

# **Bølger &** **kommunikation 1**

**Ryan Holm**

Gyldendal







**Ryan Holm**

# **Bølger & kommunikation 1**

**Gyldendal**

*Bølger og kommunikation 1*

© 1987 by Gyldendalske Boghandel,  
Nordisk Forlag A.S. Copenhagen.  
Tilrettelægning: Vibeke Hedemand  
Forlagsredaktion: Ken Barnewitz  
Tegninger: P.W.H. Dam  
Fotografier: Billedhuset, B&O, SONY, Politikens  
Pressefoto, Forsvarskommandoens Presse- og  
Informationstjeneste, Medicoteknisk Institut og  
forfatteren.  
Kopiering fra denne bog er kun tilladt  
i overensstemmelse med overenskomst mellem  
Undervisningsministeriet og Copy-Dan.  
Bogen er sat med Garamond Book, Garamond Light og  
Helvetica hos SPROG & TEKST, Silkeborg  
og trykt hos Clemenstrykkeriet, Århus.  
Printed in Denmark 1987  
ISBN 87-00-10236-9

Tema-materialet omfatter:

Bølger og kommunikation 1  
Bølger og kommunikation 2 (under udarbejdelse)  
Kopimappe til øvelser med Bølger og kommunikation 1  
(udkommer efterår 1987)  
Lærervejledning til Bølger og kommunikation 1  
(under udarbejdelse)  
Edb-program til Bølger og kommunikation 1  
(udkommer efterår 1987)  
Lydbog til Bølger og kommunikation 1  
(udkommer efterår 1987)



## Indhold

Forord	5	Teori	37
Lyd	7	Interferensmønstre	39
Frembringning af lyd	9	Beregning af bølgelængde	40
Bølger	14	Beregning af ultralydfrekvens	40
Bølgeudtryk	14	To ultralydsendere	41
Periodiske bølger	15	Resonans – svævning	42
Mekaniske svingninger	16	Ultralydalarm	44
Stående bølger	17	Registrering med lyd	44
Længdebølger	18	Politiradar	45
Tværbølger	19	Dopplereffekt	46
Dæmpede svingninger	20	Dopplereffekt ved lys	48
Elektriske svingninger – lyd	21	Musik over ultralyd	48
Ultralyd	21	Ultralydkontakt	49
Vi laver ultralyd	22	Ultralyds udbredelsesfart	50
Frekvensmåling med oscilloscop	25	Anvendelse af ultralyd	54
Ultralydsender	25	Infralyd	61
Ultralydmodtager	26	Register	62
Påvisning af ultralyd	26		
Modtager med meterudlæsning	27		
Ultralyd kan dæmpes	28		
Refleksion af ultralyd	29		
PXE – Piezoelektrisk keramik	29		
PXE	30		
PXE 5	30		
Anvendelse af PXE	31		
Indgangsvinkel			
– tilbagekastningsvinkel	31		
Ultralyd i hverdagen	32		
Myggedetektor	34		
Kan ultralyd gå om hjørner?	34		
Interferens	35		



## Forord

Denne bog er den første af 2 bøger, hvor emnet bølger og kommunikation bliver behandlet på en utraditionel måde. Bogen er beregnet til undervisning i fysik i folkeskolens ældste klasser, men kan i øvrigt bruges, hvor man har brug for et kendskab til bølgelærens grundbegreber.

Bølger er et vidt begreb, da alt fra lyd til lys og radiobølger er bølgebevægelser, der, selv om deres natur forekommer forskellig, opfører sig efter samme mønstre og principper.

Når der i denne bog ses på teorien bag bølgebevægelser, bruges i udstrakt grad ultralyd som hjælpemiddel. Det er nemt at arbejde med og giver vældig gode og tydelige måleresultater, der kan overføres på andre bølgebevægelser.

I Bølger og kommunikation 2, der er under udarbejdelse, vil hovedvægten blive lagt på kommunikation, og emner som lysledere, hybridnet, satellit-TV og radiokommunikation vil blive behandlet.

Jeg synes selv, at lyd under den hørbare grænse, infralyd, og lyd over den hørbare grænse, ultralyd, er særdeles interessante emner, og medens infralyd er destruktiv og ikke kan anvendes til noget positivt, er ultralyd helt anderledes brugbar, og den finder større anvendelse i vor hverdag, end vi måske aner. Medicoteknisk Institut i Glostrup forsker meget i ultralyds anvendelse til områder inden for industrien og i sundhedssektoren, og jeg vil gerne takke instituttet for positiv medvirken til udarbejdelsen af denne bog.

En række lærere og elever har hjulpet mig med at afprøve stoffet i undervisningen, og dem vil jeg gerne takke for positiv og konstruktiv kritik.

Til forsøgene med ultralyd kan man selv bygge de ultralydsendere og -modtagere, som jeg har med i mine elektronikbøger System Elektronik: Styring med elektronik og Sinusbogen: Elektronik konstruktioner. Imidlertid har firmaet Søren Frederiksen A/S, Ølgod, i samarbejde med mig udviklet de apparater, som er blevet brugt i afprøvningsfasen, og som kan ses på illustrationerne i denne bog.

Der er udarbejdet en kopimappe med øvelser og forsøg, der kan udføres i tilknytning til stoffet, ligesom en lærervejledning er under udarbejdelse.

Til bogen er der også lavet et EDB program, der kan bruges på Scandis, Commodore 64/128 og Piccoline maskiner. Med EDB programmet kan vanskelige passager hurtigt illustreres.

I programmet er der bl.a. simulationer inden for forskellige emner af bølgelæren, f.eks. interferens og dobbelreffekt.

Der kan udprintes individuelle elevopgaver inden for lydens hastighed i luft og forskellige stoffer og ved forskellige temperaturer. Til hvert opgavesæt udregner programmet selv facitliste.

Bogen er også fremstillet som lydbog, hvor teksten er indtalt på kassettebånd som hjælp til svagtseende og læsehæmmede.

I øvrigt er det mit håb, at bogen også vil blive brugt uden for skolens verden, da jeg selv finder den meget anvendelig for den, der vil læse og lære om bølger og kommunikation.

*Ryan Holm*





## Lyd

Lyd opstår, når en genstand sættes i bevægelse.

Det kan være stemmebåndene, der vibrerer, og vi har lært at beherske denne vibration, så vi på den måde kan kommunikere med hinanden. Vi taler sammen.

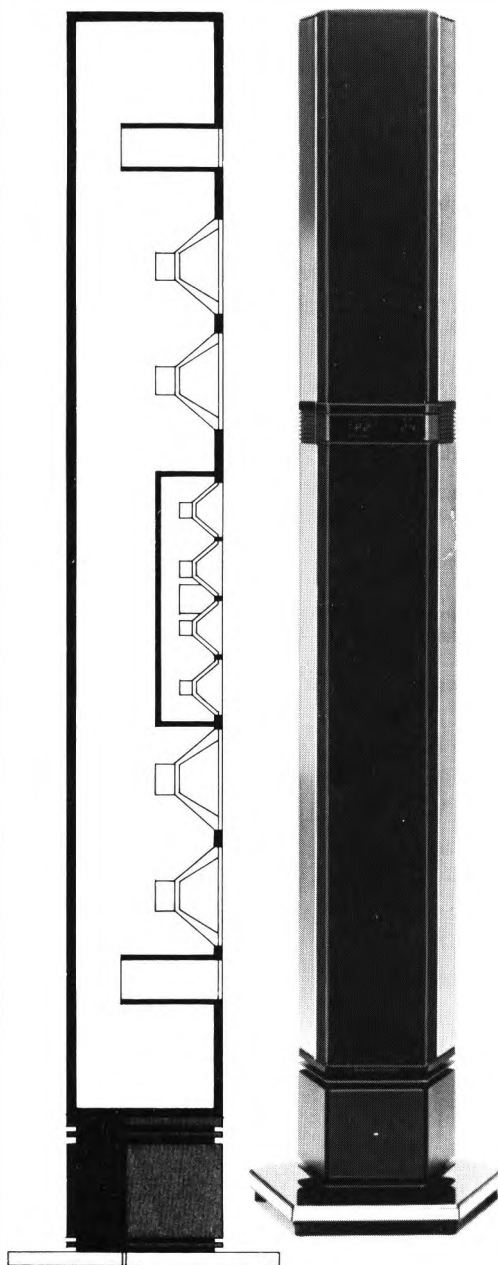
En violinstreng stryges med en bue, så strengen begynder at vibrere. Der udsendes en lyd – en tone. Tonen forstærkes af violinens klangbund.

Når der blæses i en klarinet, sætter klarinetbladet luften i svingninger. Svingningerne forstærkes op af luftsøjlen i klarinetten, og der kommer en tone fra klarinetten.

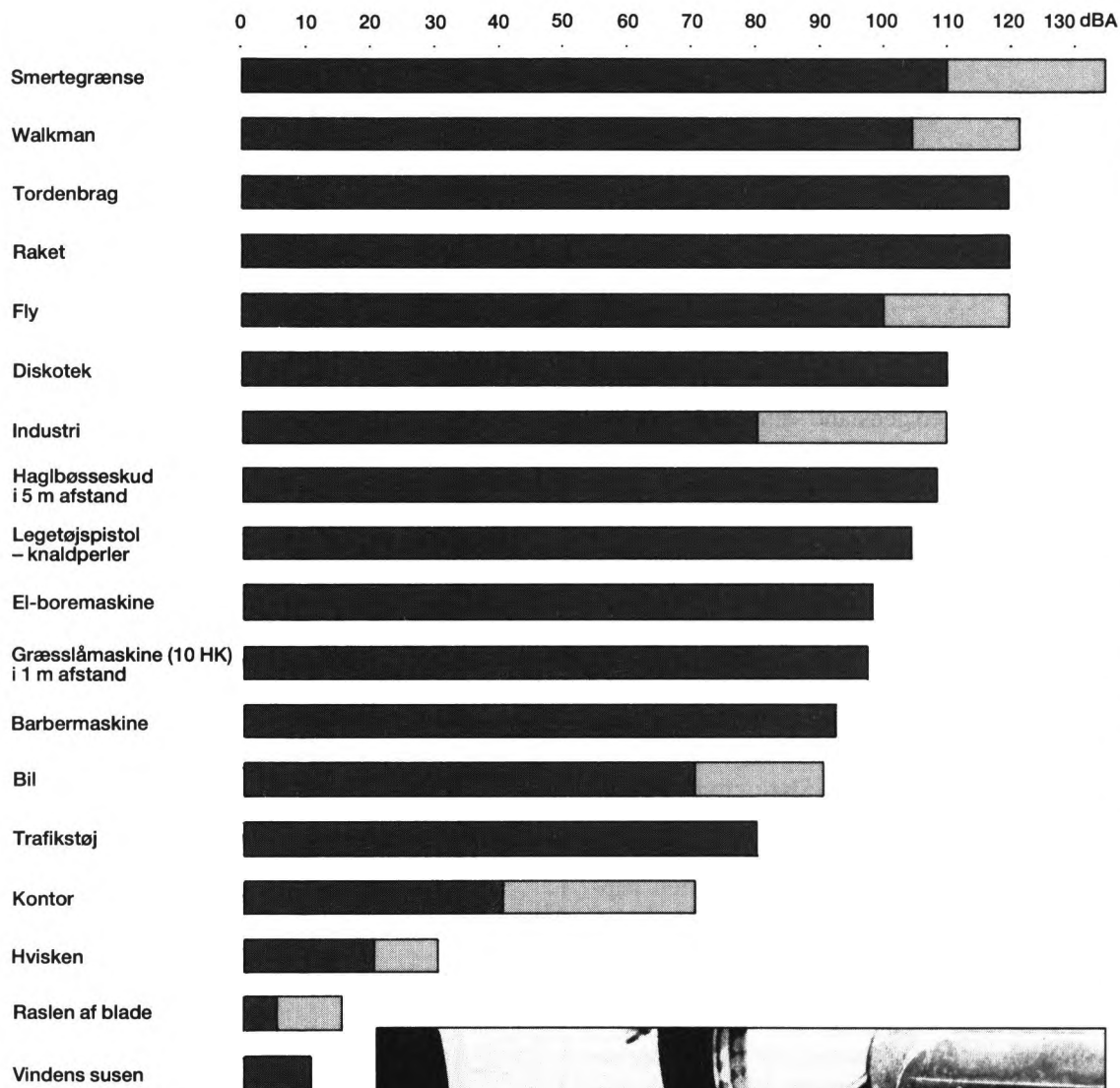
Når vi hører radio, er lyden også frembragt af vibrationer. På højttaleren er der en papmembran, og når den sættes i svingninger, hører vi lyd. Drejes der op for volumenkontrollen på radioen, bliver svingningerne kraftigere. Lyden bliver kraftigere.

