

Ljudspridning kring havsbaseade vindkraftverk



Vindforsk projekt TRANS

Mathieu Boué och Mats Åbom

Projektets mål



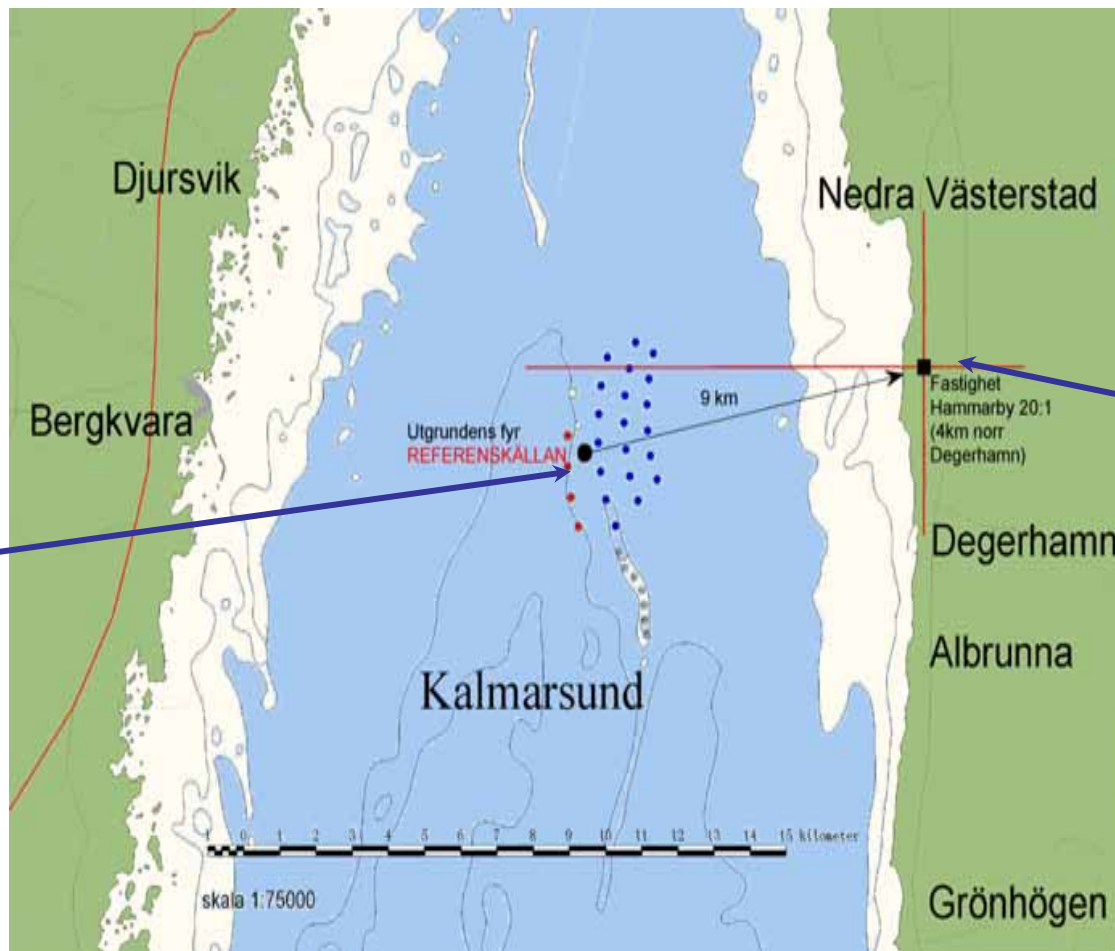
- Utveckla mätmetodik för ljud på stora avstånd
- Genomföra långtidsmätning i Kalmarsund av ljudtransmission för att bedöma förekomsten av cylindrisk vågutbredning
- Ge underlag för en eventuell revision av Naturvårdsverkets beräkningsmodell för uppskattning av ljud från havsbaserad vindkraft
- Utveckla beräkningsmodeller ("parabolic equation")

Kommentar: Den sista punkten är ej avslutad utan en fortsättning är planerad tillsammans med FOI.

