



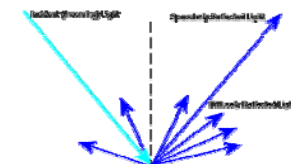
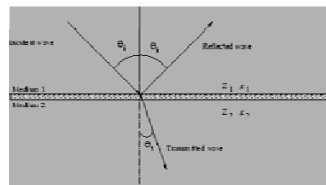
Akustikk del 2: Refleksjoner, direktivitet, Dopplerskift, diffraksjon og refraksjon

Sverre Holm
INF3460



Refleksjon

- Speiling
- Glatte vegger => innfallsvinkel = refleksjonsvinkel
- Ru overflate: diffus refleksjon = spredning
- Glatt og ru er alltid relativt til bølgelengde.
- Det som er glatt for en frekvens kan være ru for en annen





Refleksjonskoeffisient

- Ved en overgang mellom to materialer:
 - En komponent reflekteres
 - En annen transmitteres
 - Energien bevares
- Refleksjonskoeffisient:
 - r = forhold mellom amplitudene til reflektert og innkommende bølge
 - $-1 \leq r \leq 1$
$$r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$$
 - ρ : tetthet, c : lydhastighet, $Z = \rho c$ er akustisk impedans, enhet Rayleigh (Rayl)



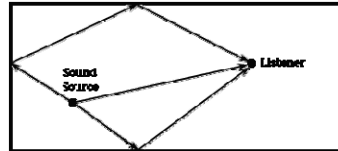
Refleksjonskoeffisienter

Medium	Tetthet	Lydhast.	Impedans	r
Luft ->	1.3 kg/m ³	340 m/s	442 Rayl	
stål	7800 kg/m ³	5800 m/s	45.24 MRayl	-0.99998 (180° faseskift)
vann	1000 kg/m ³	1490 m/s	1.49 MRayl	-0.981
Vann ->			1.49 MRayl	
stål			45.24 MRayl	-0.936
Muskelvev ->	1100 kg/m ³	1540 m/s	1.7 MRayl	
vann			1.49 MRayl	0.07
lunger	= luft		442 Rayl	0.9995
bein		4080 m/s	3.8 ... 7.4 MRayl	-0.38 ... -0.63

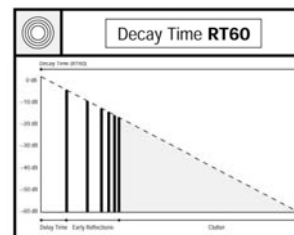


Romakustikk

- Refleksjoner fra vegger, tak, gulv
- Etterklangstid: tid til ekko er falt til -60 dB
- $RT_{60} \approx 0.16 \cdot V/a \cdot A$
 - V – volum, A – overflate
 - a – midlere absorpsjon
 - Sabines ligning (1868-1919)
- Typiske RT_{60} :
 - 0.3 sek – "død" lyd
 - 1 sek – bra for taleforståelse
 - 2-2.25 sek – fint for musikk, vanskelig for tale



NB! Rommets impulsrespons



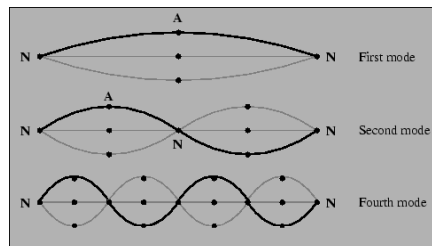
Oppgave

- DSB-lab i 2 dimensjoner:
 - L = 5,25 m, B = 3,90 m
- Høytaler, mikrofon på kortvegg, ca 1m fra hjørne, omtrent diagonalt overfor hverandre (kommunikasjonsoppgaven)
- Når kommer direktesignalet?
- Når kommer første ekko via en av veggene?



Stående bølger

- En bølge som kommer i resonans med rommet
- Reflektert bølge fra en vegg virker sammen med opprinnelig bølge slik at det blir et stasjonært felt
- Eks: basshøytaler i rom
- <http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/RoomModes/driving.html>

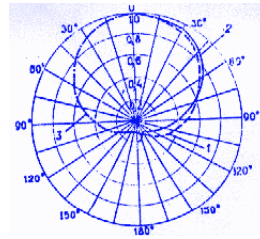


Oppgave

- DSB-lab i 3 dimensjoner:
 - $L = 5,25$ m, $B = 3,90$ m, $H = 2,60$ m
- Ved hvilke frekvenser kan det oppstå stående bølger i dette rommet?