Vi er omgivet af en masse lyde. Er det organiseret, kalder vi det for musik. Det er ikke kun rytmen, der bestemmer, at vi kalder det for musik. Den lyd, der kommer fra et trykluftbor er også meget taktfast. Resultatet er ikke musik, men støj.

Det, der af den ene generation betegnes som musik, kan af en anden generation oftest betragtes som støj.



*Penta højttaler fra B & O. Der sidder ikke mindre end 9 højttalerenheder i Penta, der er 150 cm høj. For at undgå generende refleksioner i selve kabinettet er det femkantet. Deraf navnet Penta, der er græsk og betyder fem.*

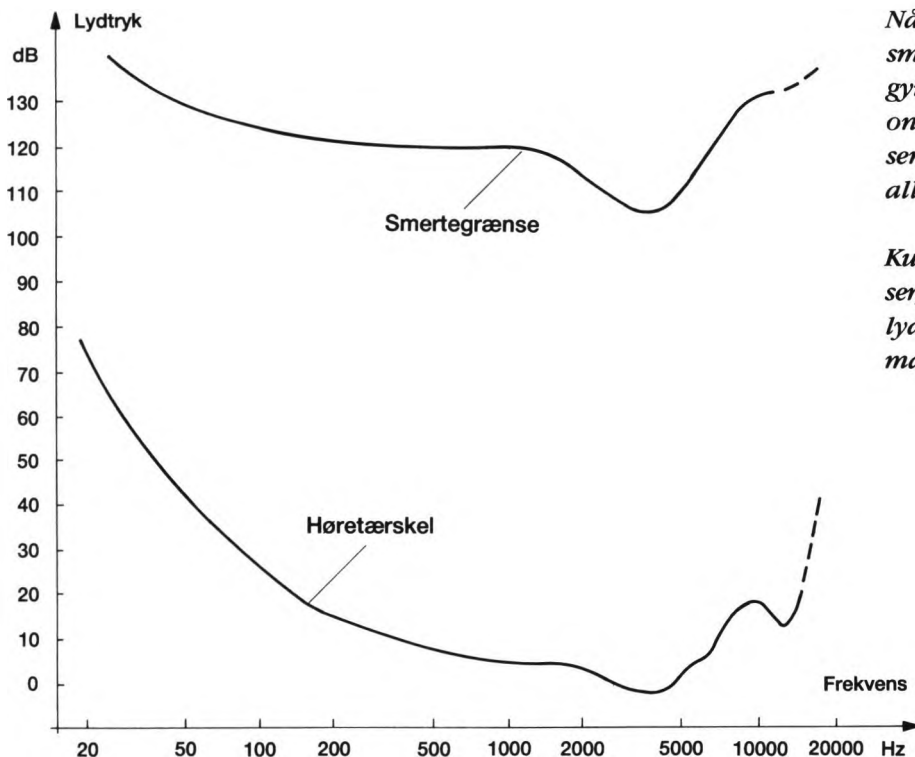


*Støj angives i dB. Søjle-  
diagrammet viser hvor  
kraftig støj, vi er omgivet  
af. Når walkman'en "stø-  
jer" så meget, skyldes det,  
at høretelefonerne sidder  
belt tæt på ørerne.*



*Her måles støjen fra udstødningen på en knallert.  
Støjen måles i dB.*





Når lyden når over smertegrænsen, begynder det at gøre ondt. Smertegrænsen er ikke ens for alle frekvenser.

Kurven forneden viser, hvor kraftig en lyd skal være, for at man kan høre den.

## Frembringning af lyd

Til at frembringe lyd kan der bruges en vibrator. Den er opbygget af en spole, der kan bevæge sig i et kraftigt magnetfelt. Når der sendes vekselstrøm gennem spolen, vil den bevæge sig op og ned i takt med vekselstrømmens frekvens.

Til spolen er der fastgjort en aluminiums-aksel.

Vekselstrømmens frekvens er 50 Hz (Hertz). Det betyder, at strømmen skulper frem og tilbage i det elektriske kredsløb 50 gange hvert sekund.

Hvis vibratoren tilsluttes vekselstrøm (6V~), vil akslen svinge op og ned 50 gange hvert sekund. Akslen sætter luften i svingninger, og vi hører en tone på 50 Hz.



En vibrator er opbygget som en højttaler. Aluminiumsakslen vibrerer i takt med frekvensen på det signal, der tilsluttes.

# Walkmænd risikerer varige høreskader

Af Carsten Kruuse

International forskning afslører, at der er stor risiko for varige høreskader ved at bruge walkman.

1. reservelæge Kitty Møller fra Hørecentralen i Århus mener på baggrund af amerikanske, britiske og egne undersøgelser, at der er grund til at advare mod overforbrug af musik-nydelse gennem disse stereo-anlæg for enkeltmand.

Mens færdselssikkerheds-eksperter fastslår, at anvendelse af walkman i trafikken er forbundet med livsfare, viser et amerikanske forsøg, at næsten 50 procent af brugerne får nedsat hørelse.

## Alvorlig slagside

Hvad der af mange anses som en væsentlig miljøforbedring, har altså alvorlig slagside, når det drejer sig om den personlige helse.

»Det høje støjniveau på op til 122 decibel (dBA) direkte ind i øregangen gav 7 af 16 unge amerikanere nedsat hørelse i op til 24 timer. En mistede høreevnen 30 dBA. Overstiger tallet 20 dBA, vil det som regel befordre brug af høreapparat«, oplyser Kitty Møller.

Arbejdstilsynet påbyder høreværn i arbejdsmiljøer med støj over 90 dBA. Normal-niveauet for walkmen ligger mellem 105-122 dBA. Til sammenligning er skud med haglbøsse målt til 108 dBA på fem meters afstand.

LÆS 1. DEL, SIDE 8



*Jyllands-Posten*  
den 22. november 1986

# Musikken går ind og hørelsen ned

Man ser dem overalt. På gader, i busser, i tog og forretninger på alle tidspunkter. Om morgenen i bidende kulde. I middagspausen eller om aftenen på vej hjem fra arbejde.

Man ikke høre noget - kun se, at de alle har et lille apparat rundt om halsen med et par høretelefoner. Og herfra kan de nyde lidt god musik, mens de går om omkring og laver noget helt andet. Derfor hedder apparatet da også en walkman - en båndafspiller, man kan bruge, mens man går en tur.

## Hørelsen kan blive svækket

De små walkmen - som de hedder i flertal - er blevet en sand dille. Både store og små bruger dem, men det er dog især unge, der lægger ørerne til musik fra walkman.

Men ørerne har ikke godt af det, hvis man lytter alt for intenst. En amerikansk undersøgelse viser, at syv ud af 16 forsøgspersoner fik nedsat hørelsen 10-30 decibel (dBA) i op til 24 timer ved at lytte til musik fra en walkman i tre timer ved normal lydstyrke.

## Kan også få varige skader

»Undersøgelsen beviser ikke, at walkman giver varige høreskader. Men det er dog en nærliggende tanke, og der er absolut grund til at advare mod overforbrug. Hvis hørelsen jævnligt bliver nedsat på grund af støjpåvirkning, kan det medføre kronisk dårlig hørelse«, oplyser 1. reservelæge Kitty Møller fra Hørecentralen i Århus, som tilføjer dog, at hørenedsættelser på 10-20 dBA normalt ikke betyder, at man vil føle sig handicappet i hverdagen.

Ifølge undersøgelsen ligger lydniveauet i en walkman normalt på 105-122 dBA, og det er langt over Arbejdstilsynets grænse for, hvor når folk skal benytte høreværn på arbejdspladsen. Høreværn skal bruges ved et støjniiveau på 80 dBA.

## De tilladte støjgrænser

Den højest tilladte grænse er fastsat til 90 dBA i miljøer, hvor de ansatte arbejder 40 timer om ugen. Det er påbudt at bruge høreværn i rum, hvor larmen overstiger denne grænse. Arbejdsgiveren er samtidig forpligtet til at gøre alt for at begrænse støjen. Den personlige ørebeskyttelse betragtes kun som en midlertidig foranstaltning.

Grænserne er udformet på baggrund af internationale undersøgelser. Det er fastslået, at 10 procent vil få varige høreskader, hvis støjen i deres arbejdsmiljø er 90 dBA. Tre procent, hvis støjbelastningen er 85 dBA, mens

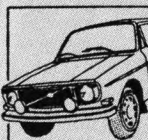
det er uskadeligt at blive udsat for mindre end 80 dBA.

## Walkman en særlig risiko

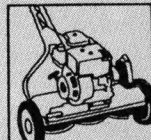
Kitty Møller oplyser, at risikoen for høreskader øges, jo tættere man er på lydkilden. Derfor må walkmen opfattes som en særlig risiko. Det har endog stor betydning, hvor stramt hovedtelefonerne sidder.

Men musiknydelsen er jo ikke den eneste belastning af hørelsen i hverdagen. En måling af velkendte støjklender viser dog, at walkman'en ligger i den tunge ende af skalaen. (JP)

## Så meget støjer det



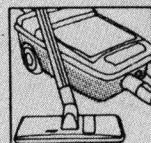
Volvo 142 i kabinen  
ved 80 km/t  
..... 78 dBA



Græsslåmaskine  
10 hk, afstand en  
meter ..... 97 dBA



Elektrisk  
barbermaskine,  
..... 92 dBA



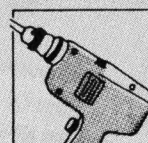
Støvsuger Hoover,  
..... 81 dBA



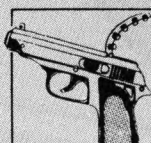
Skrivemaskine IBM  
..... 80 dBA



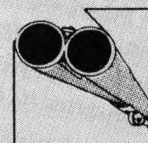
Klirrende aflasker  
..... 85 dBA



Elektrisk bore-  
maskine,  
..... 98 dBA



Legestejpistol  
knaldperler  
..... 105 dBA



Haglbøsse,  
5 meters afstand  
..... 108 dBA



Walkman »normalt  
niveau«  
..... 105-122 dBA



Vibratoren kan også tilsluttes en tonegenerator. Den kaldes også en sinusgenerator eller en signalgenerator. Det er et apparat, der kan frembringe elektriske svingninger på mellem 1 Hz og 100.000 Hz.

Hvis tonegeneratoren sættes på 50 Hz, vil vi høre den samme tone som før. Drejes der på tonegeneratoren, kan vi høre forskellige toner. Prøv at lytte til en tone på 800 Hz.

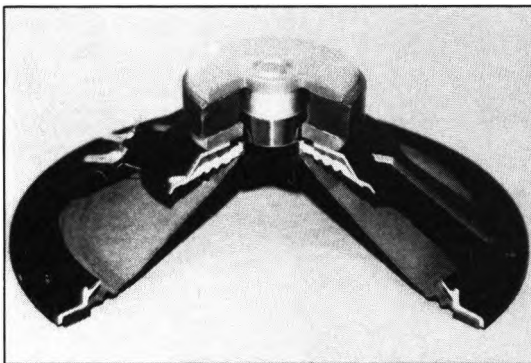
På aluminiumsakslen på vibratoren kan der fastgøres et stykke A4 karton, eller der kan sættes en speciel plade på. Når tonegeneratoren startes, lyder 800 Hz tonen meget kraftigere end før. Vibratorens aksel har en meget lille overflade, og det er små luftmængder, der sættes i svingninger. Når pladen kommer på, er det meget større luftmængder, der kan sættes i svingninger.

En højttaler er opbygget som vibratoren, og det er en papmembran, der sættes i svingninger, så vi kan høre lyden.

Lyden kommer tydeligt frem til alle i lokalet, men hvordan forplanter lyden sig mon fra højttaler til vort øre? Der mærkes ingen luftstrømning, så lyden må komme frem på anden måde.

Vi kan bedst forklare det ud fra en tegning.

