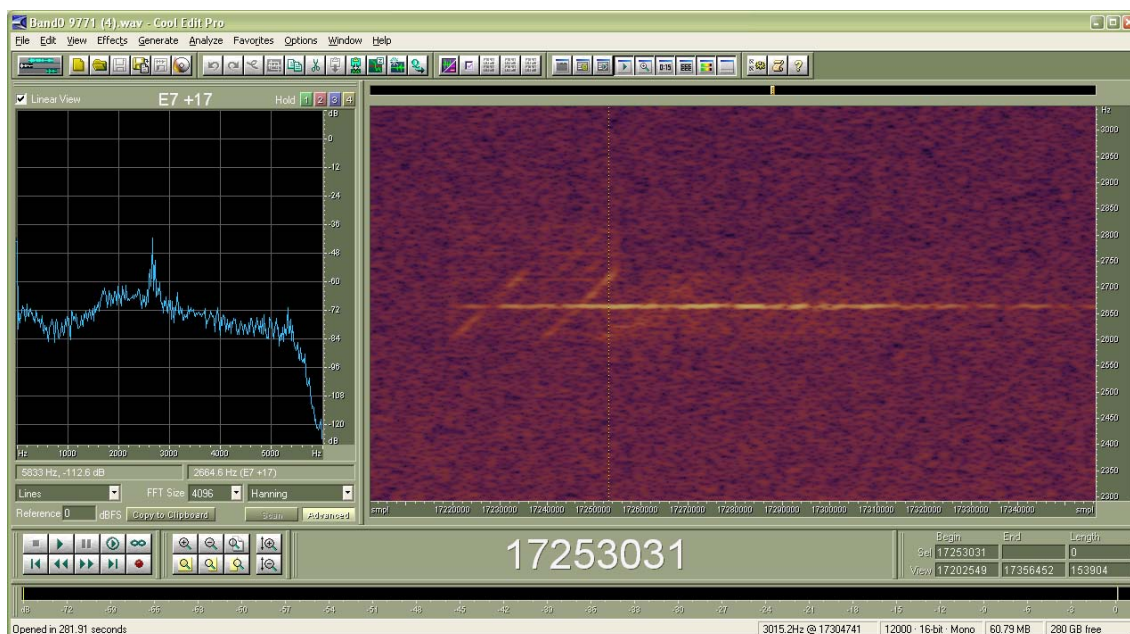
Den ping-liknande signalen syns som en liten prick i början av det första brusavsnittet, figur 20.



Figur 20. Band 0, översikt. Frekvenserna avläses på den vertikala axeln till höger. De tre brushöjningarna ligger mellan ca 24 och 32 min på panelen. I början av det första brusavsnittet syns en liten prick vid ca 2665 Hz (i verkligheten 8 ggr större frekvens), detta är den ping-liknande signalen vi skall analysera. Passagen med Gotlandsfärjan sker strax före 10 min på panelen. Inspelningarna på Band 0 består av flera, kortare delinspelningar om totalt ca 45 min från ca kl. 18, 1982-10-11, till ca 01:40, 1982-10-12.

Varken brushöjningarna eller pinget har tidigare varit föremål för någon egentlig analys. Intresset för dessa signaler uppstod under hösten 2007 i samband med SVT:s programserie Uppdrag granskning:s tillbakablickar på händelserna i Horsfjärden hösten 1982.

I figur 21 visas en förstoring av ping-signalen och i figur 22 dess överton vid dubbla frekvensen. Från den senare syns tydligt att signalen består av två dubbelpulser, var och en består av en CW-signal (Continues Wave) och en FM-signal (Frequency Modulation) med frekvenssvep 1 kHz. En noggrannare analys visar att båda dubbelpulserna är 160 ms långa och har 40 ms tidslucka. I figur 21 ser man dessutom svaga linjer med 400 Hz separation. I det lägre frekvensbandet, figur 21, är ping-signalen kraftigt förlängd av reverberation (flervägsutbredning), detta förlänger speciellt CW-delen av pulserna, men även FM-delen förlängs som ett svagt band under någon dryg sekund.



Figur 21. Uppförstoring av ping-signalen.

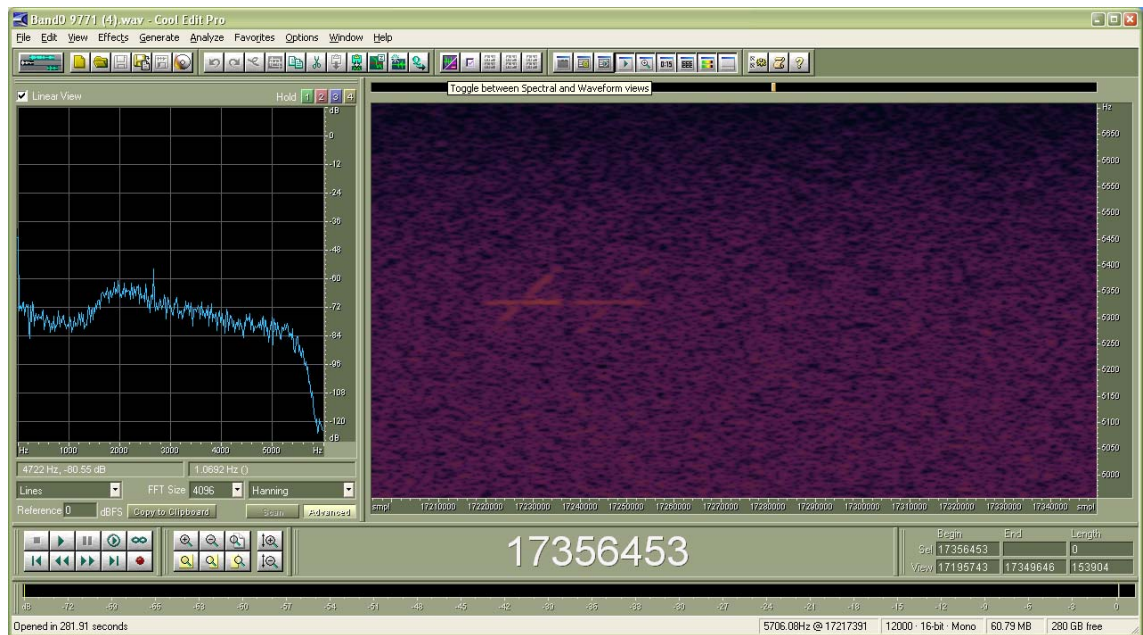
Alla dessa data om signalen är karakteristiska för helikoptersonar 204, utom på en väsentlig punkt – Sonar 204 kan inte normalt sända CW och FM samtidigt. För att den skall göra det måste något fel i dess elektronik ha uppstått.

Frågan är således, är detta en signal från Sonar 204 med ett tillfälligt eller permanent fel, eller är det en signal från en främmande sonar?

Den andra frågan är: Vad orsakar brushöjningen i de tre brusavsnitten vi pekade ut i figur 20?

En naturlig fråga är om det kan ha varit två helikoptrar ute som råkat sända så att deras signaler sammanföll vid mottagaren. Mot detta talar den tydliga intermodulationseffekt vi ser i t.ex. övertonen i figur 22. Här ser vi dubbla CW-frekvensen, men med FM-signalen överlagrad med samma frekvenssvep om 1 kHz som vid grundfrekvensen. Intermodulationen uppstår bara om signalkomponenterna gått genom samma sändare.

Således, vi kan utesluta att två olika sonarer har sänt och fått signalerna att sammanfalla.



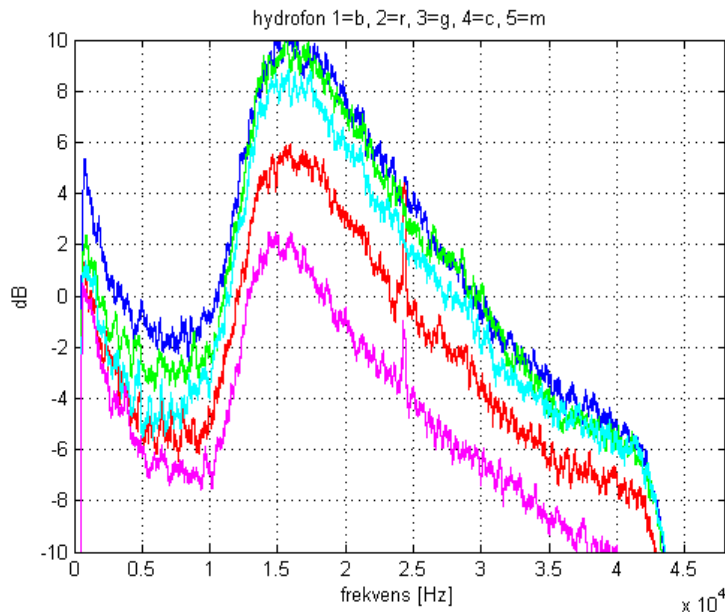
Figur 22. Övertonssignal vid dubbla frekvensen.