Mätplats



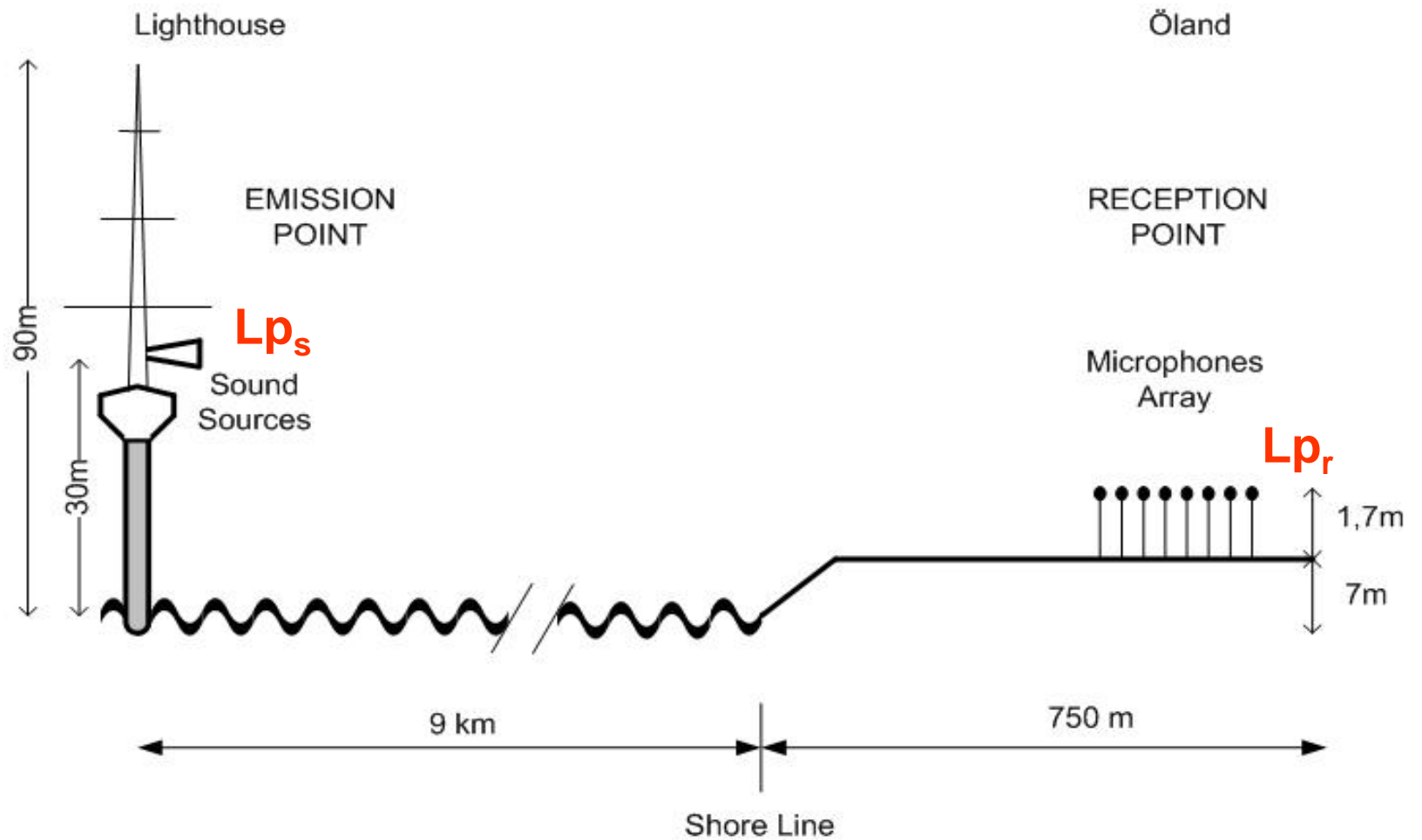
Utgrunden
EMISSION
Olika ljudkällor



Hammarby

RECEPTION
Mikrofonarray

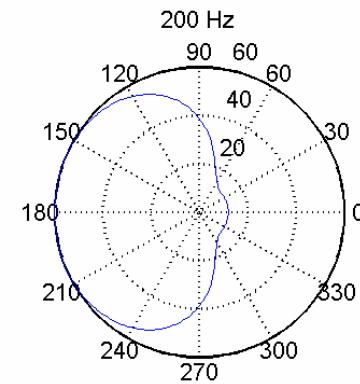
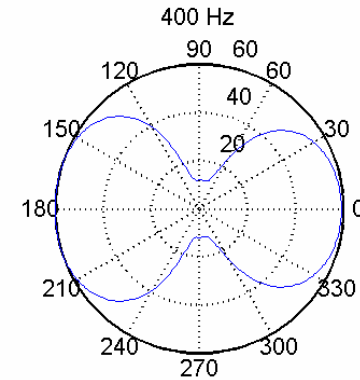
Mätsituation: Utgrunden-Öland



Ljudkällor (siren 200/400 Hz +
högtalare + kvarts-vågsresonator
80 Hz)



Mikrofonarray (end-fire med 8 mikrofoner)



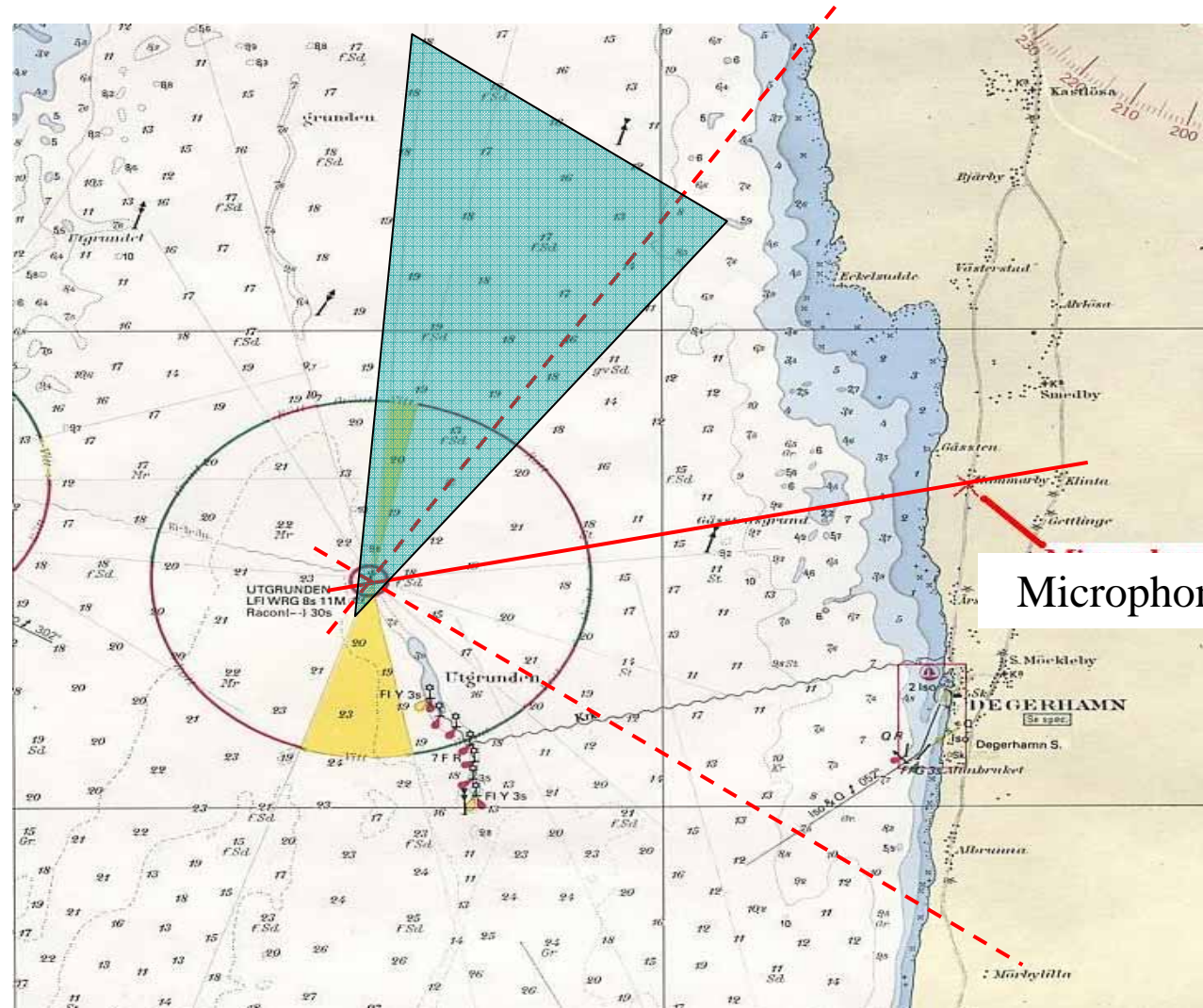
HAMMARBY (ÖLAND)