Når pladen på vibratoren går opad, presser



*På en gennemsåret højttaler kan man se spolen, der kan bevæge sig i et kraftigt magnetfelt. Spolen er limet fast på en papmembran, der bevæger sig sammen med spolen. De luftsvingninger, der opstår, kaldes lyd. Elektriske svingninger i spolen omsættes til lydsvingninger.*

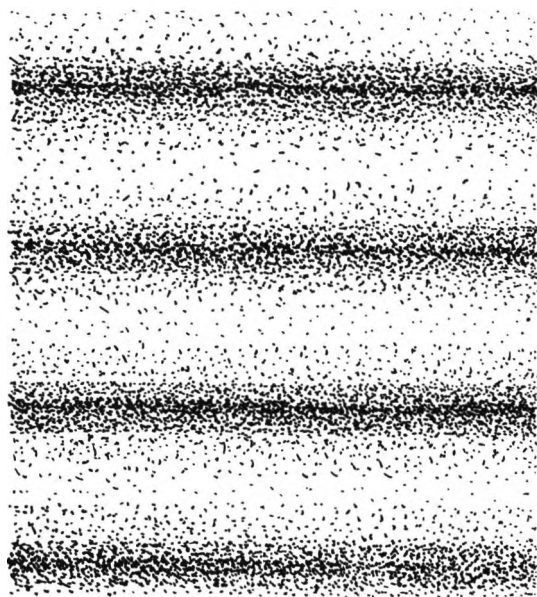
den luftens molekyler sammen. Der sker en fortætning.

Når pladen går nedad, sker der en fortynding.

Fortætningen forplanter sig ud i rummet, idet luftmolekylerne skubber til de molekyler, der er ved siden af. De skubber igen til deres nabomolekyler, og på den måde breder fortætningen sig ud i lokalet og når frem til vore øren.

Ved forplantningen ud i lokalet er luften ikke sat i bevægelse. Det begynder ikke at blæse. Luftmolekylerne bliver, hvor de er.

Når fortætninger og fortyndinger med en



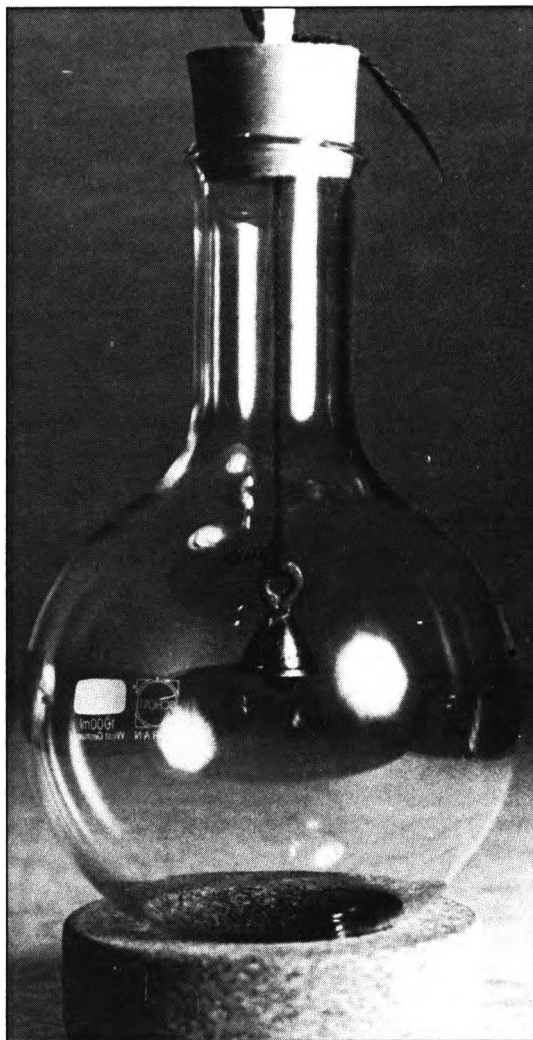
*Pladen på vibratoren sætter store luftmængder i svingninger. Tegningen viser, at der dannes undertryk (luftmolekylerne er langt fra hinanden) og overtryk (luftmolekylerne ligger tæt sammen). Trykbølgen forplanter sig gennem luften ud til vore trommehinder i øret, og vi hører lyden. Lyd kan ikke udbredes i lufttomt rum.*

frekvens på 800 Hz når frem til trommehinden i øret, begynder trommehinden at svinge med frekvensen 800 Hz. Denne mekaniske svingning når via hammer, ambolt, stigbøjle og snegl frem til hørenerven, og vi hører tonen 800 Hz.



Tidligere undersøgte man højttalere i lyddøde rum. Her er vi hos Bang & Olufsen, hvor en højttaler er ved at blive testet. Fra højttaleren udsendes der lyd, der opfanges af en mikrofon, og for at undgå generende reflekser er rummet gjort "lyddødt" ved hjælp af rock-woolplader.

Hvis man selv laver et lydstudie, kan væggene beklædes med æggebakker, der giver en tilpas efterklangstid. Der bliver ikke "rumklang" i studiet.



Her er en lille klokke inde i en kogekolbe. Når der rystes med kolben, kan man høre klokken ringe. Hvis luften pumpes ud af kogekolben, kan vi ikke længere høre klokken.



B & O har taget et nyt prøverum i brug til højttalertest. Kravet til prøverummet er, at det skal være så stort som muligt.

Højttalertesten er computerstyret, og der udsendes kun en kort lydimpuls fra højttaleren. Impulsen opfanges af mikrofonen, og resultatet analyseres af en computer. Impulsen er så kort, at testen er foretaget, inden lyden er blevet reflekteret fra væggene.

## Bølger

Når der smides en sten i vandet, breder en bølge sig ud fra det sted, hvor stenen har ramt vandoverfladen. Det ser ud, som om vandet flytter sig, men hvis man iagttager et stykke træ, der ligger på vandet, vil man se, at det bliver liggende på samme sted, efter at bølgen har passeret forbi.

En bølge er en svingning, som udbreder sig gennem vandet. De enkelte vanddele flytter sig ikke.

*En bølge er en svingning, der udbreder sig gennem et stof.*

*Under en bølgebevægelse bevæger hvert punkt på bølgen sig kun i lodret retning. Hvert punkt på bølgen foretager altså svingninger.*

Lyd udbreder sig også som en bølgebevægelse. Det samme gør radiosignaler og lys. Selv om det er forskellige former for bølger, udbreder de sig efter samme fysiske love.

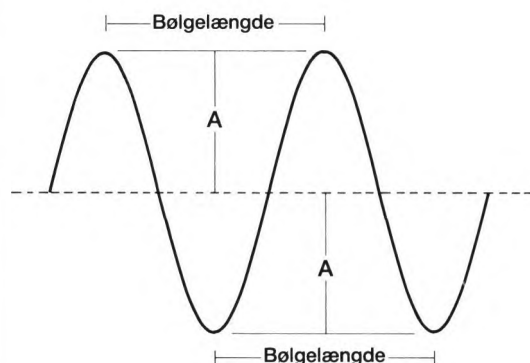
I denne bog vil vi også arbejde med ultralyd – lyd, der er over menneskets høregrænse – men de love, der gælder for ultralyd, gælder også for andre bølgebevægelser.

## Bølgeudtryk

Tegningen viser en bølge. Der er bølgetop og bølgedal. Afstanden mellem to bølgetoppe eller to bølgedale kaldes bølgelængden.

Vi betegner bølgelængde med det græske bogstav  $\lambda$  (lambda).

Bølgens udsving kaldes bølgens amplitude.



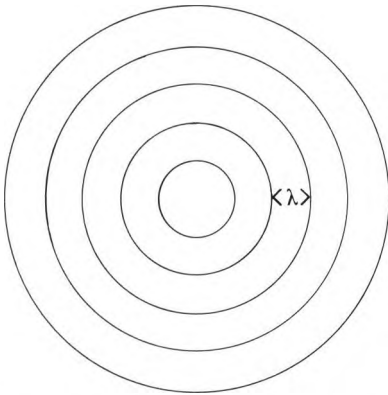
Fra bølgetop til bølgetop er der én bølgelængde. Bølgens udsving  $A$  kaldes bølgens amplitude.

*Bølgelængden er afstanden mellem to bølgetoppe eller to bølgedale.*

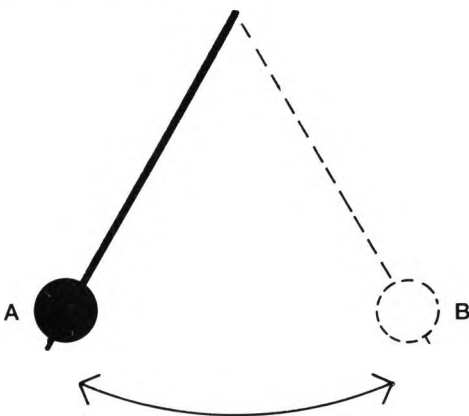
*Bølgelængde betegnes med  $\lambda$ .*

*En bølges amplitude er størrelsen af bølgens udsving.*

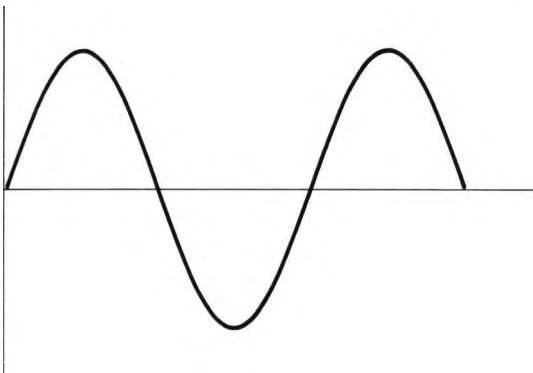




Bølgelængde betegnes med det græske bogstav lambda,  $\lambda$ .



Et pendul på et bornholmerur foretager svingninger. Når pendulet er kommet fra A til B og tilbage til A igen, har det foretaget en svingning.



Tegningen viser en sinusformet svingning fra en tonegenerator. En svingning er fra bølgetop til bølgetop.

Et pendul på et bornholmerur foretager svingninger. En svingning er den bevægelse, pendulet foretager fra det punkt, hvor den er i en yderstilling, til den er tilbage i samme yderstilling.

For en bølge er en svingning fra bølgetop til bølgetop eller fra bølgedal til bølgedal.

Den tid, en svingning varer, kaldes svingningstiden og betegnes med  $T$ .

Antallet af svingninger pr. sekund kaldes bølgens frekvens og betegnes med  $f$ .

Frekvens måles i hertz, Hz.

Kommer der f. eks. 1000 svingninger per sekund, er frekvensen 1000 Hz.

*En svingning er fra bølgetop til bølgetop.*

*$T$  = svingningstiden. Det er den tid, en svingning varer.*

*En bølges frekvens,  $f$ , måles i Hz. Den angiver antallet af svingninger pr. sekund. Periodiske bølger har samme bølgelængde.*

## Periodiske bølger

Hvis man rytmisk bevæger en finger op og ned i et kar vand, vil der på vandoverfladen dannes en serie ringbølger.

Afstanden mellem bølgetoppene er den samme. Bølgerne har samme bølgelængde. Det kaldes periodiske bølger. Vi kan slutte heraf, at periodiske bølger må bevæge sig med samme fart.

En bølges fart,  $v$ , er den afstand i meter, den bevæger sig pr. sekund.

En bølges frekvens,  $f$ , er det antal bølgelængder,  $\lambda$ , den bevæger sig pr. sekund.

Der er en sammenhæng mellem en bølges fart, frekvens og bølgelængde. Det udtrykkes i bølgeformlen:

$$v = f \cdot \lambda$$

fart = frekvens · bølgelængde

## Mekaniske svingninger

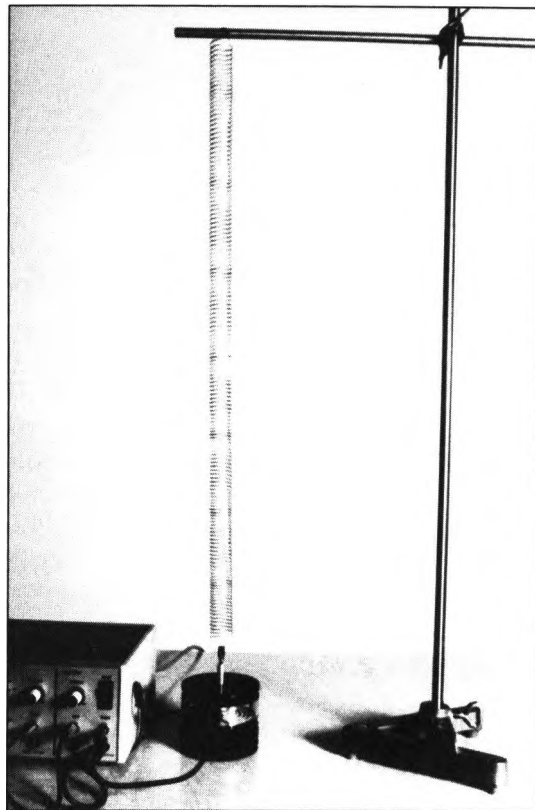
Sættes der en skruefjeder på vibratoren, kan de mekaniske svingninger tydeligt ses, når vibratoren tilsluttes en tonegenerator. Den ene ende af fjederen fastgøres på akslen på vibratoren. Den anden ende af fjederen fastgøres over vibratoren, så fjederen er udspændt.