Direktivitet



Tid – frekvens:

- En puls av lengde T har en Fourier-transform som omtrent har lengde B [Hz].
- Båndbredde:
 $B \approx 1/T$

Rom – vinkel

- En aperture med utstrekning D har et romlig spektrum som er gitt ved en Fourier-transform.
- Åpningsvinkel:
 $\theta \approx \lambda/D$ [rad]
- Plottes ofte i polardiagram



Oppgave

Finn omtrentlig
åpningsvinkel for den
lille PC-høytaleren
(brukt i 'Ekkolodd'-
oppgave)

Høytaleren er elliptisk og
ca 5×10 cm. Beregn
åpningvinkel i begge
dimensjoner for 100 Hz,
1 kHz og 10kHz.



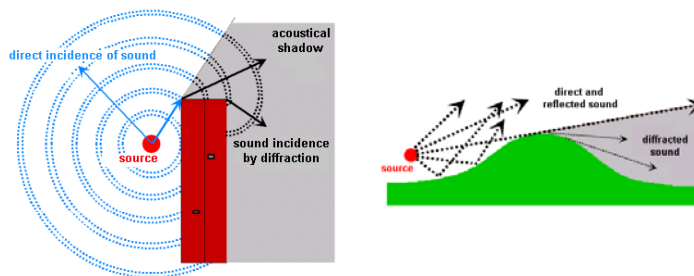


Ideelle modeller - Virkelighet

- Antatt geometrisk akustikk
- Bølgeligning:
 - Alt står i ro
 - Homogent medium, c er konstant
 - Uten tap
- Diffraksjon: Bølger kan gå rundt hjørner
- Utvidelser:
 - Dopplereffekten
 - Avbøyning
 - Tap som øker med frekvens

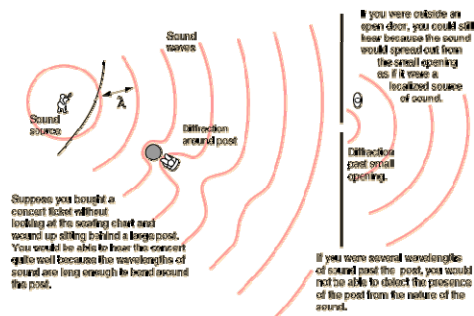


Diffraksjon - spredning





Diffraksjon



- Geometrisk akustikk er OK for dimensjoner $>$ ca 1 bølgelengde




Oppgave

- Avstand mellom ørene er ca 17 cm.
- Forklar ut fra dette hvorfor det ofte er nok med én basshøytaler (sub-woofer) i et lydanlegg?



Ultrasound Comm: Doppler shift

- Dopplerskift: $f_0 + f_D = f_0(1 + v/c)$ der v er komponent langs med bølgebredelsen
- **Christian A. Doppler** (1803-1853), Østerrike
- Lydeksempel: 
- Hastighetsmåling av blodstrøm (med. ultralyd)



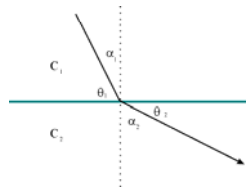
Oppgave

- Hva er typisk verdi for Dopplerskift for en bil?



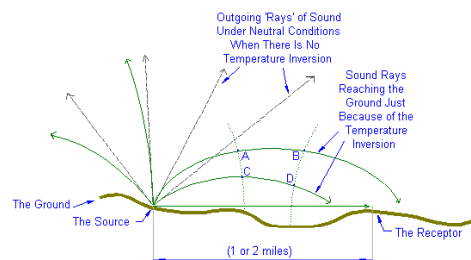
Refraksjon - avbøyning

- Snell's lov:
 $c_1 \cdot \sin(\alpha_2) = c_2 \cdot \sin(\alpha_1)$
- Bølgene bøyes tilbake fra raskeste medium



Lyd i luft

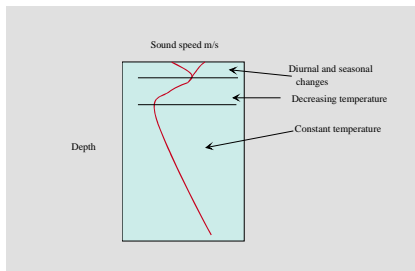
- $c = 331,4 + 0,6 \cdot T$
gjelder omkring
romtemperatur
- Eks:
 $T = 20 \text{ C} \Rightarrow c = 343,4 \text{ m/s}$
- Vanligvis faller T med
høyden.
- Inversjon: motsatt \Rightarrow lyd
kan høres over mye
lenger avstand
- Elefanter om morgenen
og kvelden: rekkevidde
for infralyd går fra 1-2 til
10 km