Sammanfattning mätningar



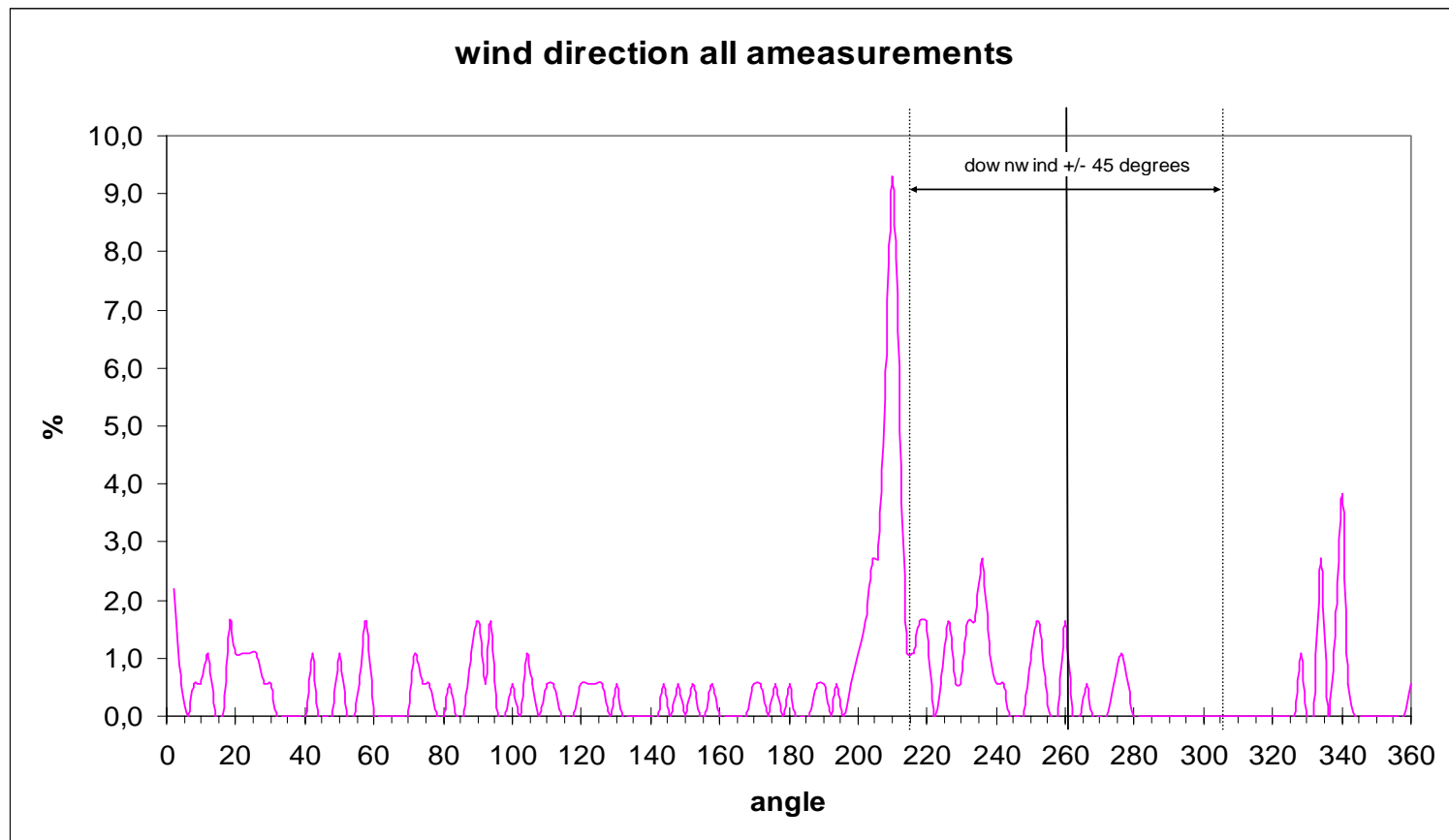
	"200 Hz"	"400 Hz"	"80 Hz"
	Number of measurements	Number of measurements	Number of measurements
FEB 2005	18	9	×
JUNE 2005	103	103	55
JUNE 2006	57	57	38
TOTAL	178	169	93