Når frekvensen er omkring 50 Hz, vil der på skruefjederen være nogle steder, hvor fjederen er i ro, og hvor fjederen derfor tydeligt ses. Vi kalder det for knudepunkter.

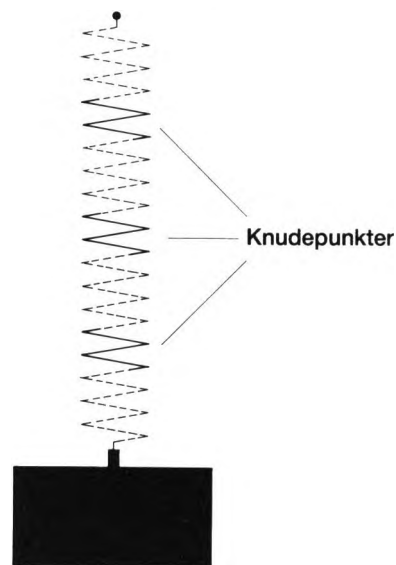
Der er samme afstand mellem alle knudepunkter. Afstanden er en halv bølgelængde.

Varieres der på tonegeneratoren, så frekvensen bliver større, forsvinder knudepunkterne et øjeblik, men så kommer der nye knudepunkter. Afstanden mellem knudepunkterne er nu mindre.

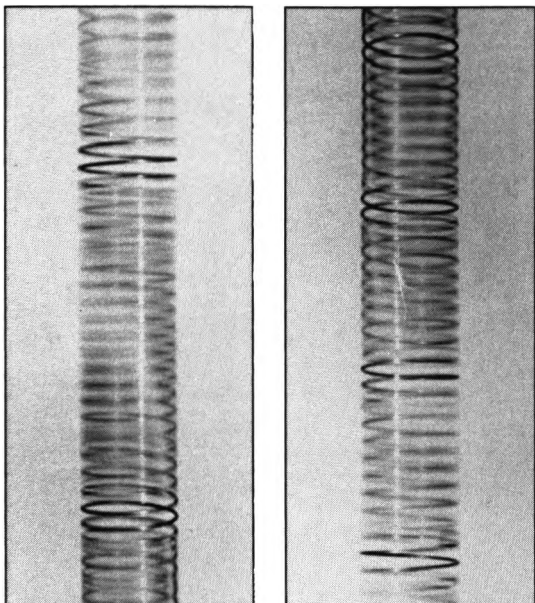
Der er en sammenhæng mellem frekvens og bølgelængde: Jo højere frekvens, jo mindre bølgelængde.



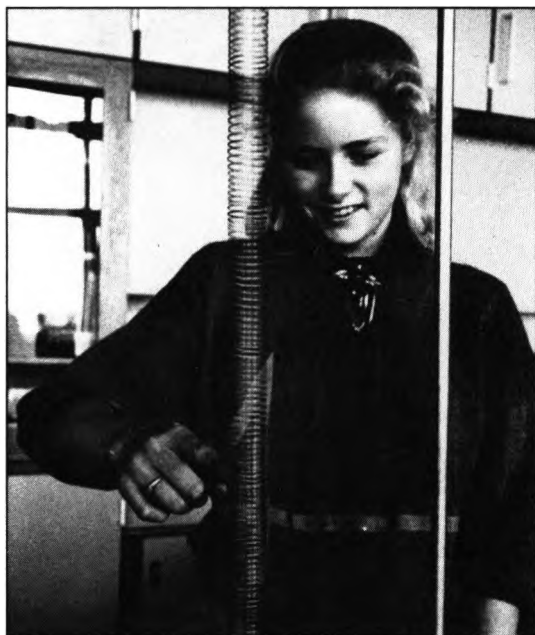
*Her er der sat en skruefjeder på en vibrator, og ved bestemte frekvenser dannes der knudepunkter. Det er steder, hvor fjederen er i ro.*



*De punkter på skruefjederen, der er i ro, kaldes knudepunkter.*



Her er der nærbilleder af fjederen ved forskellige frekvenser. På billedet til venstre er frekvensen 30 Hz. På billedet til højre er frekvensen 60 Hz. Afstanden mellem knudepunkterne er den halve, når frekvensen er den dobbelte.



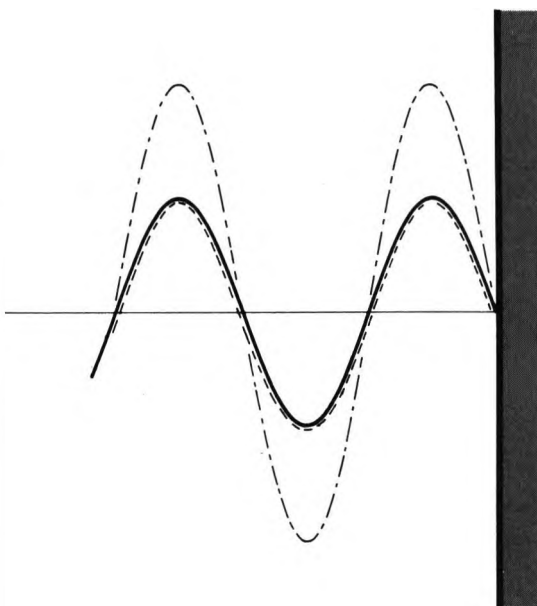
I knudepunkterne er fjederen helt i ro.

## Stående bølger

De knudepunkter, der opstår på skruefjederen, er resultatet af det, der kaldes stående bølger.

Sendes en bølge af sted gennem en skruefjeder, når den frem til fjederens fastgørelsespunkt. Den reflekteres og bevæger sig tilbage gennem fjederen. Når den møder en anden bølge, der er på vej frem gennem fjederen, vil de to bølger interferere. Der dannes herved stående bølger.

Nogle af vindingerne på fjederen ses helt skarpe. De er ikke i bevægelse. Disse punkter



- Bølge, der går ind mod en væg
  - - - Bølge, der reflekteres
  - · - Resultierende bølge – stående bølge.
- Bølgen er i fase

kaldes knudepunkter. Afstanden mellem to knudepunkter er en halv bølglængde.

Det er kun ved nogle frekvenser, der opstår stående bølger. Det afhænger af fjederens længde. Er der ikke stående bølger, kan man strække fjederen eller ændre på frekvensen.

*Når to harmoniske svingninger med samme amplitude og lidt forskellig frekvens overlejrer hinanden, bliver resultatet en stående bølge.*

*Frekvensen for den stående bølge bliver forskellen i frekvens mellem de to frekvenser.*

## Længdebølger

Lyd udbreder sig som længdebølger. For at illustrere hvad længdebølger er, kan man bruge en lang skruefjeder, en slinky.

Skruefjederen spændes ud i lokalet. Den kan sættes op mellem to forsøgsstativer, eller man kan lade to personer holde skruefjederen.

I den ene ende af fjederen presses nogle vindinger sammen. Det er en fortætning.

Når der gives slip på vindingerne, vil fortætningen brede sig ud gennem fjederen.

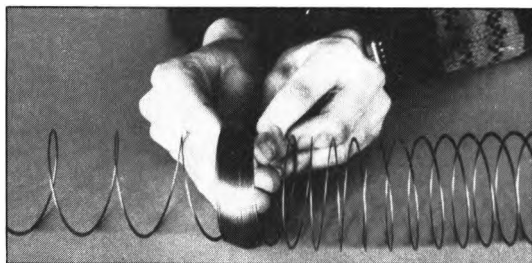
På samme måde kan man for enden af fjederen trække ud i nogle vindinger. Det illustrerer en fortynding.

Når der gives slip på vindingerne, vil fortyndingen brede sig ud gennem fjederen.

Det er på samme måde, at lyden udbreder sig gennem luften ved fortætninger og fortyndinger.

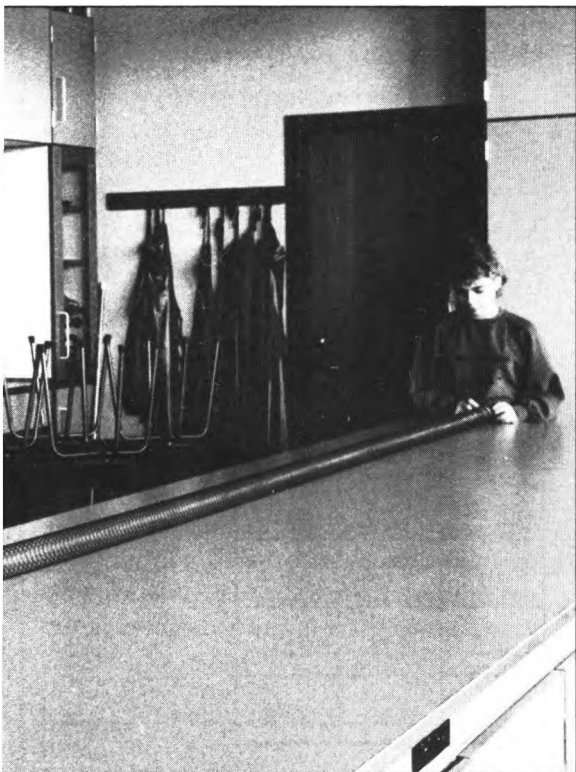


*Her er en slinky lagt ud på et langt bord. Der kan sendes længdebølger gennem fjederen.*



*Presses vindingerne i slinky'en sammen, illustrerer det en "fortætning". Når der gives slip, forplanter denne fortætning sig gennem fjederen. Den reflekteres ved den anden ende og kommer tilbage.*

Det ser ud, som om fortætningen eller fortyndingen på fjederen flytter sig frem gennem fjederen, men det er let at konstatere, at de enkelte vindinger er, hvor de hele tiden har været. De har ikke flyttet sig.



## Tværbølger

Med vibratoren kan der også dannes en anden type bølger, der kaldes tværbølger.

Længdebølger bevæger sig langs fjederen. Tværbølger bevæger sig på tværs af fjederen.

I stedet for at bruge en skruefjeder til at vise tværbølger med, er det bedre at bruge et langt gummibånd.

Den ene ende af gummibåndet sættes fast på vibratoren, og den anden ende fastgøres på et forsøgsstativ, så gummibåndet er udspændt i luften. Knipses der nu på gummibåndet, vil det



*Trækkes vindingerne i slinky'en fra hinanden, vil denne "fortynding" brede sig frem gennem fjederen.*



*Med et gummibånd sat til vibratoren kan der dannes tværbølger. Her ses to knudepunkter, hvor gummibåndet er i ro.*



svinge op og ned, og dette er en tværbølge, der hastigt forplanter sig gennem gummibåndet og reflekteres ved fastgørelsespunktet, og bølgen bevæger sig tilbage til udgangspunktet. Det er ikke let at se svingningerne, men det er tydeligt, at gummibåndet er i svingninger.

Vi prøver nu at slutte vibratoren til tonegeneratoren. Frekvensen på tonegeneratoren vælges til 30 Hz. Hvis frekvensen justeres omkring 30 Hz, vil der opstå voldsomme svingninger på gummibåndet. Nogle dele af gummibåndet er i fuldstændig ro. Det er knudepunkter. Andre dele af gummibåndet har meget store udsving.

Juster igen frekvensen til 30 Hz. Eventuelt kan frekvensen kontrolleres med en frekvenstæller, så man er sikker på, at frekvensen er nøjagtig 30 Hz.

Forsøgsstativet, hvor den ene ende af gummibåndet er fastgjort, flyttes nu, til der kommer maksimale udsving på gummibåndet igen. Det er stående bølger, der er opstået på gummibåndet. Måles der efter, vil det vise sig, at afstanden mellem alle knudepunkterne er den samme.

I et måleforsøg med et bestemt gummibånd, var afstanden mellem knudepunkterne til 38 cm = 0,38 m.

Nu justeres frekvensen til den dobbelte, 60 Hz. Afstanden mellem knudepunkterne bliver mindre og måles til 19 cm = 0,19 m.

Vi kan også prøve at gå den anden vej og vælge frekvensen halvt så stor. Ved 15 Hz blev afstanden mellem knudepunkterne 76 cm = 0,76 m.

På en tegning kan vi se, hvordan stående bølger opstår ved interferens mellem bølger, der er på vej frem gennem gummibåndet, og bølger, der er reflekteret ved fastgørelsespunktet og på vej tilbage gennem gummibåndet.

Ved hjælp af tegningen ser vi, at afstanden mellem knudepunkterne er en halv bølgelængde.

Med de udførte øvelser har vi vist sammenhæng mellem frekvens og bølgelængde. Når frekvensen bliver dobbelt så stor, bliver bølgelængden den halve.