Vid vår kontroll visar det sig att en helikopter, Y68, haft till uppgift att spana i området söder om inloppet till Danziger Gatt. Y68 fick återvända i förtid med fel på sin radar och ersattes av Y70 som gick upp istället. Krigsdagbok, som normalt skrivs, finns för Y68, men inte för Y70. Vi vet att Y70 varit ute normal spaningstid om några timmar, speciellt under den intressanta timmen mellan 23 och 24, men vi vet inte var och vid vilken tidpunkt den doppedat ned Sonar 204 och sänt.

En speciell omständighet är att vi inte kan upptäcka någon signatur (13 Hz ton med övertoner 26 Hz, 39 Hz, 52 Hz,...) från helikopterns rotorblad på brusavsnittet med ping-signalen. Om helikoptern vore tillräckligt långt borta, 3 km eller mer, skulle denna signatur dock inte nå fram. Denna avståndsuppskattning bygger på en analys av två andra helikopterföretag som spelats in på Band 3. Där identifierade vi ett tillfälle då en helikopter sände från 1.5 km och den andra från 3 km. Endast en av dem gav en synbar signatur från rotorbullret, och eftersom ljudutbredningen till hydrofonkedjan sker i ett öppet område utan några speciella "hinder" i form av öar eller uppgrundningar, måste signaturen ha kommit från helikoptern på 1.5 km avstånd.

Orsaken till brushöjningarna

Vid ett tillfälle då inspelningarna av brushöjningen i frekvensområdet 12-20 kHz gjordes, noterade operatören att det duggregnade. Spektrum för de olika hydrofonsignalerna under ett av brusavsnitten visas i figur 23. De är typiska för lätt till måttligt regn, enligt gängse forskningslitteratur [1-3].



Figur 23. Spektra av brussignalerna i hydrofon 1-5. Liknande spektra erhålls från lätt till måttligt regn. Den resonansliknande toppen vid ca 15 kHz uppkommer genom att tämligen små regndroppar, som vid lätt till måttligt regn, träffar vattenytan. Dels uppkommer ljud från nedslaget mot vattenytan och dels från en oscillerande mikrobubbla som bildas strax efter [3]. Den ton vi kan se vid ca 24.5 kHz på hydrofon 2 och 5 känner vi inte ursprunget till.

Enligt METOCC i Enköping regnade det av och till under några timmar före och efter midnatt vid de näraliggande stationerna på Landsort och Stabbo. Enligt meteorologisk expertis på METOCC är det högst troligt att så var fallet på Mälsten också. I Appendix 1 återges en tolkning av väderläget i Mälstensområdet, baserad på METOCC databas, som visar att skurar förekom med stor sannolikhet.

En annan viktig indikation på att brushöjningen orsakas av regn, är att hydrofonsignalerna i bandet 12 – 20 kHz under brusavsnitten är okorrelerade. En punktformig eller i rummet väl lokaliserad ljudkälla som sänder ut brus ger alltid en skarp korrelation vid tidsförskjutningen som svarar mot gångvägsskillnaden mellan hydrofoner och ljudkälla. En naturlig förklaring till att korrelation saknas i vårt fall är att ljudkällan består av många små, närbelägna ljudkällor utbredda över ett område i storlek överensstämmande med hela hydrofonkedjan eller mer. En sådan utbredd ljudkälla borde ge just den observerade frånvaron av korrelation.

Ytterligare en indikation på att brushöjningarna orsakas av regn är att brusets spektrum är helt fritt från modulation av spektrumnivån, detta visar att ljudet inte ”färgats” av flervägsutbredning, ett fenomen som annars alltid förekommer då bredbandiga signaler utbreder sig i grunda vatten över horisontella avstånd. Ljud som kommer rakt uppifrån, från ytan, och går ned mot hydrofonen som vid regn, skulle inte bli färgat nämnvärt av flervägsutbredning.

Således, att brushöjningarna kommer från regn får anses högst troligt.

Försök att lokalisera ping-signalens källa

För lokaliseringen krävs positioner för hydrofonerna i kedjan. Vi är speciellt intresserade av att avståndsbestämma ljudkällan, eftersom avståndet skulle kunna avgöra frågan om pinget kom från egen Sonar 204 eller från någon främmande sonar. Om avståndet är mindre än 1,5 km, skulle vi säga att ping-signalen måste komma från en främmande sonar.

"Ursprungliga" positioner

Den uppgift som vi erhållit om hydrofonernas inbördes positioner härrör från ett fax daterat 1993-01-22 från FMV:Span. Uppgifterna i faxet tycks i sin tur härröra från 1982-10-26. De relativa positionerna för hydrofon 1 – 4 uppges vara (i meter) (0, -40), (152, -5), (260, -26), (375,0), där x-axeln ligger i en ungefärlig O – V riktning (92,5 ° räknat från norr). Hydrofon 5 har vi ingen uppgift om. Kedjan som sådan lades ut av minutläggare och uppges ha legat ca 1,5 km österut från Mälstens södra spets. Någon närmare uppgift om hydrofonkedjans absoluta position finns inte.

Positionerna uppges ha erhållits efter sprängprov från två platser, en norröver ca 1 kabel-längd (185 m) väster om Klövskär (ca 2,5 km norrut från hydrofonkedjans östliga del), och en ca 1 km väster om hydrofonkedjans västliga del, ca 1 kabellängd söder om Mälstens södra spets. Vi kallar koordinaterna i fortsättningen "ursprungliga" koordinater.

Vi har sökt och frågat, men inte fått någon dokumentation om hur analysen av sprängdata gick till, hur man mätte tidsskillnaderna mellan hydrofonerna, eller hur man härledde positionerna ur mätdata. Inte heller har det framkommit vem som gjorde mätningarna och analysen.

Eftersom ingen dokumentation finns, kan vi inte bedöma riktigheten i den uppgivna positioneringen. Det är dessutom så, att y-koordinaterna är relativt känsliga för fel i uppgiven sprängposition norrifrån. En liten förändring i sprängpositionens x-koordinat, vilken är grovt uppskattad från början, leder till en noterbar förändring i hydrofonernas y-koordinat (se Appendix 2).

Positioner från FOA-pärm

Vi har hittat uppmätta tidsskillnader i en pärm med analysmaterial från 1982, men där dokumentationen kring denna mätning är bristfällig. Uppgifterna tyder på att man mätt tidsankomster från sprängsignalerna på pappersutskrift, som erhållits genom att köra bandspelaren på låg fart. Analysen sägs vara gjord på Band 10. De inblandade minns dock inte några detaljer, och bristen på skriftlig dokumentation tyder på att avsikten inte var att presentera en slutlig analys. Dock, från uppgifterna i pärmen om uppmätta tidsskillnader erhåller vi följande relativa koordinater för hydrofon 1 – 4: (0, -40), (152,-35), (263,-63) och (375,-43) . Här har vi lagt hydrofon 1 på samma position som i de "ursprungliga". Som vi ser, resultaten i x-led överensstämmer bra medan y-led avviker kraftigt från de "ursprungliga".

Vi kallar dessa positioner "FOA-pärmens" positioner. Eftersom dokumentationen även här är bristfällig och bygger på dåligt kända sprängpositioner, gör vi ytterligare försök att positionera hydrofonkedjan.

Försök att analysera Band 10

Ett Racalband, benämnt Band 10, som enligt uppgift skulle innehålla en inspelning från hydrofonkedjan från det tillfälle då dess position bestämdes med hjälp av analys av ankomsttiderna för ljudet från de två handgranaterna, en norr om kedjan och en väster om densamma, har analyserats. Tanken var alltså att kontrollera positioneringen av hydrofonerna.

Dessvärre visade det sig att det inte gick att få ut något från bandet, antingen p.g.a. att det var för gammalt och att magnetskiktet inte längre fungerade. Att den inlånade Racal-bandspelaren fungerade kunde verifieras åtminstone för tre kanaler genom att vi lyssnade av

ett annat yngre band från ett annat tillfälle då tre kanaler använts. Bl.a. hade man då spelat in en tidkod som hade god kvalitet på bandet.

Ping från helikopter på andra bandinspelningar

Försök gjordes att verifiera positionerna genom att studera ping från andra tillfällen då helikoptersonarnas position varit känd från krigs dagböcker. Detta visade sig stöta på en del problem. Så gott som alla inspelningar är gjorda med 7,5"/s bandhastighet som ger en övre gränsfrekvens på inspelade signaler på ca 6 kHz. En tillräckligt stark signal, som från ett ping på nära håll, ger en överstyrning som slår igenom även under 6 kHz. Om signalen ligger nära överstyrning kan man få effekten att den ibland överstyr och ibland inte, vilket får till följd att man inte kan vara säker på att den första signalen man ser, verkligen är direktsignalen från pinget, utan kan vara från efterföljande ljud som tagit andra längre utbredningsvägar men ändå haft större amplitud.

Vi insåg att denna metod var principiellt omöjlig.