Vindvektor

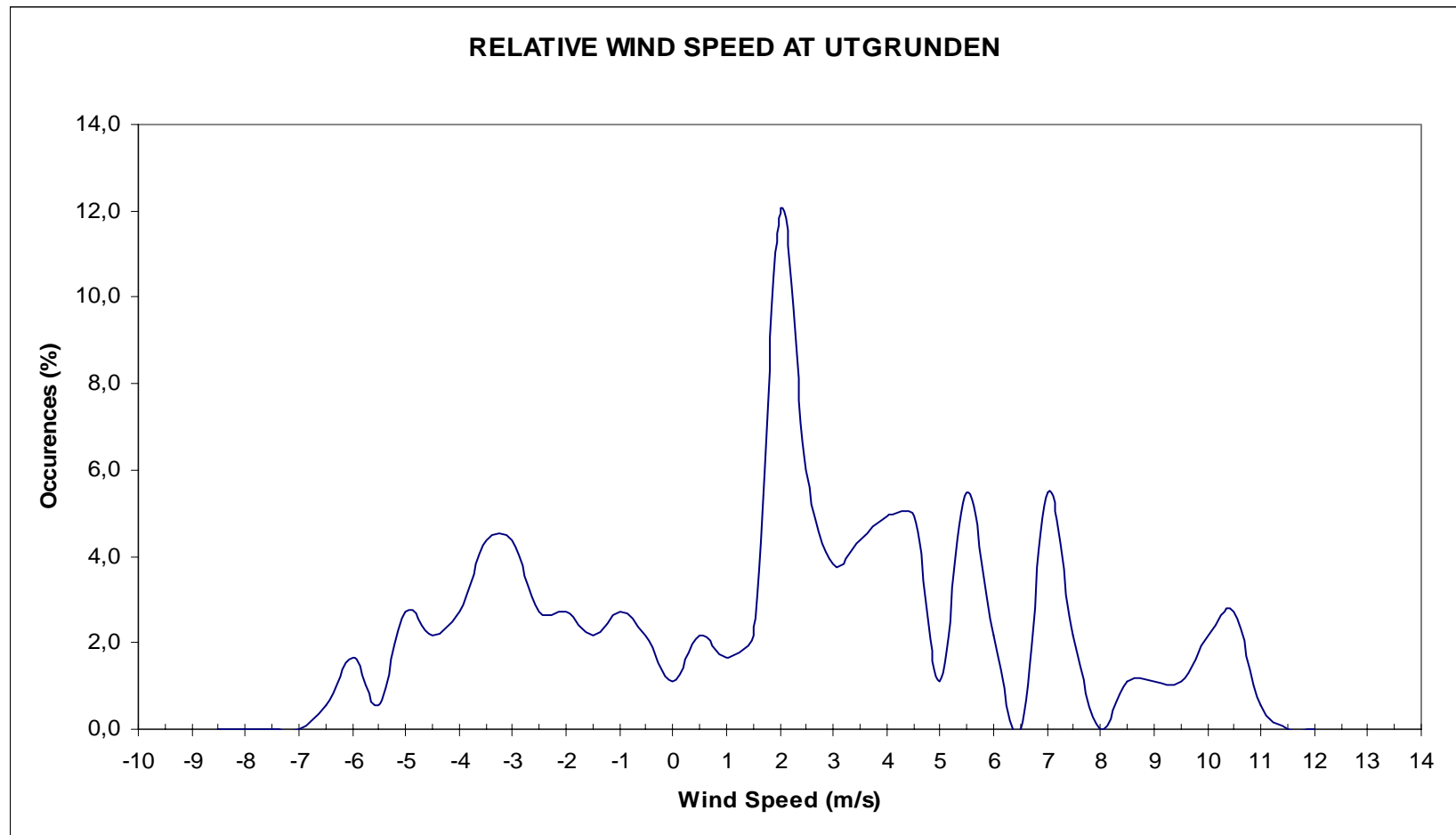


Microphones

Relativ fördelning av vindriktning



Relativ fördelning vindhastighet

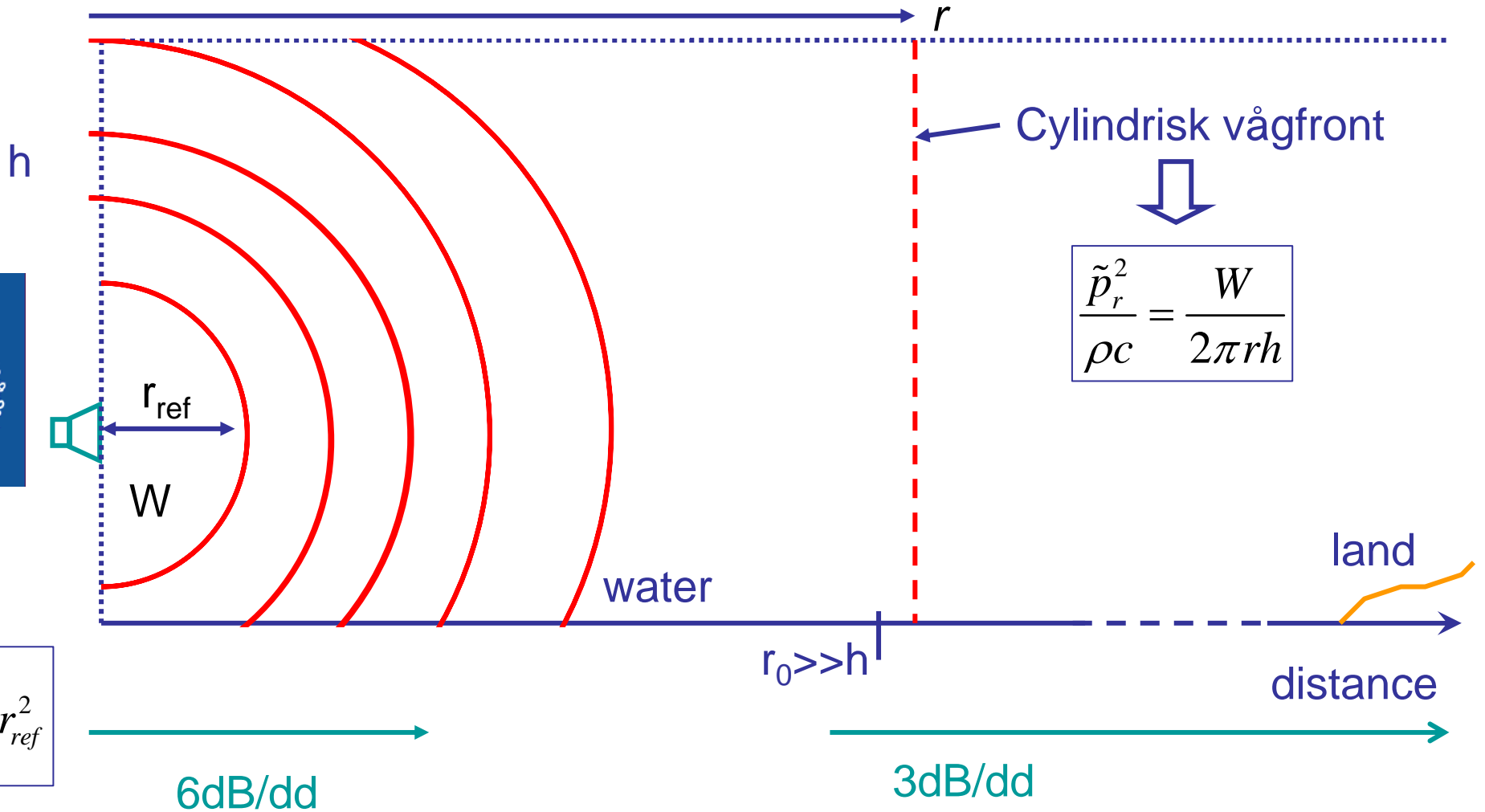


Cylindrisk utbredning pga inversion



Källstyrka

$$W = \frac{\tilde{p}_{ref}^2}{\rho c} 4\pi r_{ref}^2$$



$$\frac{\tilde{p}_r^2}{\rho c} = \frac{W}{2\pi r h}$$

Förenklad modell för ljudutbredning

Ovanstående ekvationer ger



$$\tilde{p}_r^2 = 2\tilde{p}_{ref}^2 \left(\frac{r_{ref}^2}{hr} \right) e^{-\alpha r} \tau_{sl} \tau_{mark}$$