Med bølgeformlen kan bølgenes udbredelseshastighed i gummibåndet findes.

$$v = f \cdot \lambda$$

$$f = 15 \text{ Hz}, \lambda = 1,52 \text{ m}$$

$$v = 15 \cdot 1,52 \text{ m/s}$$

$$v = 22,8 \text{ m/s}$$

Med de andre fundne tal vil vi med bølgeformlen komme til samme resultat.

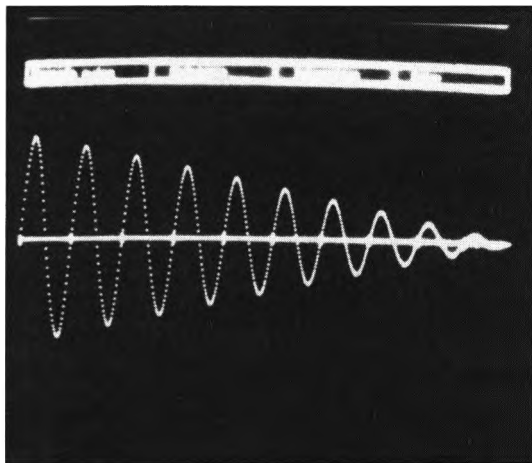
f (Hz)	$\lambda$ (m)	v (m/s)
15	1,52	22,8
30	0,76	22,8
60	0,38	22,8

Det ses, at udbredelseshastigheden er konstant ved de forskellige frekvenser.

## Dæmpede svingninger

Når der slukkes for tonegeneratoren i de forskellige forsøg, viser det sig, at svingningerne ikke straks ophører. De dør langsomt ud. Det kaldes for dæmpede svingninger.

*Ved en dæmpet svingning bliver amplituden mindre og mindre, mens bølgelængden er konstant.*



*Her er et skærbillede fra EDB programmet til denne bog. Det viser en dæmpet svingning. Frekvensen er konstant, mens amplituden bliver mindre og mindre.*

## Elektriske svingninger – lyd

Med en mikrofon kan lydsvingninger omdannes til elektriske svingninger. Disse elektriske svingninger kan forstærkes op og sendes til en højttaler, der så omsætter de elektriske svingninger til lydsvingninger.

Sluttes en mikrofon til et oscilloskop, kan der herpå ses et billede af svingningerne.

En tonegenerator er et apparat, der elektromagnetisk kan frembringe svingninger. Tonegeneratoren kan sluttes direkte til oscilloskopet, så man kan se svingningerne. Den kan også, evt. via en forstærker, sluttes til en højttaler, så man kan høre svingningerne. Man kan så også se og høre forskellen på de typer svingninger, der kan frembringes med tonegeneratoren.

## Ultralyd

Vi mennesker kan kun høre toner op til 15-20 kHz. 20 kHz (kilohertz) er 20.000 svingninger pr. sekund. Jo ældre man bliver, jo længere ned ligger høregrænsen, og jeres lærer er nok lige så forbenet som forfatteren og kan ikke høre en lyd over 14 kHz.

Øret er ellers meget hurtigt i opfattelsen sammenlignet med øjet. Prøv engang at slutte en lysdiode til en sinusgenerator. Når der kommer over 10 glimt pr. sekund, ser det ud, som om lysdioden lyser hele tiden. Det gør den ikke. Øjet kan blot ikke følge med.

Vi ved godt, at film og fjernsyn består af en række billeder. I fjernsynet er der 25 billeder pr. sekund. Det opfatter øjet som bevægelse. Øjet bliver narret, fordi det ikke kan følge med. På samme måde er der grænser for, hvor langt øret kan følge med op i frekvens.

Prøv engang at slutte en højttaler til en sinusgenerator og undersøg grænseværdierne for de frekvenser, I kan høre.

I har nok hørt, at hunde kan høre højere toner (frekvenser) end mennesket. Vi kan ikke høre toner på 25 kHz fra en hundefløjte. Disse toner opfatter hunden let. Vi kan således fløjte på hunden med en sådan fløjte, uden at det generer andre mennesker.

De frekvenser, der ligger over 16 kHz kalder man "ultralyd", og der arbejdes med ultralyd helt op til 100 MHz (1 MHz = 1 megahertz = 1000 kHz).

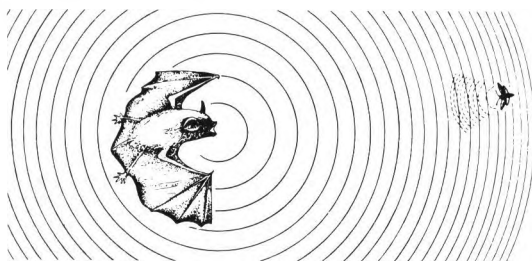
Ultralyd var et meget "varmt" emne i Tyskland før og under 2. verdenskrig. De tyske viden-

skabsmænd forskede meget i ultralyd, og da de allierede tropper i 1945 rykkede ind i Tyskland, var man meget ivrig efter at lede efter resultaterne efter denne forskning.

Ultralyd kan da også bruges til mange ting, og det er interessant at se, hvad det bruges til i dag.

Med ultralyd kan man undersøge ufødte børn, måle fedttykkelsen på en ko, scanne hjernen for svulster, knuse nyresten, bore firkantede huller i glas, undersøge om svejsninger er korrekt udført og svejse metaldele sammen. Ultralyd kan også bruges til rensning af metaldele m.v., og man kan "røre" i maling og andre væsker med ultralyd. Det er ultralyd, man bruger i ekkolod for at se, hvor fiskene er. Ultralyd bruges i tyverialarmer og til fjernbetjening af TV-apparater.

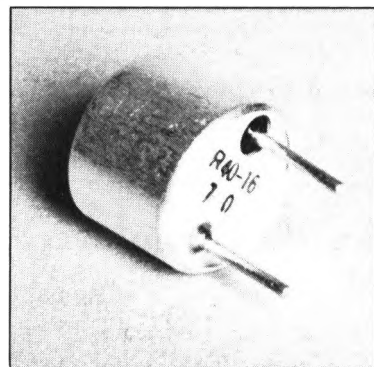
Vi kan ikke nå omkring alle de spændende emner og områder, hvor ultralyd anvendes, men hvis I læser i blade og aviser om ultralyd, så klip artiklen ud og tag den med, så de andre i klassen kan få glæde heraf. Det kan også tænkes, at jeres forældre på deres arbejde på en eller anden måde arbejder med ultralyd.



*Flagermusen orienterer sig ved hjælp af ultralyd, der også hjælper den med at fange byttet.*

## Vi laver ultralyd

En højttaler omsætter elektriske svingninger til lydsvingninger, som vi mennesker kan høre. Højttalerens membran og spole kan ikke følge med, når svingningerne når ret meget over 20 kHz. Vi skal derfor bruge en komponent, der kan omsætte de meget høje elektriske svingninger til ultralyd. Vi kalder denne komponent for en "transducer"



*En ultralydtransducer. R betyder, at det er en modtagetransducer. R = reciever.*

Transduceren ser ud som på billedet. Den er bygget ind i et kabinet, så det er lettere at arbejde med den. Den tilsluttes med de to bøsninger i højre side.

Når transduceren tilsluttes en sinusgenerator, udsender den lydbølger som en højttaler, men da det er en højttaler med en meget lille membran, er det meget små luftmasser, der sættes i bevægelse. Vi kan svagt høre lyden, når transduceren tilføres svingninger mellem 10 kHz og 20 kHz.



*I dette modul er der kun en ultralydtransducer. Den er forbundet til de to telefonbøsninger på højre side.*

Vil vi registrere, om der er ultralyd til stede, må vi bruge en mikrofon. Almindelige mikrofoner kan ikke opfange de toner omkring 40 kHz, hvor vi vil arbejde, så der skal også bruges en transducer som mikrofon.

Vi har således brug for en transducer, der kan omsætte elektriske svingninger til ultralydsvingninger. Vi kalder den sendetransducere.

Vi har også brug for en transducer, der omsætter ultralyd til elektriske svingninger. Vi kalder den modtagetransducere. De to transducere er næsten ens i opbygning, og ligesom man kan bruge en højttaler som mikrofon, kan man også bruge en sendetransducer som modtagetransducer og omvendt.

I modulet er der kun en transducer. I modtagetransducere er der to tilslutningsbøsninger i venstre side, og ved sendetransducere er de to bøsninger i højre side.

Sendetransducere kan sluttes til en sinusgenerator, og hvis modtagetransducere sluttes til et oscilloskop, kan man se, om der modtages ultralyd.

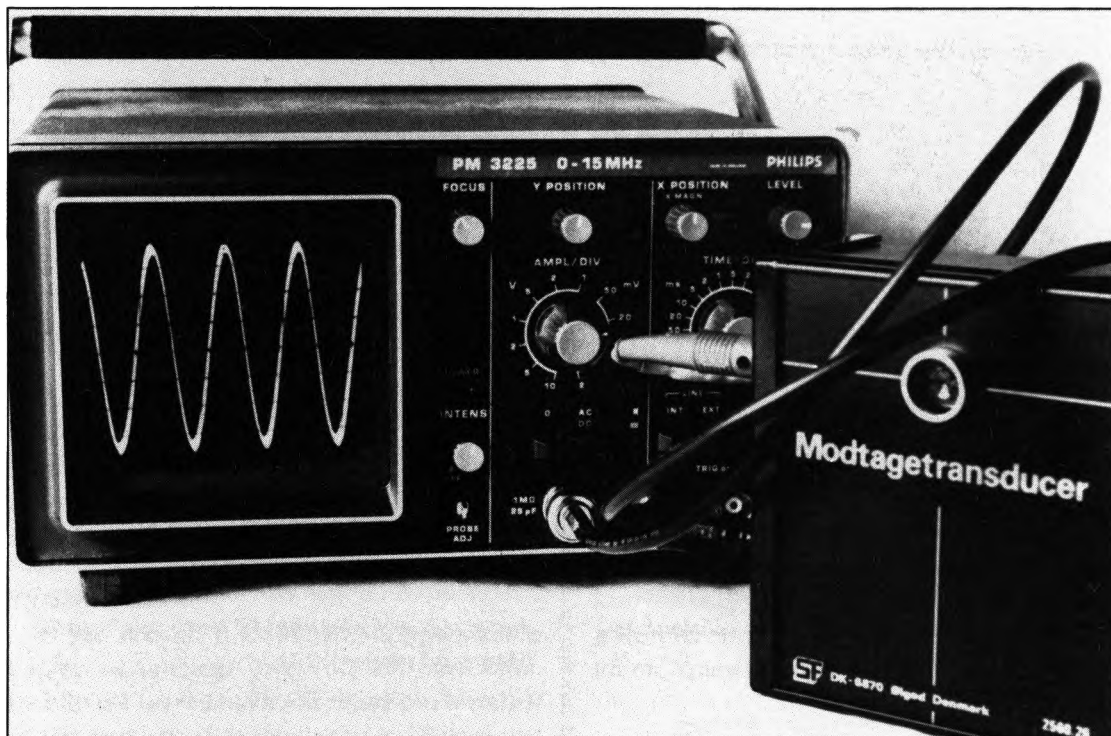


*I dette modul er der kun en ultralydtransducer, der er forbundet til de to telefonbøsninger på venstre side.*

På skalaen kan sinusgeneratoren sættes på 4, og ved at skifte til de forskellige frekvensområder, kan man komme hele spektret igennem og se, hvor transducerne arbejder bedst. Når der drejes på områdeknappen på sinusgeneratoren til X1, X10, X100, X1k, X10k osv. tilføres transducere frekvenser på 4 Hz, 40 Hz, 400 Hz, 4 kHz osv. Når vi kommer til X10 kHz området, sker der pludselig noget på oscilloskopet. Frekvensen er 40 kHz, og det er netop omkring denne frekvens, transducerne er bygget til at arbejde.

Der kan finindstilles på sinusgeneratoren, til der kommer maksimalt signal på oscilloskopet. Det vil være i området 39 kHz – 41 kHz, lidt afhængig af de enkelte transducere.

Til kontrol af frekvensen kan man bruge en frekvenstæller.



*Modtagetransducere kan med et skærmkabel tilsluttes et oscilloskop, og med oscilloskopet kan man så registrere ultralyd.*



*Med en sinusgenerator og en sendetransducer har man en ultralydsender.*



## Frekvensmåling med oscilloskop

Ultralydens frekvens kan kontrolleres på oscilloskopet.

Hvis oscilloskopet er sat på  $10 \mu\text{s}/\text{cm}$  ser vi måske 4 sinusperioder på oscilloskopet. ( $\mu\text{s}$  = mikrosekund).