Bestämning av hydrofonpositioner med hjälp av korrelogram från Gotlandsfärjan

Ett generellt sätt att bestämma tidsskillnader är att använda bredbandiga signaler och deras korrelation, noggrannheten i tidsskillnadsberäkningen är proportionell mot signalens bandbredd. Gotlandsfärjans signal är flera kHz bred och bör tillåta tidsskillnadsbestämning med noggrannhet bättre än 1 ms. Eftersom Gotlandsfärjan passerar hydrofonkedjan har vi en signalkälla längs med en kurslinje, dvs. att likna vid ett stort antal sprängpunkter. Problemet är att vi inte kan vara säkra på deras position, men om man kan anta att signalkällan rör sig med konstant fart och kurs under mätningen bör tillförlitliga resultat kunna erhållas.

Turlista gällande 1982-10-01 – 1983-01-31 har erhållits från Gotlandsbolaget. Aktuell färja har avgått från Visby 17.15 med ordinarie ankomsttid i Nynäshamn ca 22.15.

Enligt operatörens anteckningar passerade färjan hydrofonarrayen ca 21.33.

Enligt samtal med Göran Vassberg (styrman 1982) på Gotlandsbolaget gällde följande för Gotlandsfärjan måndagen 11 oktober 1982:

Fart 17 knop

Kurs 330°

Kurslinje mitt i Danziger Gatt, babord 9 m grund.

Propellerdjup 5 m

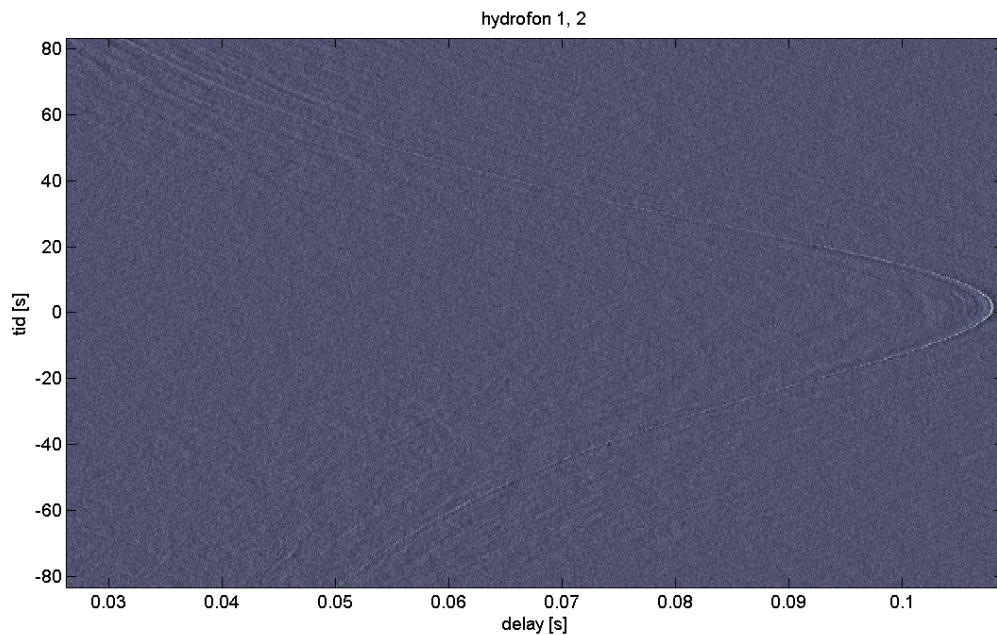
2 st propellar med inbördes avstånd 12 m.

Således har vi en signalkälla på 5 m djup. Hydrofonerna ligger enl. uppgift någon meter ovanför botten på en plats där bottendjupet är ca 40 m. Idén är nu att beräkna tidsberoende korrelationer, s.k. korrelogram, för hydrofonparen, ett exempel ges i figur 24.

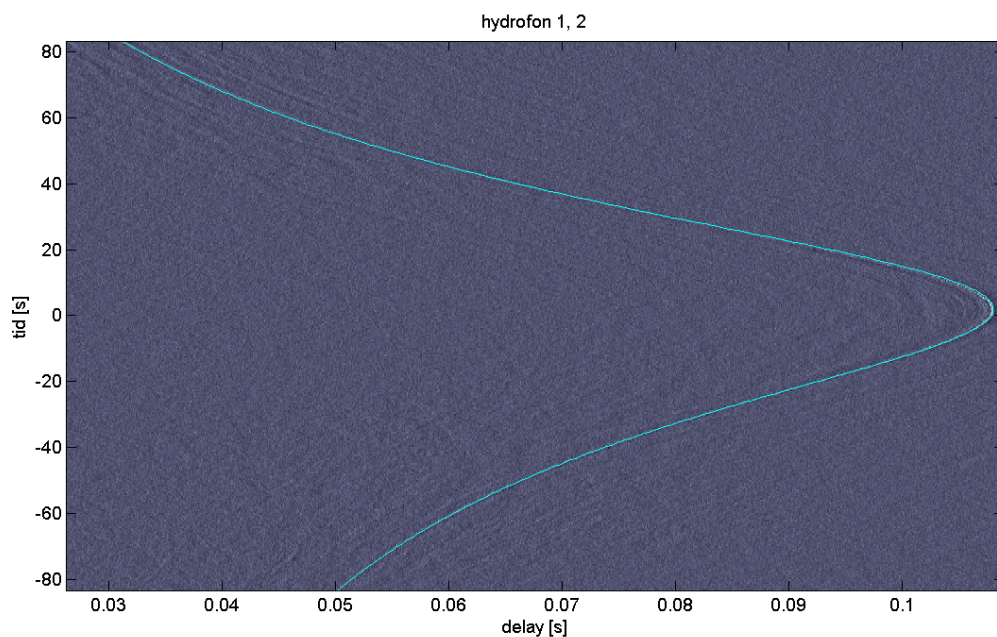
Sedan kan vi anpassa en geometrisk modell till korrelationsdata, där fart och avstånd till hydrofonerna ingår som parametrar. Denna modell ger sedan en syntetisk bågkurva som, genom anpassning av parametrarna, kan fås att stämma med den verkliga bågkurvan, se figur 25. När överensstämmelsen är god anser vi att parametrarna är riktiga. Om detta kunde göras för alla hydrofonpar skulle vi kunna positionera alla hydrofonerna relativt varandra.

Det visar sig att vi endast erhåller användbara korrelogram för paren 1 – 2, 1 – 3, 2 – 3 och 4 – 5. Den direkta kopplingen mellan hfn. 4, 5 och de andra saknas, varför vi nöjer oss med att positionera hfn. 1 – 3. Det räcker ju i princip med tre hydrofoner för att avståndsbestämma en ljudkälla.

En annan anledning att använda hydrofon 1 – 3 är att signalankomsten till hydrofon 4 är svårbestämd. Hydrofon 4 visade sig ha störningar i signalen som gjorde det svårt att fastställa ankomsttidpunkten i tidsserien.



Figur 24. Bilden visar en båge, som i x-led visar skillnaden i ankomsttid till de två hydrofonerna för ljudet från färjan, och hur skillnaden ändras med tiden i y-led.



Figur 25. Korrelogrammet i figur 24 med inlagd tidsskillnadskurva erhållen med anpassad modell enligt diskussionen i texten.

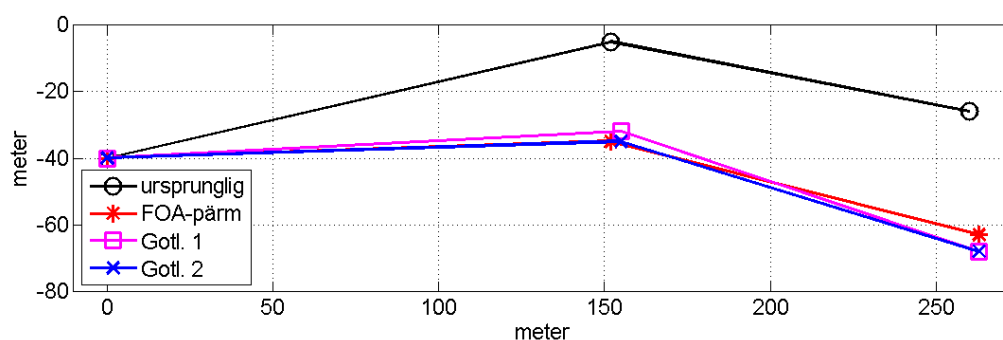
Fler detaljer om positioneringen av hydrofonerna återfinns i Appendix 3. Resultaten visar att vi får två alternativa lösningar som vi har svårt att skilja på, varför vi tar med två alternativa lösningar. De fyra olika uppsättningar hydrofonpositioner vi har fått fram sammanfattas i Tabell 1.

Tabell 1. Vi har fyra olika positioneringsuppgifter enligt diskussionen i löpande text.

Metod	Hfn 1	Hfn 2	Hfn 3
Ursprunglig	(0, - 40)	(152, - 5)	(260, - 26)
FOA-pärm	(0, - 40)	(152, - 35)	(263, - 63)
Gotlandsfärja, Alt. 1	(0, - 40)	(155, - 32)	(263, - 68)
Gotlandsfärja, Alt. 2	(0, - 40)	(155, - 35)	(263, - 68)

Anledningen till att vi får två alternativ i fallet med Gotlandsfärjan kan vara att något antagande inte stämmer helt. Färjans kurs eller fart kan ha ändrats under det tidsavsnitt vi använt oss av, eller så ligger inte hydrofonerna på exakt samma djup. Det senare kanske är det troliga, kedjan är ganska lång och en botten är sällan helt plan.