Atmosfärsdämpning (points to $e^{-\alpha r}$)
Dämpning mark (points to τ_{mark})
Dämpning strandlinje (points to τ_{sl})

⇒

$$L_p^r = L_p^{ref} + 3 - 10 \log_{10} \left(\frac{hr}{r_{ref}^2} \right) - \alpha \log_{10} r - D_{sl} - D_{mark}, \text{ [dB]}$$

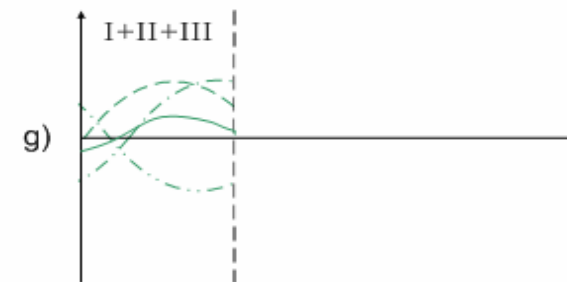
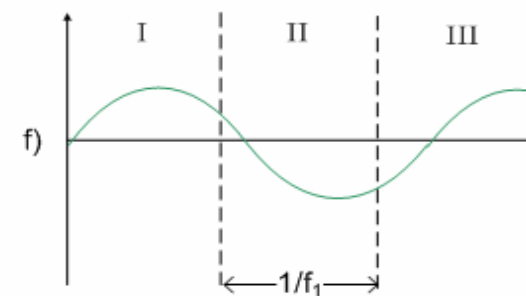
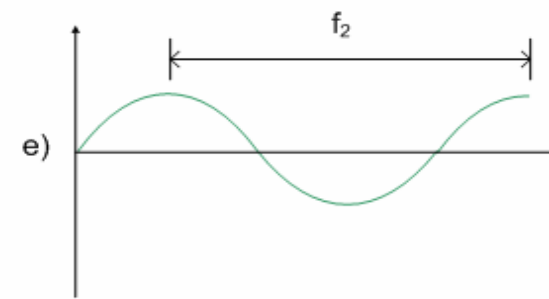
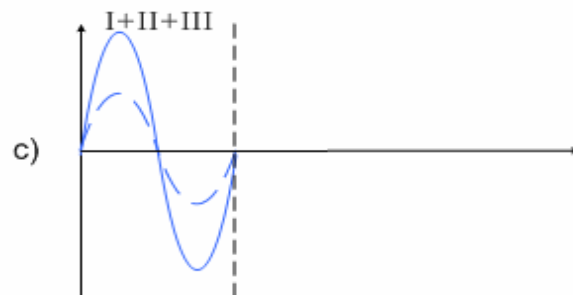
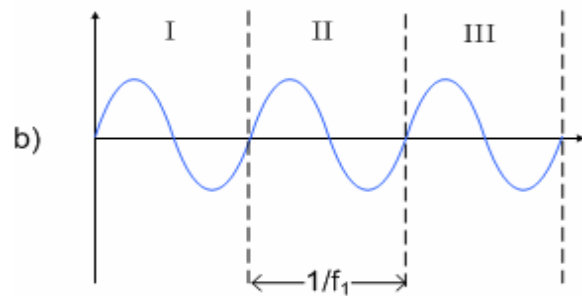
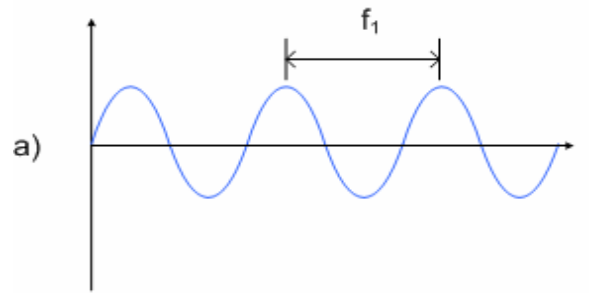
I Naturvårdsverkets modell är $h=200$ m.