Det tager elektronstrålen  $10 \mu\text{s}$  at bevæge sig 1 cm. Da skærmen er 10 cm bred, vil det tage  $10 \times 10 \mu\text{s} = 100 \mu\text{s}$  for elektronstrålen at bevæge sig tværs over skærmen. Det er det samme som 0,1 ms (millisekund).

På 0,1 ms ses 4 perioder.

Vi kan så beregne, hvor mange perioder der ville være på 1 sekund.

På 1 sek. vil der være  $10.000 \times 4 = 40.000$  perioder.

Frekvensen er således  $40.000 \text{ Hz} = 40 \text{ kHz}$ .

Vi kan ikke finde frekvensen helt nøjagtigt på denne måde, men vi får dog et mål for frekvensen.

Sluttes en frekvenstæller til sinusgeneratoren, kan frekvensen findes helt nøjagtigt. Det får vi brug for ved senere beregninger.

*I ultralydsenderen er der indbygget en generator, der med knappen kan variere frekvensen omkring 40 kHz. Telefonbøsningerne på venstre side af apparatet er direkte i forbindelse med transduceren.*

*Telefonbøsningerne mærket "Modulering" skal bruges i senere forsøg.*

## Ultralydsender

En ultralydsender består af en sinusgenerator og en sendetransducer indbygget i samme modul. Med en knap kan frekvensen reguleres fra ca. 38,5 kHz til ca. 41,5 kHz.

De transducere, vi bruger, er fremstillet til frekvenser omkring 40 kHz. Netop omkring denne frekvens udsender de mest ultralyd. På samme måde er modtagetransducerne mest følsomme for ultralyd omkring 40 kHz.

Den indbyggede sinusgenerator i senderen drives af et 9 V batteri, og på en trykknop på forpladen af modulet kan der tændes og slukkes for senderen. En gul lysdiode markerer, når der er tændt for senderen.

På siden af senderen er der to telefonbøsninger. Herfra er der ledninger direkte til transduceren. Til disse bøsninger kan der f. eks. sluttes en frekvenstæller, og man kan med den måle sendefrekvensen.



Sluttes en modtagertransducer til oscilloskopet, kan man måle, hvor stort ultralydsignalet fra sender 1 er. Der drejes på frekvensindstillingen på sender 1, til det største billede ses på oscilloskopet. Sender 1 og modtagertransduceren skal vende mod hinanden, og afstanden mellem dem kan være et par meter.

## Ultralydmodtager

I stedet for at bruge et oscilloskop til at vise at der sendes ultralyd, kan den specielle ultralyd-



*Ultralydmodtageren kan registrere ultralyd, og den store røde lysdiode lyser, når der er ultralyd. Der kan tilsluttes måleinstrumenter og andre apparater ved de to telefonbøsninger på højre side.*

*Når den øverste knap trykkes ind, kan modtageren bruges til tyverialarm. Det behandles i et senere kapitel i bogen.*

modtager anvendes.

På forpladen af modtageren er der nederst til venstre en tænde/slukke trykknop og en gul lysdiode.

Over trykknappen er der en anden trykknop, hvor der kan skiftes mellem modtagerens to funktioner som ultralydmodtager og tyverialarm.

Foroven i venstre side er der en stor rød lysdiode. Den lyser, når der modtages et ultralyd-signal.

## Påvisning af ultralyd

Sender 1 og modtageren placeres på et bord et par meter fra hinanden. Der tændes for modtageren, og på den røde lysdiode kan det ses, når der tændes og slukkes for sender 1. Holdes en hånd foran senderens transducer, kommer ultralydsignalet ikke videre. Det bremses af hånden.

Man kan måske ikke bremse signalet helt med hånden, men holdes en finger på sendetransduceren, slipper der ikke noget signal ud.

Ultralyd bevæger sig som lyset i rette baner, og det kan reflekteres af mange ting.

Når senderen drejes med siden til modtageren, kan senderen stilles, så der ikke kommer signal til modtageren. Ved at holde en udstrakt hånd foran sendetransduceren kan man reflektere signalet, så det når frem til modtageren.

Med en sender og en modtager kan man undersøge, hvor langt ultralydsignalet kan gå. At vi kan se solen, månen og stjernerne skyldes, at lyssignaler kan gå uendelig langt. Lydsignaler kan ikke gå ret langt. Har man hørt en friluftskoncert på afstand, har man måske lagt mærke til, at de dybe toner er kraftigst. Det er også de

dybeste toner, man hører fra naboens radio eller fra værelset ved siden af. Jo højere tone, jo kortere vej kan de bevæge sig. Da ultralyd er meget høje toner, kan man så formode, at de bevæger sig endnu kortere vej end hørbar lyd, og det er også tilfældet. Man kan se det ud af denne tabel over lydtrykkets halvværdi. Tabellen viser, på hvilken afstand lydtrykket er faldet til den halve værdi:

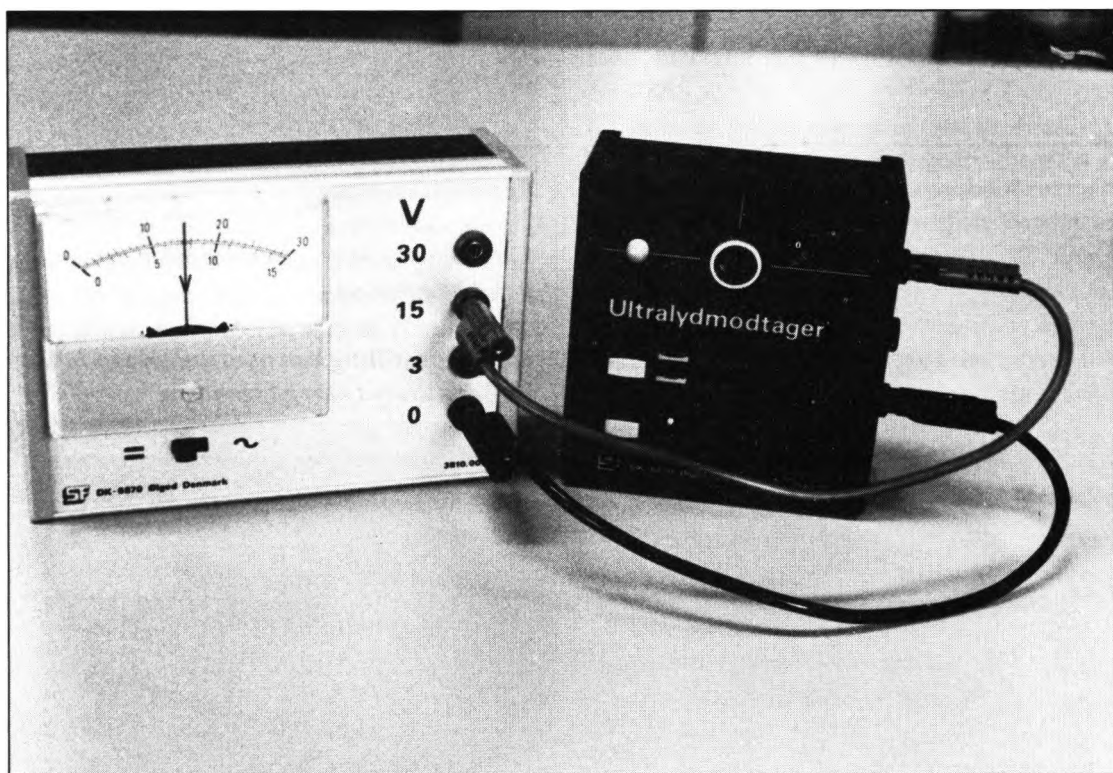
frekvens (kHz)	halv-værdi afstand (m)
20	10
50	3
100	2

## Modtager med meterudlæsning

Et voltmeter (10 V) kan tilsluttes telefonbøsningerne på modtagerens højre side. Det kan så ses på meteret, om der modtages ultralyd.

Voltmeteret slutes med minus til den nederste telefonbøsning på ultralydmodtageren og plus til den øverste.

Et voltmeter kan bedre end lysdiode markere, at der modtages ultralyd, for der skal et signal af en vis størrelse til, før det bliver registre-



*Hvis et voltmeter slutes til ultralydmodtageren, kan man registrere ultralyd, der er så svag, at den røde lysdiode ikke lyser.*

ret af lysdioden. På de modtagere, der er blevet målt på, har signalet skullet være på 2 V, før lysdioden tændte.

Lysdioden har så andre fordele. Den vil registrere en kort ultralydimpuls med et blink, medens et så kort signal slet ikke kan registreres af voltmeteret.

Voltmeteret kan bruges til at vise eller registrere ultralyd på meget stor afstand.

På voltmeteret kan det også meget tydeligt ses, når senderen drejes bort fra modtageren.

Prøv at gå udendørs og mål, hvor langt væk, der kan registreres ultralyd. Husk at justere modtageren til maksimal følsomhed.

## Ultralyd kan dæmpes

Placeres senderen og modtageren et par meter fra hinanden, kan man let konstatere, hvilke stoffer ultralyd kan trænge igennem, og hvad der kan dæmpe eller bremse ultralyd.

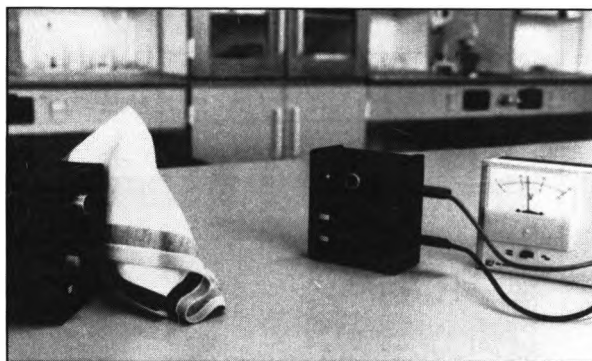
Ultralyd passerer let gennem et løst vævet stof, og det kan knapt ses på signalets størrelse, hvis der holdes et lommetørklæde mellem sen-

der og modtager. Det kan slet ikke konstateres med den røde lysdiode. Kun med et voltmeter sluttet til modtageren kan lommetørklædets dæmpende virkning registreres.

Holdes et stykke papir mellem sender og modtager, ser det ud, som om det ingen dæmpende virkning har. Det skyldes, at papiret reflekterer ultralyden, og ved flere refleksioner når signalet frem til modtageren.

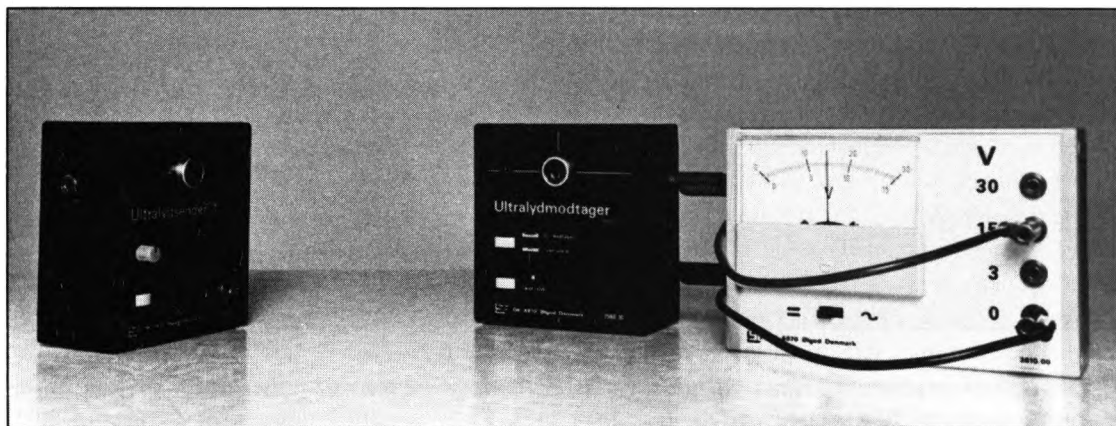
Først når senderen "pakkes ind" i et stykke skrivemaskinepapir, kan vi se, at signalet dæmpes af papiret.

Med senderen pakket ind når der stadig ultralyd frem til modtageren. Det vil kunne ses, hvis der måles på 1 V måleområdet med et voltmeter.



*Et stykke stof – her et lommetørklæde – dæmper ikke ultralyd.*

*I denne opstilling kan man undersøge, hvilke stoffer ultralyd kan gå igennem.*





Vi kan også vise, at stoffer som glas, aluminium, jern og andre metaller effektivt bremser ultralyd. Vi må dog hele tiden passe på, at ultralyden ikke ved refleksion smutter udenom og derved narrer os.