Vi sammanfattar i figur 26 hur de olika positioneringarna skiljer sig i förhållande till varandra.



Figur 26 Hydrofonpositionerna beräknade med olika metoder. Observera att antagandet om färjans kurs inte påverkar hydrofonkedjans form, men väl dess vridning i horisontalplanet. För "FOA-pärm"-koordinaterna så gäller ungefär samma sak vid en förflyttning av sprängplats norr i öst-västlig riktning. De olika positionerna kan alltså sammanfalla betydligt bättre än bilden antyder. För de ursprungliga koordinaterna gäller att de inte är korregerade för de 2,5° avvikelse från OV-riktningen. Detta innebär att hydrofonkedjan ska vridas ner 2,5° närmare de andra hydrofonpositionerna i figuren

Vilken positionering av hydrofonerna som ligger närmast den verkliga är omöjligt att säga, så länge vi inte har tillgång till mer dokumentation om sprängförsöken. Ytligt sett tycks inte positionerna skilja sig mycket, men de små skillnader som finns har stor inverkan på avstånden som vi ser i nästa avsnitt.

Beräkning av ping-signalens källposition

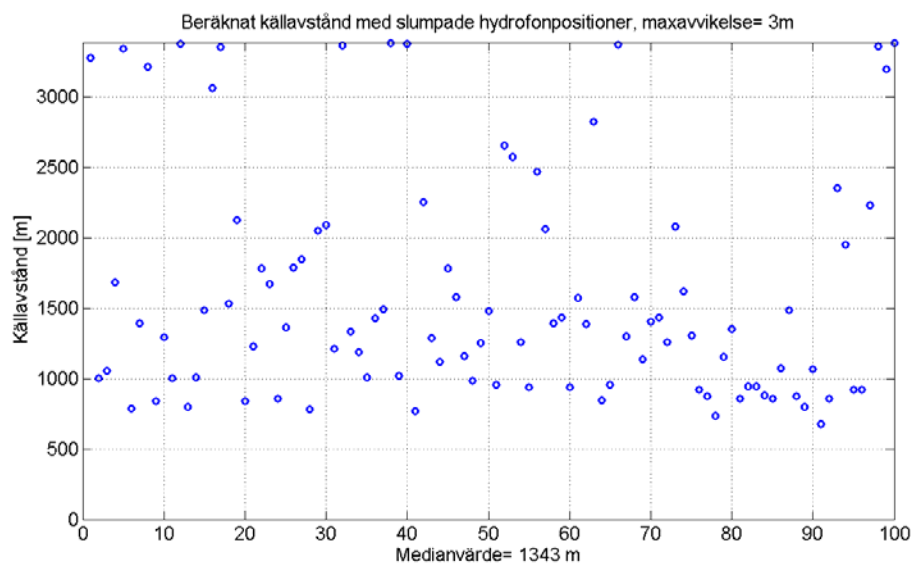
Det teoretiskt bästa sättet att tidsbestämma pingets ankomsttid på de olika hydrofonerna är att korrelera mottaget ping med en replika av utsänd signal, så länge reverberation inte stör. Eftersom CW-delen är kraftigt störd av reverberation, använder vi oss av FM-delen enbart och skapar en replika av FM-komponenten i signalen med 1 kHz bandbredd och nominell bärfrekvens på 21325 Hz. Vi använder resultaten från den andra pulsen i pinget, eftersom bäst signalnivå erhålles där (se Appendix 4). Vi använder sedan tidsskillnaderna mellan hydrofon 1 – 3.

Tabell 2. Lokalisering av ping-signalens källa med de fyra olika möjligheterna för hydrofonernas positioner.

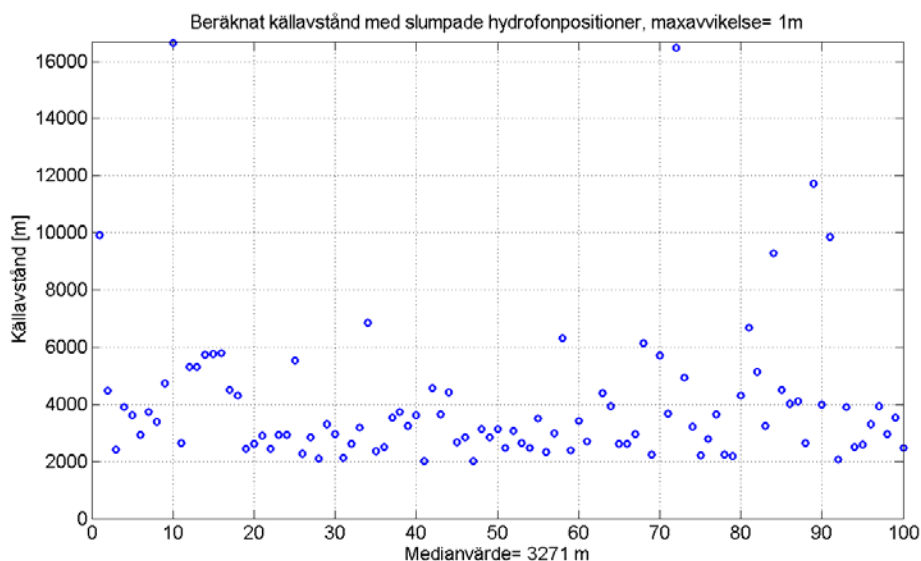
Metod	Bäring (°)	Avstånd (meter)
Ursprunglig	143,1	1162
FOA-pärm	153,5	Ej lokaliserbar
Gotlandsfärja 1	150,5	1321
Gotlandsfärja 2	153,0	3202

Värdena i Tabell 2 är angivna med meter. Denna noggrannhet är orealistisk, med tanke på osäkerheterna i absolut position av hydrofonerna, ljudutbredningshastighet (nu används ett ansatt värde på 1430 m/s som är realistiskt men inte dokumenterat), osäkerhet i sprängpunkternas lägen, osäkerhet i mätningar av tidsankomster eller tidsskillnader, osäkerhet om skillnader i djup mellan hydrofonerna och osäkerhet om Gotlandsfärjans kurs och fart (vi kan räkna ut att den passerat nära hydrofon 4 genom att studera korrelogrammen för hydrofonparet 4 – 5). Om vi är optimistiska, skulle kanske noggrannheten i hydrofonernas position som bäst kunna vara ± 3 m i någon riktning. En illustration av innebörden av detta ges i figur 27 – 28.

Bäringen är beräknad relativt origo i figur 26.



Figur 27. Beräknat källavstånd med antagande om hydrofonpositioner enligt Gotlandsfärja Alt. 1, där positionerna slumpats inom 3 m från värdet enligt tabell 1. 100 slumpningar har gjorts.



Figur 28 Beräknat källavstånd med antagande om hydrofonpositioner enligt Gotlandsfärja Alt. 2, där positionerna slumpats inom 1 m från värdet enligt tabell 1. 100 slumpningar har gjorts. Observera den annorlunda avståndsskalan jämfört med figur 27 samt att endast 1 m fel antagits!

En slutsats från positioneringsförsöket av signalkällan till ping-signalen är att vi inte erhåller entydiga resultat. Således kan vi inte på grundval av avståndsbestämningen utesluta att egen Sonar 204 sänt ping-signalen.

För att komma längre skulle vi ha behövt antingen full dokumentation från analysen av sprängförsöken, eller en lyckad avspelning av bandet med hydrofonupptagningarna från sprängningarna.

Varför ser man bara ett enda ping om det är en helikopterhydrofon som sänt?

Möjliga förklaringar:

1. Sonarn har sänt bara ett ping.
2. Sonarn är inställd på ett så långt sökavstånd att nästa ping inte hinner sändas ut innan bandinspelningen tar slut (11.6 s). Detta gäller avståndsområdena 9 och 12 km.
3. Sonarn har befunnit sig i automatsökningsmod. Att så varit fallet antyds av att man har använt dubbelpuls vars användningsområde är att snabbt söka av alla riktningar. Då vrids sändaren i 60-graderssteg. Varje vridning tar en sekund och sedan tillkommer tiden för pulsen i vattnet. Att vrida ett helt varv skulle vid det kortaste sökavståndet ta $6 \cdot (1+2) = 18$ sekunder och vid det näst kortaste $6 \cdot (1+4) = 30$ sekunder. Ätminstone på någorlunda stort avstånd kan man räkna med att sonarsignalen inte blir tillräckligt stark för att synas då sonarn är riktad bort från hydrofonkedjan.

Av samma skäl som i punkterna 1 – 3 ovan, behöver man inte heller se någon ”svans” av föregående pings reverberation, om det inte är det första utsända pinget vi ser. Reverberationen från pinget är för kort för att ligga kvar under de nämnda förutsättningarna.

Hur kan man på Sonar 204 få CW- och FM-signal samtidigt?