Öland – Signal analys



- MIKROFON ARRAY
- PERIODISK MEDELVÄRDESBILDNING
- FFT – TIDSSIGNAL
- KALMAN FILTRERING
- FFT + KALMAN (Bästa alternativet)

Periodisk medelvärdesbildning



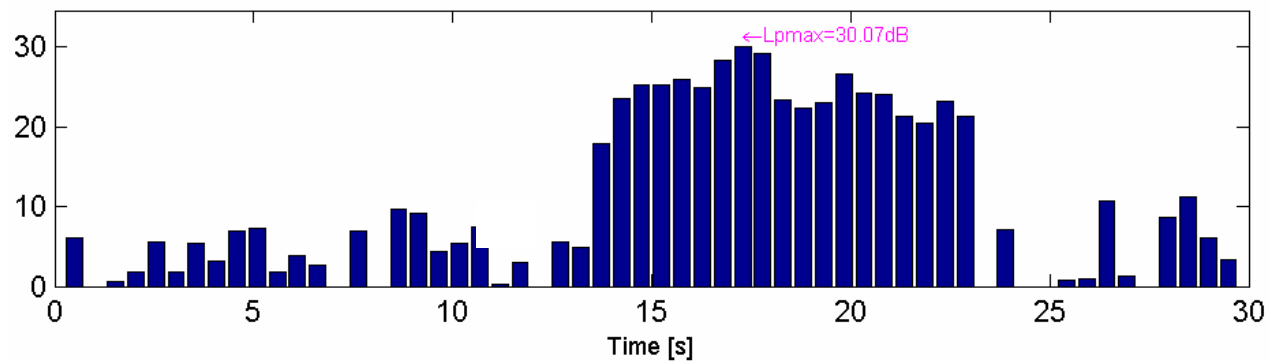
Periodisk Medelvärdesbildning

FÖRDELAR

- ✓ Enkel att implementera
- ✓ Snabb

NACKDELAR

- ✓ Frekvensen måste vara känd
- ✓ "Problem" vid alltför låga signal-brus nivåer



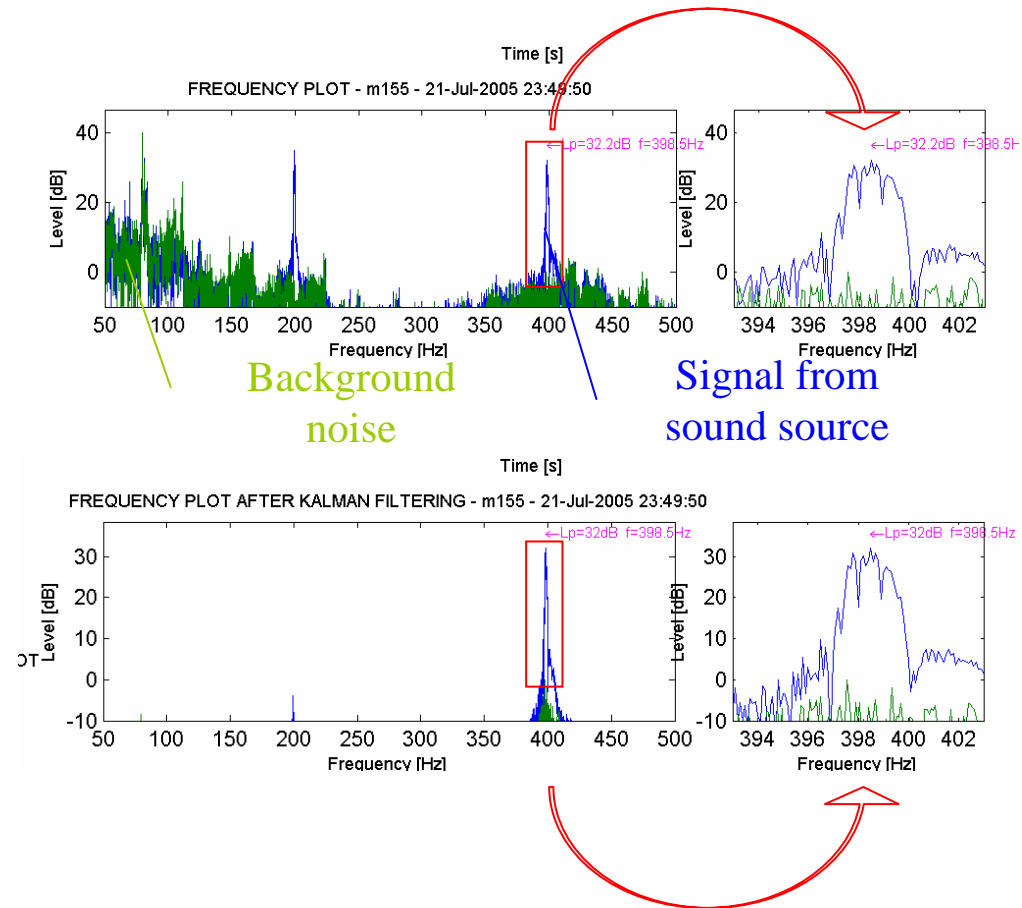
FFT

- FFT över 10 s av signalen
- Ger information om "medelfrekvensen"
- Jämförelse sändare-mottagare visar frekvensskift på typiskt 1-2 Hz.