Undervannsakustikk: Lydhastighetsprofiler

$$c = 1448.6 + 4.618T - 0.0523T^2 + 1.25(S - 35) + 0.017D$$

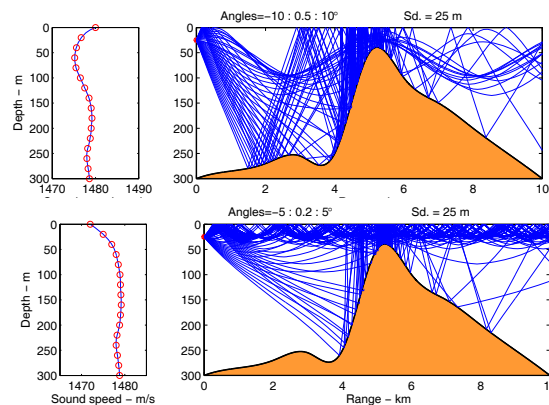


- c = lydhastighet (m/s),
- T = temperatur (°C),
- S = saltholdighet (promille),
- D = dybde (m).

Fra: J Hovem, TTT4175
Marin akustikk, NTNU



Lydtbredelse over undersjøisk topp



Sommer

Vinter

Fra: J Hovem, TTT4175
Marin akustikk, NTNU



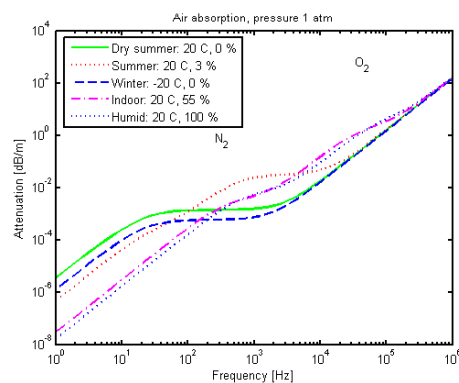
Demping og tap

- Demping er fall i amplitude pga sfærisk utbredelse: $20\log(R/R_0)$
- Tap (absorpsjon) kommer i tillegg
 - I vann for undervannsakustikk
 - Kan neglisjere tap for hørbar lyd, men ikke for ultralyd i luft
- Demping + tap = $20\log(R/R_0) + \alpha R$

Figur: J Hovem, TTT4175
Marin akustikk, NTNU



Absorpsjon i luft



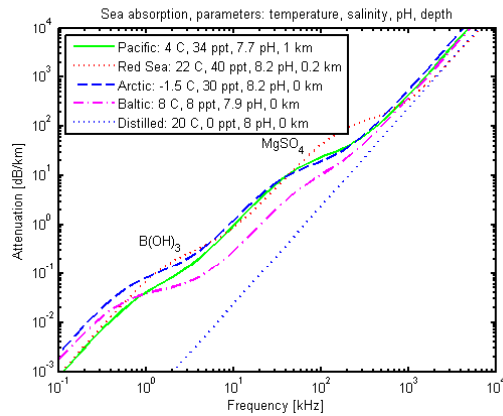
40 kHz ultralyd i luft:

- $\alpha = 0.26$ dB/m for 0% relativ fuktighet
- $\alpha = 1.33$ dB/m for 55% relativ fuktighet (maks)
- $\alpha = 1.12$ dB/m for 100% relativ fuktighet

- Bass et al "Atmospheric absorption of sound: Further development", J. Acoust. Soc. Am., Jan 1995



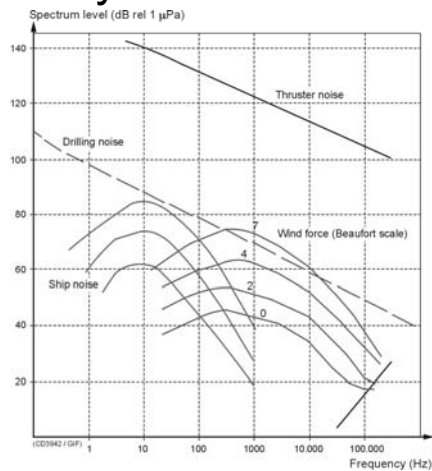
Absorpsjon i sjøvann



Ainslie & McColm, "A simplified formula for viscous and chemical absorption in sea water," J. Acoust. Soc. Am., 1998



Støy i undervannsakustikk



- Ikke samme dB som i luft

- 1 μPa / 20 μPa
- ρ og c er også andre verdier

- Sjøtilstand
- Shippingstøy

- Dahl et al, "Underwater ambient noise," Acoustics Today, 2007 (sammenligner støy i vann og i luft)