Eftersom FM- och CW-signalerna tydligen kommer från samma källa och hydrofon 204 normalt inte kan sända båda samtidigt, måste något fel ha inträffat i systemet.

Ett fel som skulle kunna ge CW och FM samtidigt är en trasig NAND-grind i elektroniken (Appendix 5). Denna förklaring har undersökts experimentellt både i måttank och vid FOI mätstation i Djupviken. En stor brist i den givna förklaringen är att det fel den beskriver förmodligen kommer att vara bestående. Men de vi frågat om saken har inte observerat eller hört talas om något fel, vilket man borde ha gjort om felet inte har reparerat sig självt.

En annan förklaring (Appendix 5) har framkommit (i och med att vi fått tillgång till kompletta schemaritningar på komponentnivå):

Efter den digitala krets som fungerar som switch och som väljer CW- eller FM-puls övergår signalen till analog signalbehandling. Om man tänker sig att den digitala FM-signalen på ingången till switchen p.g.a. någon överledning (t.ex. beroende på fukt + salt) adderas till signalen någonstans i den analoga signalkedjan i närheten – de ligger nära varandra på kortet – så kommer sändpulsen att bestå av en CW-puls överlagrad med en FM-puls med en amplitud som beror på hur stor överledningen varit och som alltså kan variera. Man kan tänka sig att vid helikopterflygningens början fukten givit CW + FM-puls men att när elektroniken blivit varm felet försvunnit. Den kvällen flygningen gjordes har det enligt uppgift regnat.

En tredje möjlighet att få FM- och CW-signal samtidigt skulle kunna vara att styrsignalen ovan fått in störningar med så hög frekvens att signalen under pulsen växlat mellan CW- och FM-läge. Det skulle i så fall kunna bero på något fel i den logik som alstrar styrsignalen. (Se Appendix 5.)

Sonaroperatörer [4] har talat om elektriska överslag då man doppat sonarn vid vissa tillfällen, speciellt vid duggregn. Det har då inträffat att ett elektriskt överslag skett mellan sonardomen och helikopterns infästning, då man doppat ned sonarn första gången efter intagning av hovring. Därvid har det hänt att en signal sänts ut utan att operatören begärt detta. Vid andra tillfällen har fler ping sänts ut innan operatören avbryter sändningen. Vi har inte haft tid att följa upp detta spår, men det kan enl. [4] finnas dokumenterade undersökningar av dessa problem. Om detta skulle kunna förklara en samtidig sändning av CW och FM vet vi inte.

Slutsatser, position 2

De tre brushöjningarna härrör med stor sannolikhet från regn.

Pingsignalen kan härröra antingen från Marinens egen helikoptersonar, Sonar 204, eller från någon annan sonar. De tekniska undersökningar vi gjort utesluter inte något av alternativen. De fel vi undersökt som skulle kunna ge den observerade pingsignalen verkar mindre troliga, men kan inte uteslutas. Vi har inte undersökt om elektriska överslag skulle kunna generera en samtidig CW- och FM-puls.

Referenser

1. Science News of the week: The Underwater Sound of Rain, January 4, 1986. Science News, Vol. 129.
2. A. Prosperetti, L.A. Crum, and H.C. Pumphrey "The Underwater Noise of Rain", J. of Geoph. Res., Vol. 94, no. C3, pp 3255 – 3259, 1989.
3. H. Medwin and C. S. Clay, "Fundamentals of Acoustical Oceanography", Academic Press 1998.
4. Leif Thunberg, TKSE.

Appendix 1: Beskrivning av väderläget 11-12 oktober 1982

Av Robert Sigg

Väderläget i stort:

En högtrycksrygg sträcker sig in från Ryssland mot mellersta Sverige. Denna högtrycksrygg försvagas till den 12 oktober och under påföljande dag närmar sig ett lågtryck södra Sverige från Nordsjön. Det innebär att vindarna mestadels kommer från ost eller sydost under perioden 11-12 oktober i området runt Stockholms skärgård. Högtrycksryggen medför också att Stockholms skärgård befinner sig ett subsidensområde vilket medför molnupplösning. Dock har relativt kall luft för årstiden strömmat med de ostliga till sydostliga vindarna ut över öppet hav från Baltikum mot södra Sveriges ostkust vilket gynnar en labilisering och molnbildning i de lägre skikten.

Vädret i Mälstenområdet:

Det finns inga observationer från Mälsten men däremot från omkringliggande väderobservationsstationer. I detta fallet Stabbo och Landsort.

Observationerna från Stabbo visar att måttligt ihållande regn faller 2008-10-11 kl. 08.00. Vid nästa observationstermin kl. 09.00 rapporteras regn på avstånd. Därefter är det uppehåll till kl. 20.00 på kvällen när vi återigen får ihållande måttligt regn som övergår i ihållande lätt regn och vid midnatt har regnet upphört och endast regn på avstånd rapporteras. På morgonen 1982-10-12 upprepas detta mönster då ihållande måttligt regn rapporteras kl. 05.00 och 06.00. Detta övergår i regn på avstånd och från och med kl. 08.00 rapporteras ingen nederbörd.

Observationerna från Landsort visar regnskuror på avstånd 1982-10-11 kl. 12. Därefter återkommer rapporter om nederbörd kl. 18.00. På Landsort rapporteras sedan nederbörd varje observationstermin fram till 1982-10-12 kl. 06.00 för att sedan upphöra. Först är det regnskuror på avstånd vilket övergår i ihållande måttligt duggregn. Detta blir ihållande måttligt regn för att sist slutligen rapporteras som regnskuror på avstånd. Observationsterminerna är endast var 3:e timme på Landsort vilket innebär en sämre kontinuitet än Stabbo.

Med tanke på det rådande väderläget där relativt kall luft strömmar ut över hav som fortfarande är varmt kommer en labilisering ske i skikten närmast marken. Detta innebär stora förutsättningar för molnbildning. Dock befinner vi oss i en högtryckssituation där kartorna visar på väldigt torr luft redan på 700 hPa (ca 3 km höjd). Utifrån denna information kan vi sluta oss att molnen inte kommer att bli speciellt vertikalt mäktiga. Observationerna visar att molnbasen är på ca 500 m. Detta visar även teoretiska övervägningar (med användning av ett Oredsson-diagram) där en klimatologisk ytvatten-temperatur antas (9-10 °C) tillsammans med observerade dagpunktstemperaturer. Bedömningen är därför att molnen inte kommer att överstiga 1500 m i tjocklek (900 till 750 hPa). Därmed kommer inte någon kraftig nederbördsutlösningssprocess kunna startas vilket kräver betydligt mer vertikalt tjocka moln. Det innebär att nederbörden som bildas endast kan bli lätt eller måttligt och att regndropparna kommer att bli små.

Eftersom det inte finns några regelrätta observationer från Mälsten så får vi använda oss av väderläget i stort samt informationen från Stabbo och Landsort för att sluta oss till hur det kan ha varit på Mälsten. Molnområdena som bildats är säkerligen utbredda (stratiforma moln, mest troligt stratocumulus) eftersom molnbildningen drivs av det varma vattnet och

inversionen på lite högre höjd får molnen att breda ut sig. Mälsten ligger i det närmaste mitt emellan Landsort och Stabbo i en sydväst-nordostlig linje. Många gånger i dessa väderlägen formerar sig regnområden i band som sammanfaller med denna linje. Speciellt då vi har en kraftig konvektion från vattnet. Därmed är det mycket troligt att nederbörd av samma karaktär och varaktighet som fallit i Landsort och på Stabbo också har fallit i Mälstensområdet.

Källor:

Synop-observationer från Landsort och Stabbo vilka tillhandahölls av FM METOCC.

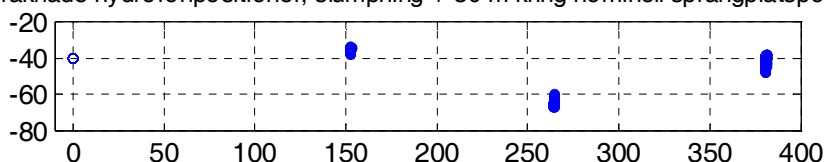
Omanalyser som finns publicerade på www.wetterzentrale.de/topkarten.

Appendix 2: De beräknade hydrofonpositionernas beroende av sprängplatspositionerna

En beräkning av hydrofonpositioner givet sprängplatspositioner, en norr om hydrofonkedjan och en väster om hydrofonkedjan, samt uppgifter på uppmätta gångtidsskillnader, ger nedanstående figur som visar framräknade hydrofonpositioner. Eftersom inga absoluta gångtider är givna utan bara relativa låser vi hydrofon 1 till position (0, -40) och beräknar övriga hydrofonpositioner relativt denna. För att visa hur känsliga hydrofonpositionerna är för antagna värden på sprängplatspositionerna slumpar vi dessa inom en radie av ± 30 m från de nominella värdena, sprängplats norr: (380, 2300), sprängplats väster: (-1000, 0).