Slutsats

- FFT kan fixera frekvensen vilket kan nyttjas av tex Kalman



Kalman filter

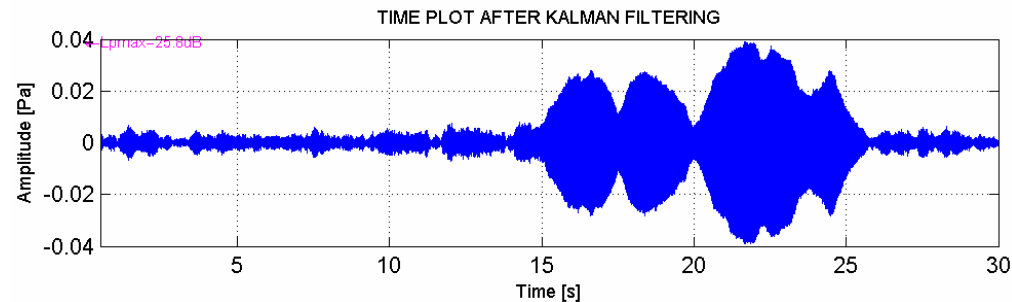


FÖRDELAR

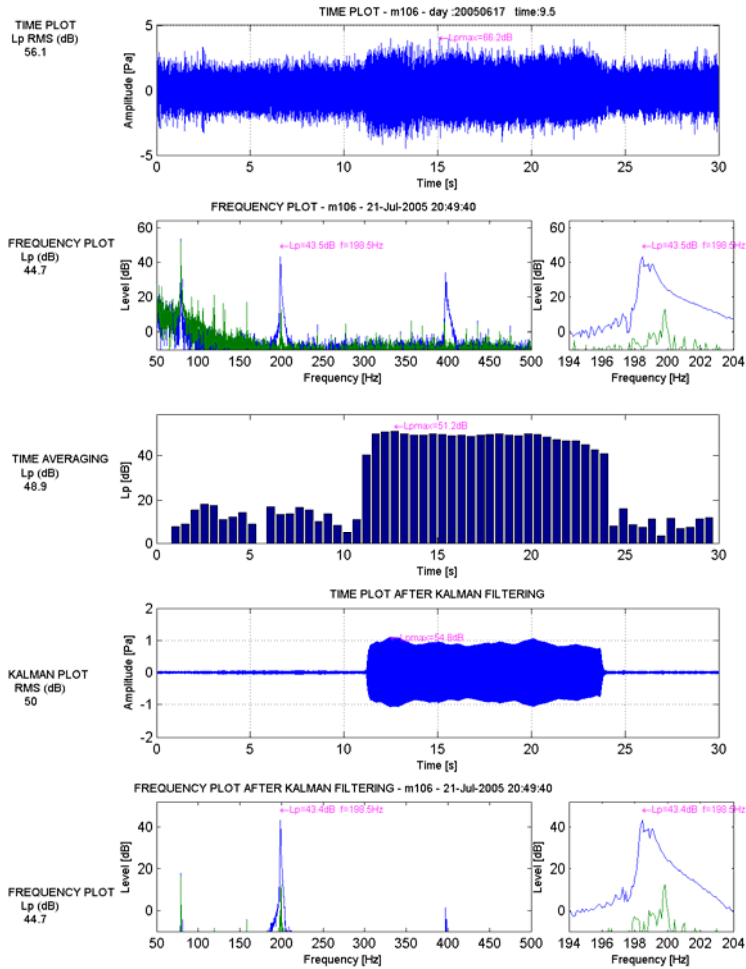
- ✓ Mer effektiv än Periodisk Medelvärdesbildning
- ✓ Ger tidssignal ut (amplitudmodulerad)

NACKDELAR

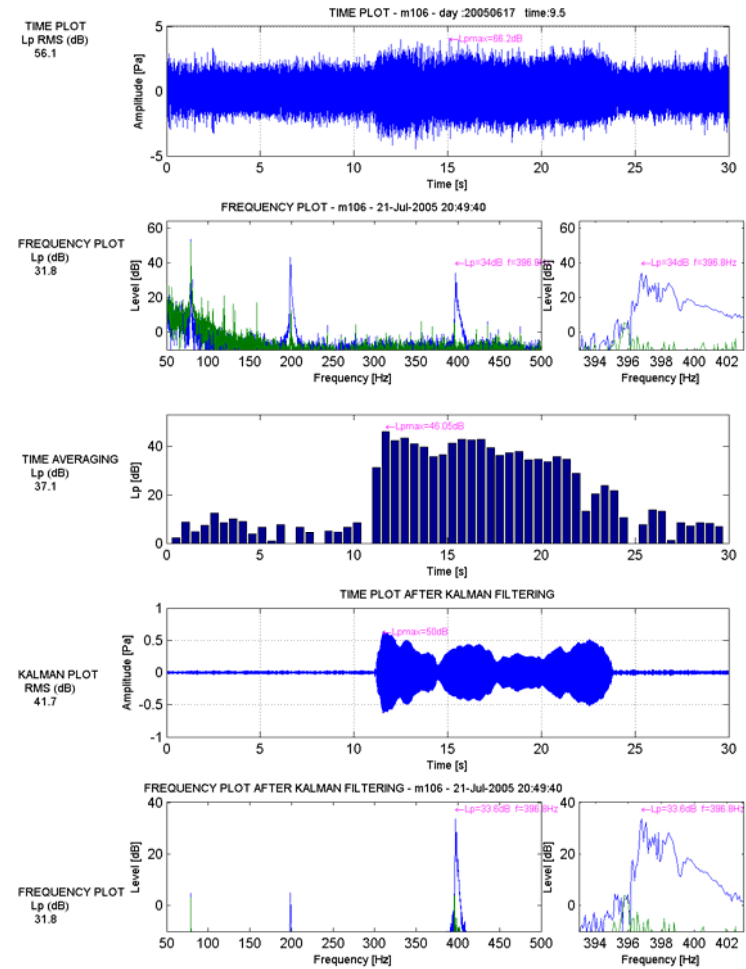
- ✓ Långsammaste metoden
- ✓ Kräver kännedom om frekvensen