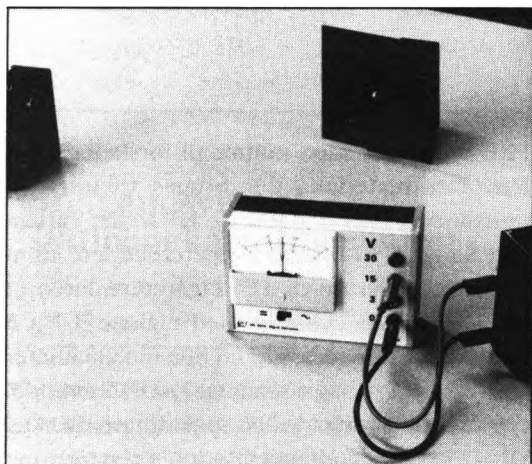
## Refleksion af ultralyd

Det er nu nærliggende at undersøge, i hvor høj grad ultralydssignaler kan reflekteres.

Sender og modtager stilles et par meter fra hinanden, og der måles på voltmeteret, hvor stort det modtagne signal er.

Nu drejes senderen med siden til modtageren, til det modtagne signal er så lille som muligt.

En metalplade sættes op 10-20 cm fra senderen, og ved at dreje på metalpladen kan det ses, at ultralydsignalet reflekteres af pladen. En aflæsning af voltmeteret ved modtageren vil vise, at faktisk hele signalet når frem. Vi får samme udslag på voltmeteret, som da vi sendte direkte.



## PXE – Piezoelektrisk keramik

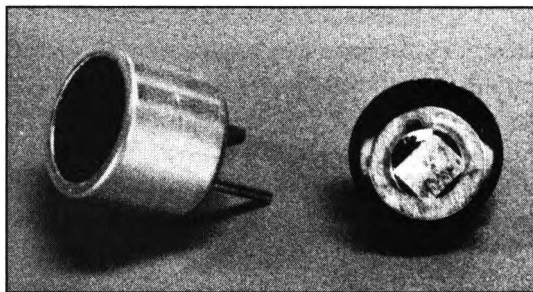
Det, der i en transducer laver det elektriske signal om til ultralyd, er et lille stykke keramik.

Når et kvartskrystal påvirkes mekanisk, opstår der en elektrisk effekt. Presser man et krystal sammen eller trækkes der i et krystal, bliver den mekaniske energi omsat til elektrisk energi.

Disse forhold har været kendt og udnyttet, siden effekten blev opdaget i 1880 af Jaques og Pierre Curie.

Nu har man fundet ud af at fremstille et keramisk materiale, der er piezoelektrisk. Det kaldes PXE.

Det er et meget robust materiale, fysisk og kemisk, og det har samme mekaniske egenska-

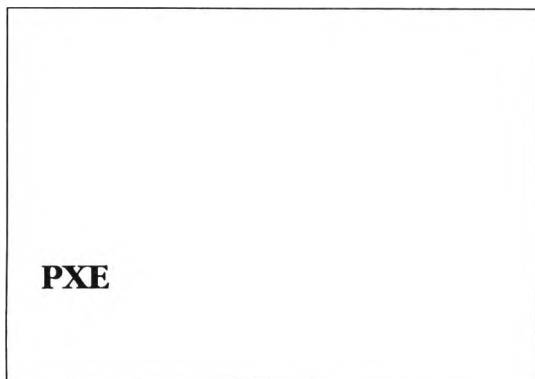


*Ultralydstransducere. På den adskilte transducer ses PXE krystallet. Det er den firkantede plade.*

*Fra senderen til venstre sendes der ultralyd mod pladen. Det reflekteres og når frem til modtageren, og på voltmeteret ses, at signalet er lige så kraftigt som et direkte signal.*

ber som den keramik, man bruger som isolator, og fabrikationsmåden er næsten den samme.

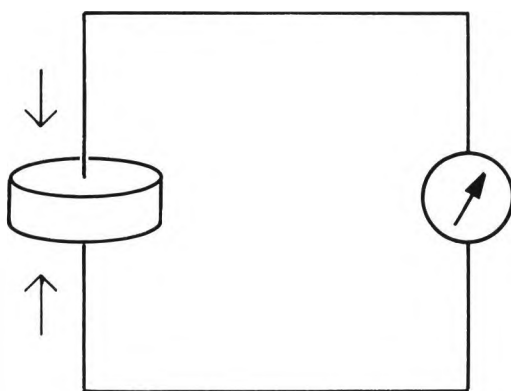
På grund af den keramiske struktur kan disse nye PXE materialer fremstilles i enhver form og størrelse, og ved at ændre lidt på den kemiske sammensætning får man PXE til forskellige formål.



Presser man en PXE cylinder sammen, opstår der en spændingsforskel mellem endefladerne. Spændingsforskellen er ligefrem proportional med det tryk, cylinderen er udsat for, så jo større tryk, jo højere spænding opstår der.

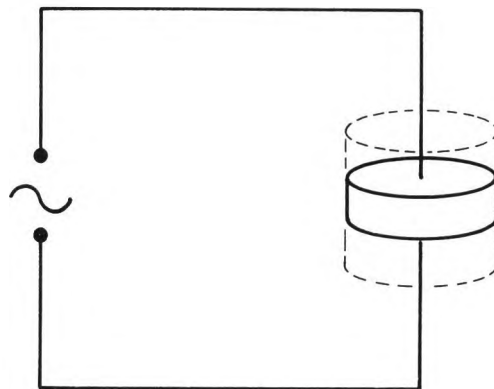
Hvis man omvendt sender en elektrisk strøm den ene vej gennem en PXE cylinder, bliver cylinderen kortere. Sendes strømmen den anden vej, bliver cylinderen længere.

Sendes der vekselstrøm gennem cylinderen, vil den svinge i takt med vekselstrømmens frekvens.

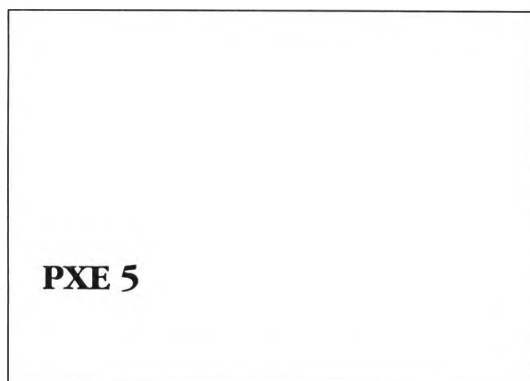


*Når et PXE krystal presses sammen, opstår der en elektrisk spænding mellem endefladerne.*

Inde i en ultralyd-transducer sidder der en PXE skive med en diameter på 9 mm og med en tykkelse på ca. 1 mm. Der er en ledning på toppen og på bunden af cylinderen, og disse ledninger forbindes til sinusgeneratoren. Når sinusgeneratorens frekvens er 40 kHz, vil PXE cylinderen begynde at svinge med frekvensen 40 kHz, og der udsendes ultralyd på denne frekvens.



*Sættes der vekselstrøm til et PXE krystal, vil krystallet begynde at svinge i takt med vekselstrømmens frekvens.*



PXE benævnes med numre til forskellige formål. Det materiale, der bruges til ultralyd-transducere, hedder PXE 5. En anden variant er PXE41. Den bruges i cigarettændere til at antænde gassen. PXE 41 i cigarettænderen er formet som en cylinder med målene 3,7 x 5 mm. Når der tændes, slår en lille metalhammer med en vægt på 2 – 4 gram ned på PXE cylinderen. Der opstår herved en spændingsforskel på 10 – 15.000 V mellem cylinderens endeflader.

Der springer så en elektrisk gnist. Det er en kortvarig impuls med en pulslængde på 20  $\mu$ S.

Hammerens potentielle energi på 80 – 90 mJ omsættes til en elektrisk energi på 4 – 5 mJ (millijoule), så det er ikke store energimængder, der arbejdes med.

Til sammenligning skal der ca. 333 mio.mJ til at opvarme 1 l vand fra 20 grader til 100 grader.

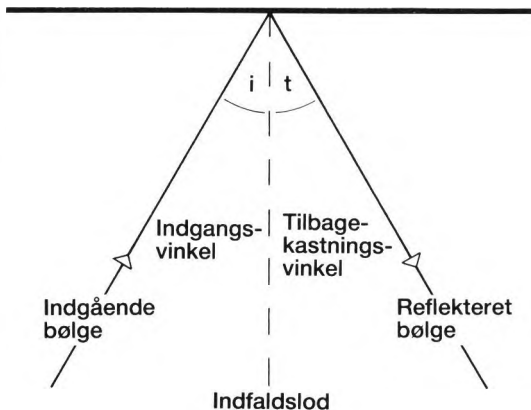
## Anvendelse af PXE

PXE kan anvendes til mange formål. Det bruges i mikrofoner, gramfon pick-uper, keramiske filtre i radiomodtagere, forsinkelsesled i farve-TV og mange andre steder.

Der vil blive flere anvendelsesområder. Man kunne tænke sig et PXE krystal anbragt i cylinderen på en bilmotor. Når stemplet når op og presser krystallet sammen, opstår der en gnist, der antænder bezindampene. Tændrøret er så erstattet af PXE.

## Indgangsvinkel – tilbagekastningsvinkel

Man kan helt nøjagtigt beregne, hvordan ultralyd reflekteres, idet det opfører sig på samme måde som lys, der reflekteres i et spejl.



*Når en bølge rammer en plan flade, vil den blive kastet tilbage. Den vinkel, hvorunder den kastes tilbage, er lig med den vinkel, den indgående bølge havde. Det gælder alle slags bølger.*

Sendes ultralyd mod en metalplade, vil det reflekteres i en bestemt vinkel.

Man kan anbringe Ultralydsender 1 på et stort stykke papir. Fra mærket nederst på forpladen af modulet tegnes en ret linje. Den viser den vej, ultralyden udsendes.

Et sted på denne linje anbringes en metalplade. Ultralyden rammer så pladen og reflekteres.

På det sted, hvor vi har beregnet, at ultralyden rammer metalpladen, tegnes en linje vinkelret på pladen. En linje vinkelret på en anden kalder vi i geometrien for en normal.

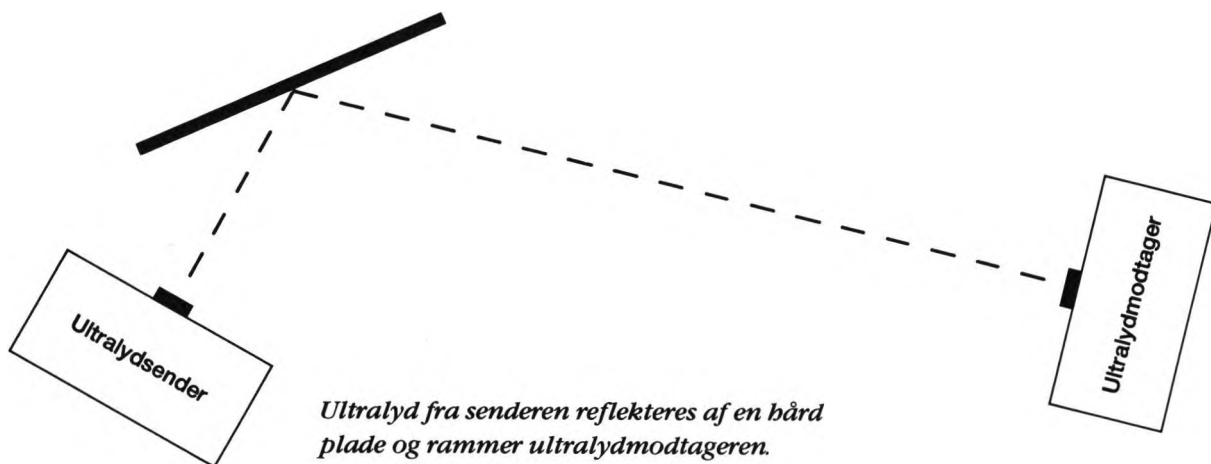
Den linje, vi tegnede vinkelret på metalpladen, kaldes indfaldslod. Vinklen mellem den indkomne ultralyd og indfaldslodet kaldes indgangsvinklen.

Fra lyslæren ved vi, at lys reflekteres af et spejl, og den reflekterede lysstråle danner en vinkel med indfaldslodet på samme gradstørrelse som indgangsvinklen. Denne regel gælder også for ultralyd og er let at eftervise.

Altså:

indgangsvinkel = tilbagekastningsvinkel

*Tilbagekastningsvinklen for en bølge er lig med indgangsvinklen.*



## Ultralyd i hverdagen

I vor hverdag er vi omgivet af særdeles mange lyde. Hvis det er lyde fra radioens program 3 eller lokalradioen, kalder mange det musik. Kommer lyden derimod fra en tryklufthammer, kalder vi det for støj. Det er lyde inden for det hørbare område.