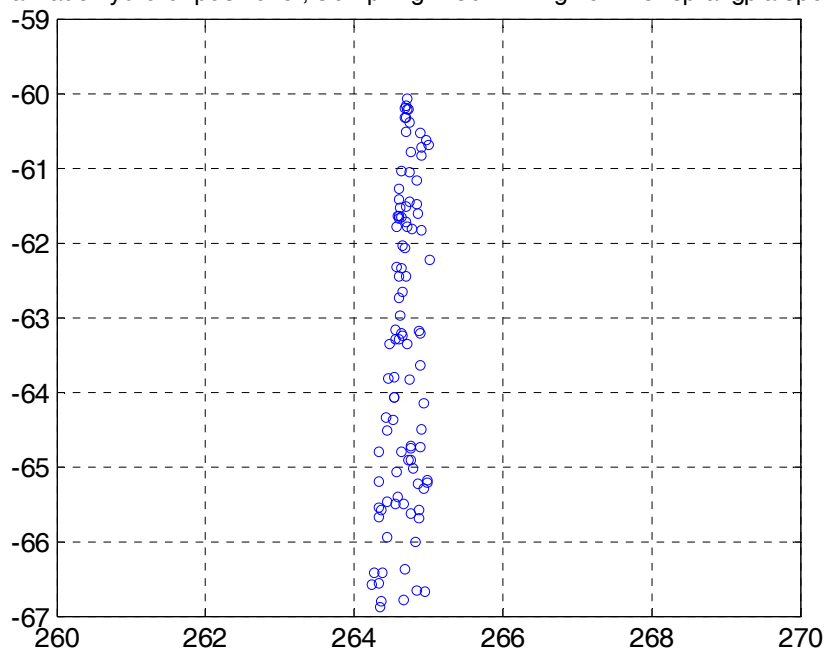
Den övre figuren visar de fyra första hydrofonernas positioner, den nedre en uppförstoring av den tredjes. Som framgår av figurerna är det positionen i nord-sydlig riktning som är mest känslig för sprängplatspositionerna. En närmare analys visar att det är den norra sprängplatsens öst-västliga position som har störst inverkan på hydrofonernas framräknade positioner.

Beräknade hydrofonpositioner, slumpning ± 30 m kring nominell sprängplatsposition



Figur 29. Beräknade hydrofonpositioner när sprängplatspositionerna varierar inom en radie av 30 m.

Beräknade hydrofonpositioner, slumpning ± 30 m kring nominell sprängplatsposition



Figur 30. Förstoring av hydrofon 3-positioner i figur 29.

Appendix 3: Beräkningar av hydrofonpositioner med hjälp av korrelogram från Gotlandsfärjan

Beräkningarna är gjorda för farten 16 knop, $L=390$ m, kurs = 350° , ljudhastighet = 1430 m/s.

L är en konstant som anger vid vilken x-koordinat färjan passerar x-axeln. En ändring av denna konstant får bara till följd att samtliga hydrofonpositioners x-koordinater ändras lika mycket. Farten 16 knop visade sig ge bättre överensstämmelse mellan korrelogrammen än 17 knop.

Beräkningarna har gjorts genom att fyra punkter på olika ställen i korrelogrammet givit fyra parvis sammanhörande värden på tid och fördröjning. Dessa har sedan använts för att räkna fram hydrofonpositioner för de hydrofoner som legat till grund för korrelogrammet. De värden som vid beräkning av ett syntetiskt korrelogram ger bästa överensstämmelsen med det uppmätta korrelogrammet har valts. X- och Y-positionerna är angivna i meter.

Tabell 3. Ur korrelogram från Gotlandsfärjans passage beräknade positioner för hydrofon 1-3

Hydrofon	Korrelogram	X	Y
1	1-2	12,2	95,9
2	1-2	167,6	104,3
2	2-3	166,9	100,7
3	2-3	274,9	68,0
1	1-3	15,2	97,5
3	1-3	278,2	71,1

1-3-korrelogrammet var det som var mest svårtytt. Därför har vi grundat hydrofonpositionen för hydrofon 1 på 1-2-diagrammet och positionen för hydrofon 3 på 2-3-diagrammet. För hydrofon 2 får vi då två olika koordinater beroende på vilket korrelogram som använts vid beräkningen.

Tabell 4. Ur korrelogram från Gotlandsfärjans passage beräknade positioner för hydrofon 1-3 baserat enbart på korrelogram 1-2 och 2-3.

Hydrofon	Korrelogram	X	Y
1	1-2	12,2	95,9
2	1-2	167,6	104,3
2	2-3	166,9	100,7
3	2-3	274,9	68,0

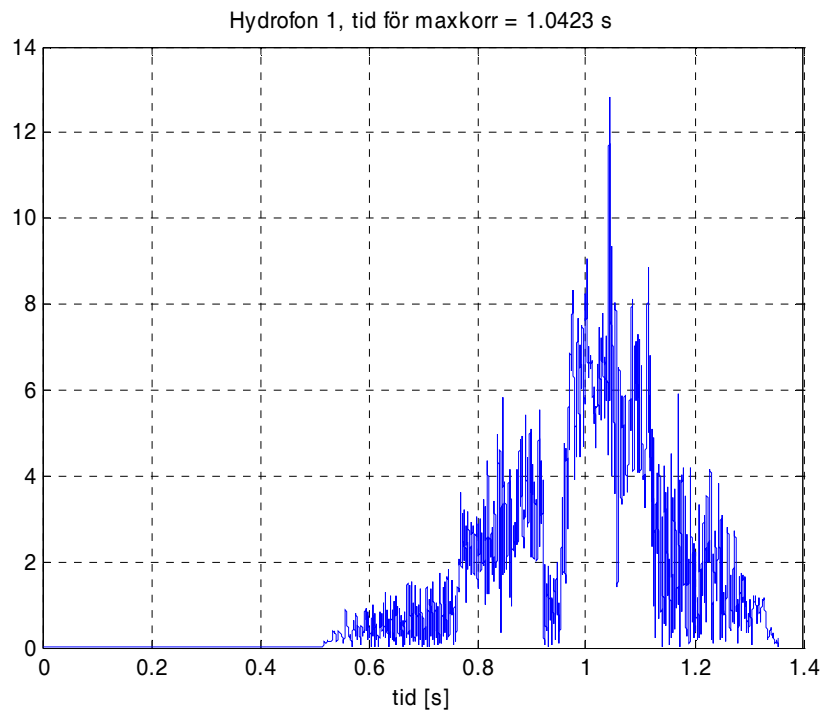
Eftersom det är bara de relativa positionerna som har betydelse normerar vi så att hydrofon 1 får positionen (0, -40) för att överensstämma med övriga uppgifter.

Tabell 5. Beräknade hydrofonpositioner normerade till hydrofon 1 position.

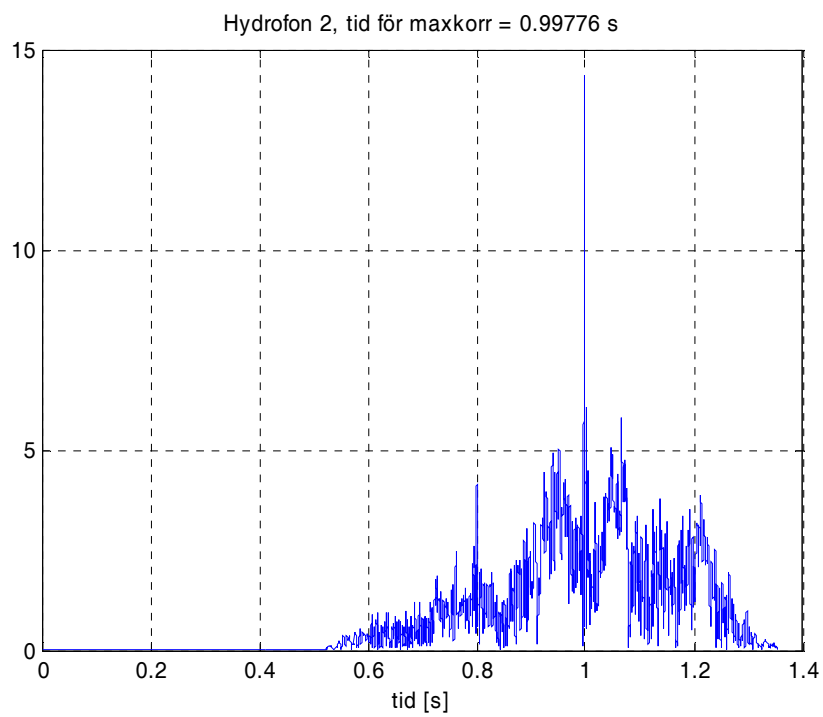
Hydrofon	Korrelogram	X	Y
1	1-2	0,0	-40,0
2	1-2	155,4	-31,5
2	2-3	154,7	-35,1
3	2-3	262,7	-67,8