Resultat



200 Hz



400 Hz

Resultat - Dämpning

Total dämpning sändare-mottagare (D):

$$D = L_p^r - L_p^{ref}$$



Mha den tidigare formeln för cylindrisk ljudutbredning på stora avstånd erhålles

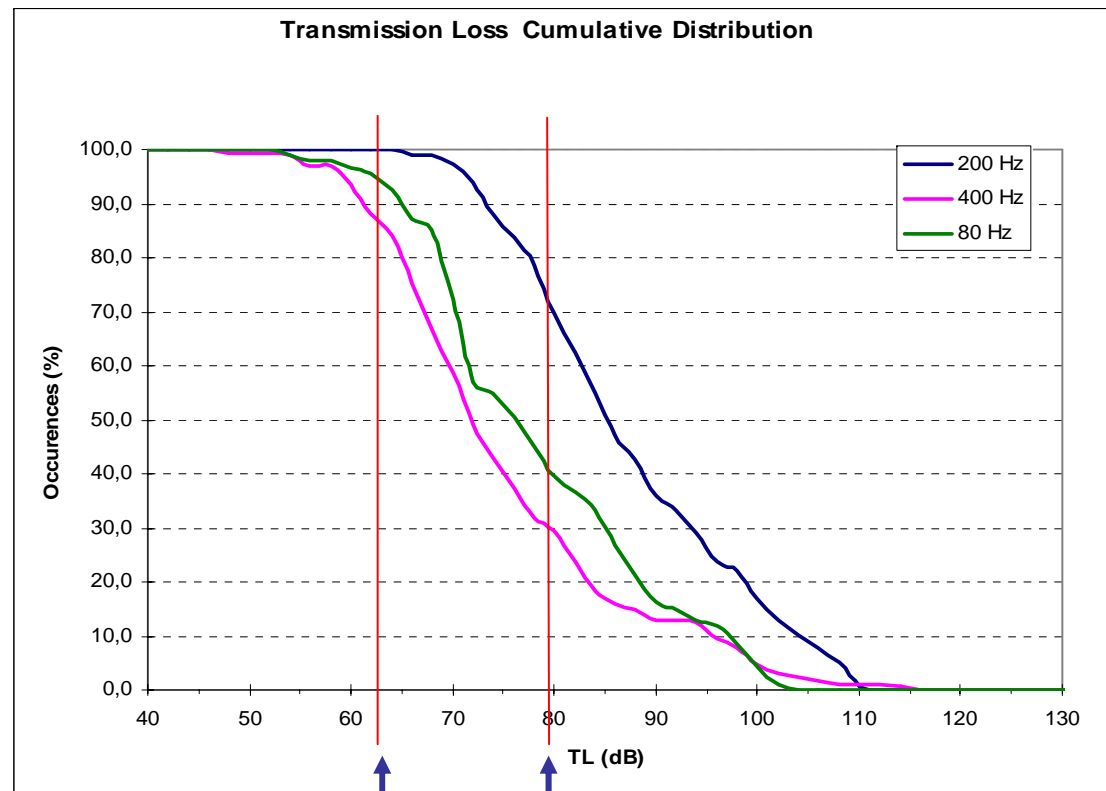
$$D = 10 \log_{10} \left(\frac{hr}{r_{ref}^2} \right) + \alpha \log_{10} r + D_{sl} + D_{mark} - 3 \quad \Rightarrow$$

Utbredningsdämpning

$$D_{utbredning} = D - \alpha \log_{10} r - D_{sl} - D_{mark} + 3$$

Results - Utbredningsdämpning

- Alla vinddata har inkluderats
- Effekt av mark-dämpning vid 200 Hz på cirka 14 dB



Cylindrisk
utbredning

Sfärisk
utbredning

Resultat - Utbredningsdämpning

	80 Hz	200 Hz	400 Hz
$D_{\text{utbredning}}$ (dB)	70,4	81,2	67,2
$D_{\text{utbredning},10\%}$ (dB)	97,5	104	95
$D_{\text{utbredning},90\%}$ (dB)	65	73	62



200 Hz : Markeffekt men dessa data bör ge samma medelvärde som 400 Hz ty samma signal (siren).

$D_{\text{utbredning}} = 68 \text{ dB}$, $D_{\text{utbredning},90\%} = 64 \text{ dB}$, (alla frekvenser)

$D_{\text{utbredning}}$ med Naturvårdsverket modell = 63 dB,
med $r=9750 \text{ m}$ och $h=200 \text{ m}$

Slutsatser

- Mätmetodik för att mäta ljud på långa avstånd har tagits fram och testats
- Långtidsmätningar från Kalmarssund visar att lägre dämpning än cylindrisk förekommer c:a 10 % av tiden
- Avståndet h (inversionshöjden) är 200 m i Naturvårdsverkets modell. Detta värde stämmer med våra mätningar för $D_{\text{utbredning,90\%}}$. Om medelvärdet av D tas erhålles $h=650$ m.
- För att dra helt säkra slutsatser behövs dock mätningar på fler ställen
- Alternativt kan simuleringar kopplade till meteorologiska data ersätta detta tidsödande arbete