Appendix 4: Korrelationskurvor

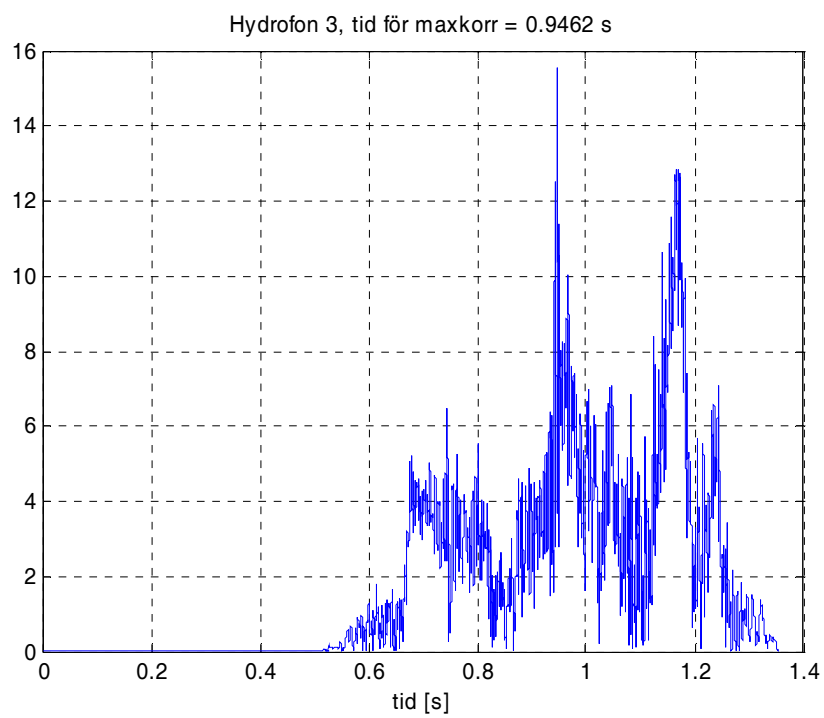
Det registrerade pinget korrelerades med en syntetisk signal bestående av ett FM-svep med mittfrekvensen 21325 Hz, en svepbredd på 1 kHz och en pulslängd av 160 ms. Nedan visas de korrelationer som använts vid beräkning av ankomsttider. Den högsta korrelationstoppen fås för den andra delpulsen och den har därför använts för beräkning av ankomsttidsskillnader.



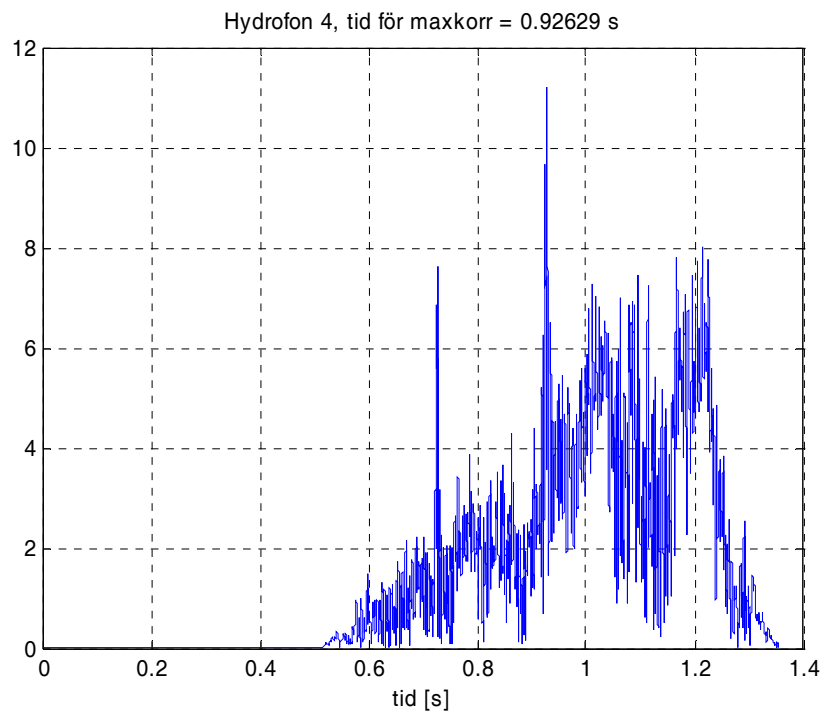
Figur 31.



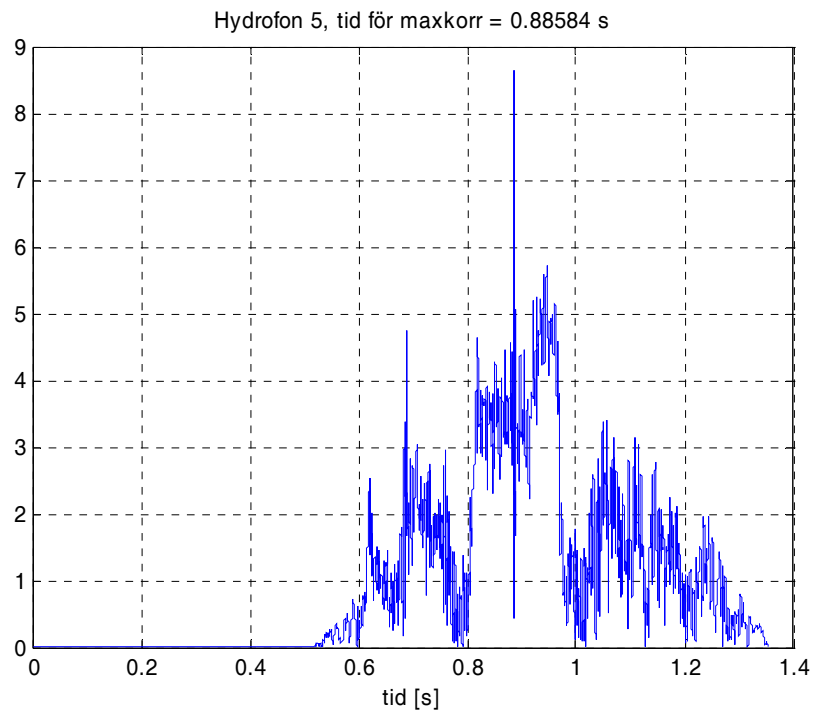
Figur 32.



Figur 33.



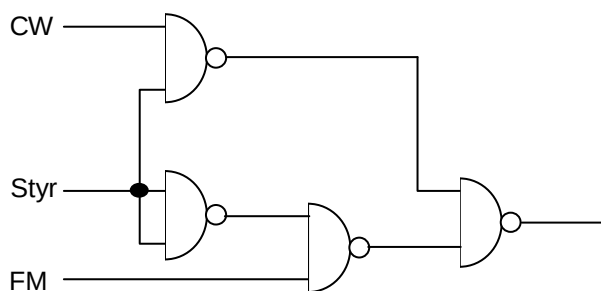
Figur 34.



Figur 35.

Appendix 5: Hur kan man på Sonar 204 få CW- och FM-signal samtidigt?

Eftersom FM- och CW-signalerna tydligen kommer från samma källa och hydrofon 204 normalt inte kan sända båda samtidigt måste något fel ha inträffat i hydrofonen. Det krävs ett ganska speciellt fel (men dock ett enda) för att CW och FM skall alstras samtidigt. Nedan visas ett fel som skulle kunna ge CW och FM samtidigt. Dock får CW- och FM-signalerna samma amplitud medan de uppmätta värdena från bandet visar att FM-signalen ligger 4-10 dB lägre. Det kan möjligen bero på att sättet att bestämma skillnaden mellan CW och FM-signalamplituderna inte är helt korrekt. Reverberationsstörningar kanske kommer in redan tidigt i pulsen och gör att CW-delen förstärks.



Figur 36. Kretsen som sköter valet mellan CW och FM.

Kretsen som sköter valet mellan CW och FM består av fyra NAND-grindar i en 5400-kapsel. Är kretsen hel gäller följande:

Styrsignal hög => CW-signal till utgången

Styrsignal låg => FM-signal till utgången

Man kan inte få CW- och FM-signal samtidigt.

1. Antag att den nedre vänstra NAND-grinden är trasig så att dess utgång alltid är hög.

Då får man följande förhållande:

Styrsignal hög => CW + FM

Styrsignal låg => FM

2. Antag att grindens in- och utgångar är kortslutna till varandra.

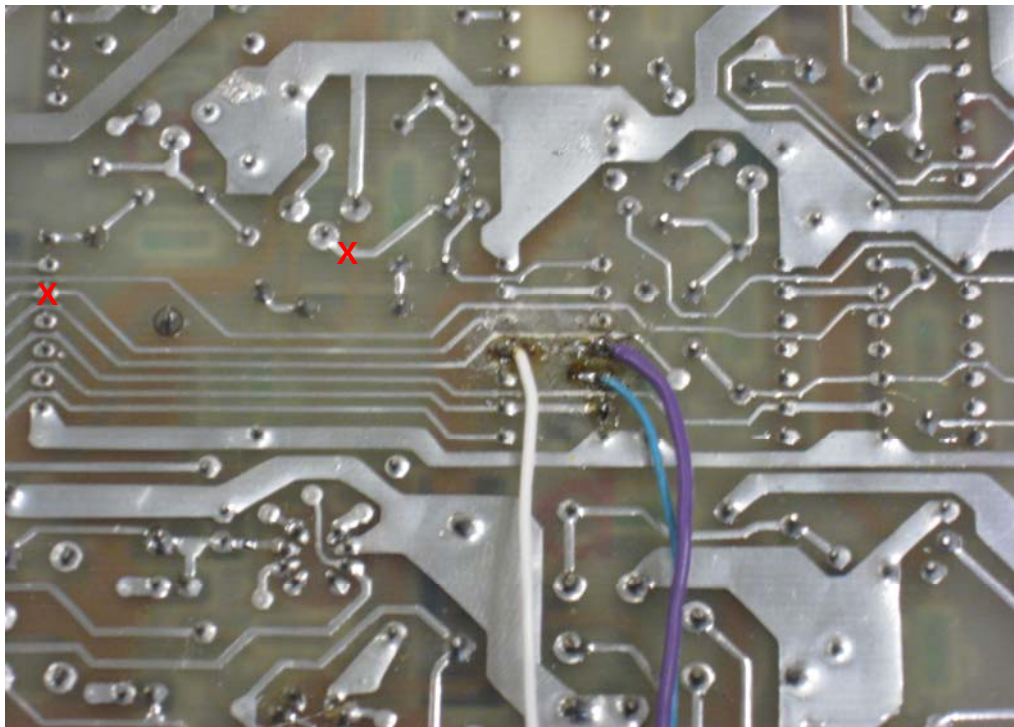
Styrsignal hög => CW + FM

Styrsignal låg => ingen utsignal

NAND-grinden: Om någon av ingångarna är låg blir utgången hög, annars blir den låg.

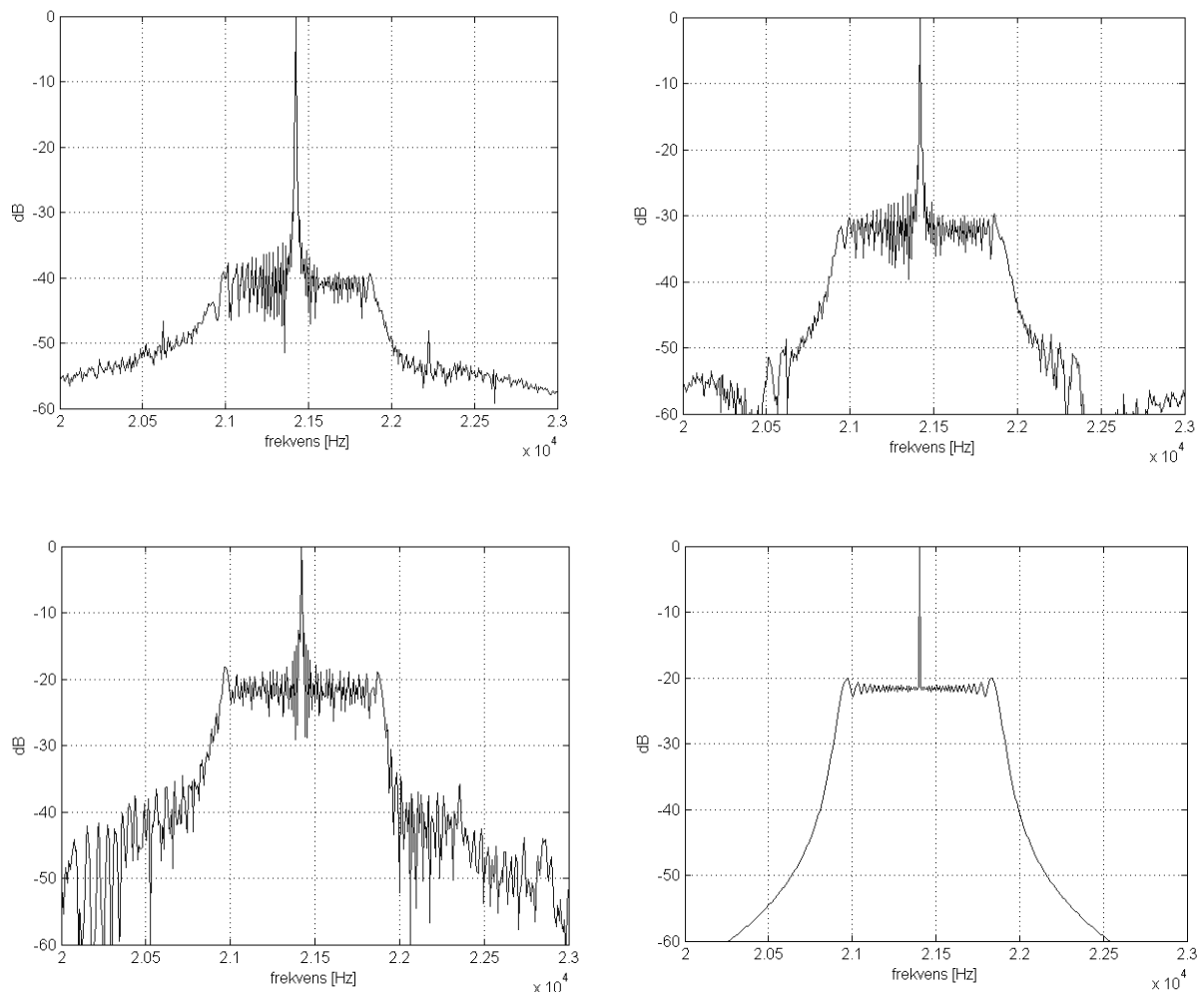
En stor brist i den givna förklaringen med en trasig nand-grid som orsak till sonarfelet är att det fel den beskriver förmodligen kommer att vara bestående. Men ingen säger sig ha hört talas om något sådant fel, vilket man borde ha gjort om felet inte har reparerat sig självt. En annan möjlig förklaring har framkommit (i och med att vi fått tillgång till kompletta schemaritningar på komponentnivå):

Efter den digitala krets som fungerar som switch och som väljer CW- eller FM-puls övergår signalen till analog signalbehandling. Om man tänker sig att den digitala FM-signalen på ingången till switchen p.g.a. någon överledning (t.ex. beroende på fukt + salt) adderas till signalen någonstans i den analoga signalkedjan i närheten – de ligger nära varandra på kortet – så kommer sändpulsen att bestå av en CW-puls överlagrad med en FM-puls med en amplitud som beror på hur stor överledningen varit och som alltså kan variera. Man kan tänka sig att vid helikopterflygningens början fukten givit CW + FM-puls men att när elektroniken blivit varm felet försvunnit. Den dagen flygningen gjordes har det enligt uppgift regnat. Eftersom vi inte har tillgång till just det exemplar av kretskort som användes 1982 är detta något som inte kan verifieras.



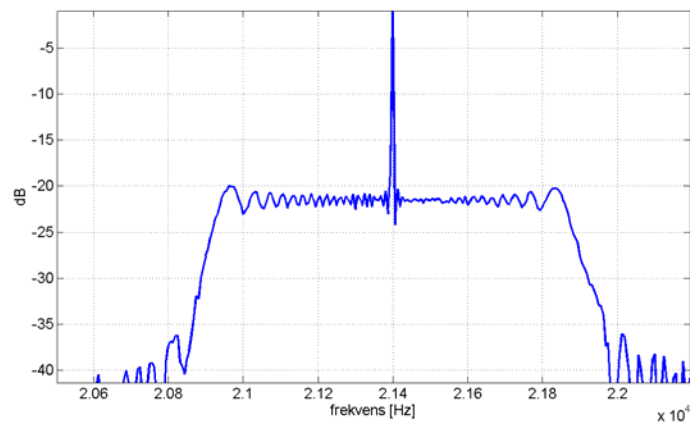
Figur 37. Baksidan av det kretskort där en överledning mellan två ledare skulle kunna resultera i att CW- och FM-puls sänds samtidigt.

Ett test gjordes med inkoppling av ett motstånd mellan punkterna som markerats med röda kryss i bilden. Det vänstra krysset markerar inkommande FM-signal. 11 k Ω , 10 k Ω , 9.5 k Ω , 9.0 k Ω , 8.5 k Ω och 8.0 k Ω användes. Sonarn var inställd på CW-signal.



Figur 38. Spektrum av den mixade signalen för överledningsmotstånd på 10k Ω , 9.5 k Ω , 9 k Ω samt sist det teoretiska värdet om FM- och CW-signal har samma amplitud. Som synes ändrar sig förhållandet mellan amplituderna för CW- och FM-delen i den mixade signalen från ca 20 dB lägre FM-signal till lika amplitud när resistansen ändras från 10 k Ω till 9 k Ω .

En tredje möjlighet att få FM- och CW-signal samtidigt skulle kunna vara att styrsignalen ovan fått in störningar med så hög frekvens att signalen under pulsen växlat mellan CW- och FM-läge. Det skulle i så fall kunna bero på något fel i den logik som alstrar styrsignalen.



Figur 39. Matlabsimulering av spektrum av mixad signal där signalen åstadkommits genom att styrledningen påförts en symmetrisk fyrkantvåg med frekvensen 111 kHz.