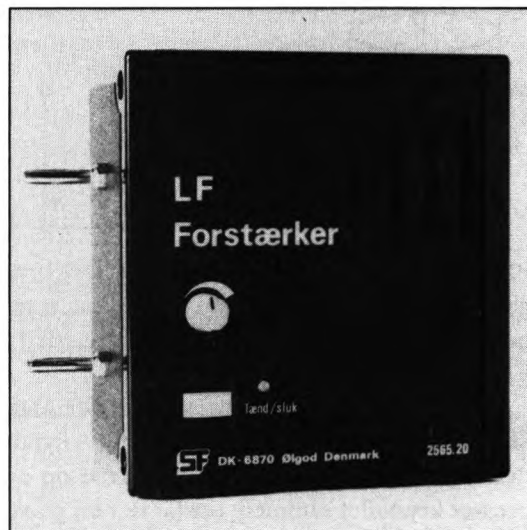
Over det hørbare område er der også mange lyde, som vi ikke hører, men de registreres måske af hunde og andre dyr.

Vi kan med en ultralydmodtager måle, om der er ultralyd i et lokale.

På den røde lysdiode kan vi direkte se, om der er en så kraftig ultralyd, at lysdioden lyser. Vi ved fra vore forsøg, at ultralyden skal være over et vist niveau, før den registreres af lysdioden.

Et voltmeter sluttet til ultralydmodtageren kan vise meget svag ultralyd.

Den specielle ultralydmodtager, vi bruger, er indrettet på den måde, at den kan omsætte ultralyd til hørbar lyd. Denne lyd er meget svag og må forstærkes op, før vi kan høre den i en



*I dette modul er der en lavfrekvensforstærker og en lille højttaler.*

højttaler. I rækken af moduler, vi vil bruge i dette temahæfte om ultralyd, er der også et modul med en lavfrekvensforstærker. Der er indbygget en lille højttaler i modulet. Modulet kaldes LF-forstærker.

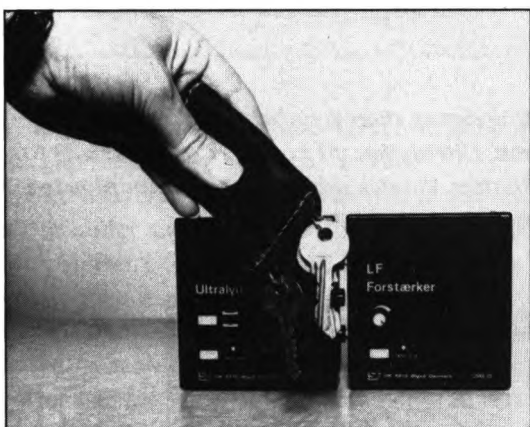
LF-forstærkeren kan slutes til ultralydmodtageren, idet modulet er forsynet med et par stik, der passer til telefonbøsningerne på siden af ultralydmodtageren. Kobles de to moduler sammen, har vi en meget følsom ultralydindikator.

Almindelig hørbar lyd bliver filtreret fra i denne indikator, og kun ultralyd gøres hørbar.





*LF Forstærkeren kan kobles på ultralydmodtageren. Den ubørlige ultralyd omdannes, så man i højttaleren kan høre, når der er ultralyd. Med en sådan ultralyddetektor kan man gå på jagt efter ultralyd.*



*Ved nøgleraslen opstår der ultralyd. Det kan tydeligt "høres" med ultralyddetektoren.*

Prøv at tale til transduceren eller hold den foran højttaleren på en transistorradio. Lysdioden lyser ikke, og der kommer ikke noget i LF-forstærkerens højttaler. Der er ingen ultralyd.

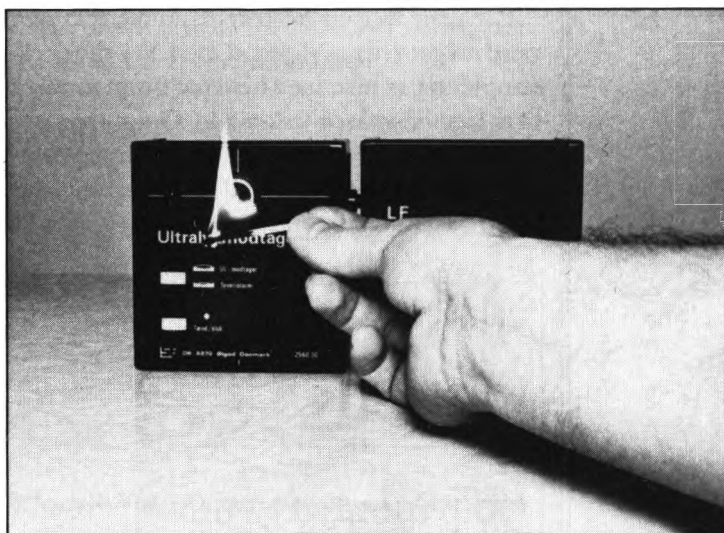
Rasles der med nøgler eller mønter, udsendes der ultralyd, og dette er nemt at vise med denne ultralydindikator. I højttaleren "hører" vi ultralyden.

Prøv at gnide et par tørre fingre foran transduceren, prøv at knipse med fingrene, prøv at tale, fløjte, hoste, puste o.l. foran transduceren. Der udsendes ultralyd.

Når en cykelslange punkterer, og luften si-

ver ud gennem et lille hul, opstår der ultralyd. Vi kan ikke høre det direkte, men vort sportsudstyr fortæller klart, hvor hullet er. Sportsudstyret kunne bruges af cykelhandleren, men han fortsætter nok med at finde utætheder med en balje vand. Den metode kan ikke bruges, hvis man vil finde utætheder på naturgasledninger. Her og andre steder, hvor der skal findes utætheder i rør-ledningssystemer, bruges ultralydindikatorer.

Rasles der med en tændstikæske, kan det konstateres, at der ikke opstår ultralyd herved. Stryges der derimod en tændstik, kan der registreres ultralyd, både når tændstikken stryges, og når svovlet antændes.



*Tændes en tændstik lige foran ultralyddetektoren, høres den kraftige ultralyd, der udsendes ved antændelse og ved forbrændingen.*

Der kommer ultralyd fra to stykker sandpapir, der gnides mod hinanden, fra papir, der krølles sammen, ja, også når en blyant skriver på et stykke papir, opstår der ultralyd. Når der tændes eller slukkes ved en elkontakt, udsendes der ultralyd, og fra printere til en computer udsendes der megen ultralyd.

Det er måske godt, at vi ikke kan høre al den ultralyds-støj, vi er omgivet af.

Prøv at gå på "jagt" med ultralyd-indikatoren.

## Myggedetektor

Man påstår, at myg ikke kan lide ultralyd, og i elektronikblade er der af og til konstruktioner af ultralydsendere. De betegnes som myggekanoner, der kan holde myggene væk.

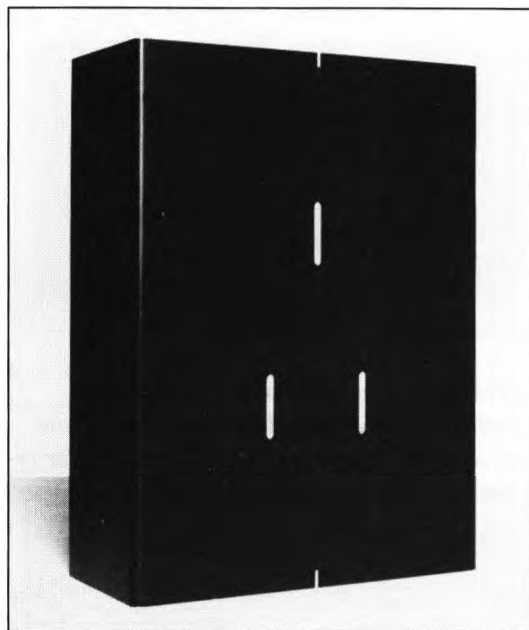
Har man fået en husmår på loftet, kan den være meget svær at slippe af med. Vi kender eksempler på, at man med held har brugt ultralyd til at jage husmåren væk med.

Vi mennesker generes jo også af en høj hørbar tone. Tænk engang på den 1 kHz tone, der sendes sammen med fjernsynets prøvebillede.

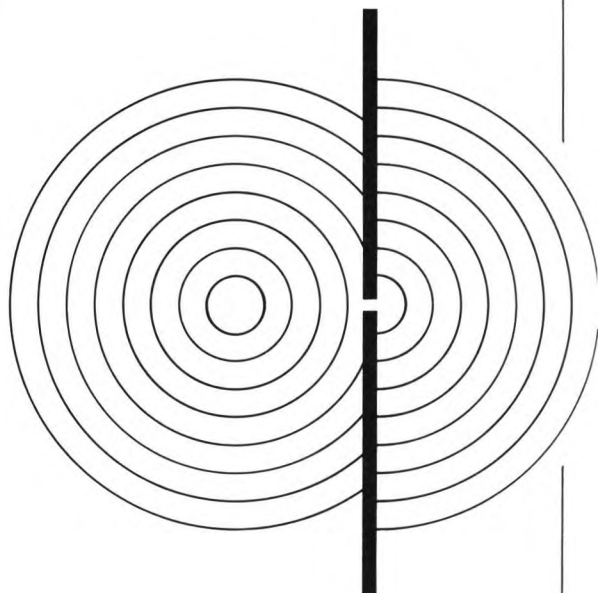
## Kan ultralyd gå om hjørner?

En metalskærm kan helt skærme af for ultralyd. Vi kan prøve at anbringe ultralydsenderen bag en metalskærm, hvori der er udfræset en spalte. Vi bruger en skærmlade, hvor der i den ene ende er lavet en 3 cm lang og 0,5 cm bred spalte. I den anden ende af skærmen er der to spalter med 5,4 cm afstand. Denne skærm kan bruges til to forskellige øvelser.

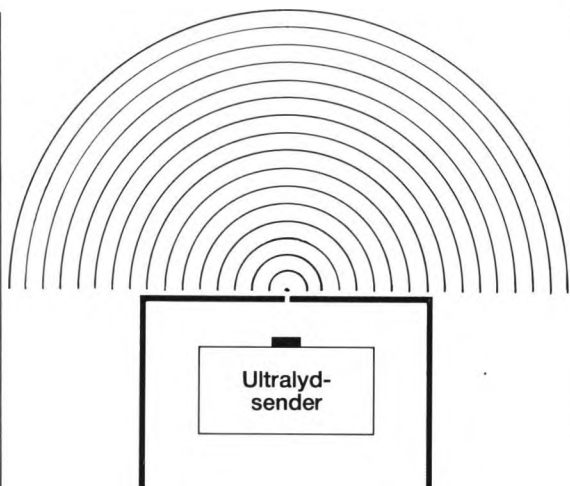
Først vender vi skærmen med en spalte nedad og stiller ultralydsenderen med transduceren ca. 5 cm fra skærmen, lige ud for transduceren.



*Bag denne skærm anbringes ultralydsenderen. Ultralyden vil komme ud gennem de to spalter. Vendes skærmen, kan man få ultralyd ud gennem én spalte.*



*Når vandbølger rammer en spærring, hvor der er en åbning, vil bølgerne fortsætte på den anden side af spærringen. Det gælder også for lydbølger og ultralydbølger.*



*Når ultralydbølger rammer en spærring med en åbning, fortsætter bølgerne på den anden side af spærringen. Bølgerne går om hjørner.*

Vi kan så med ultralyd-modtageren måle, om der slipper ultralyd igennem spalten.

Det viser sig, at der ikke som måske forventet kommer en tynd stråle ultralyd gennem spalten. Det ville der komme, hvis vi havde lavet øvelsen med lys. Tværtimod viser det sig, at man alle steder foran skærmen kan måle ultralyd. Ultralyden må så kunne gå om hjørner.

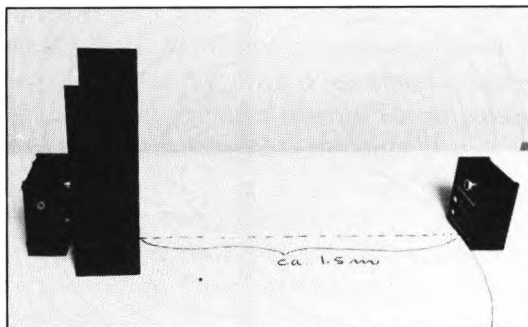
Det skyldes, at ultralyd opfører sig som bølger i vand og som lydbølger, og hvis vi prøvede at sende vandbølger mod en spærring, hvor der var en åbning, ville resultatet se ud som på tegningen. Det kan vises med et bølgekar.

*Hvis ringbølger sendes gennem en spalte, vil der dannes nye ringbølger på den anden side af spalten.*

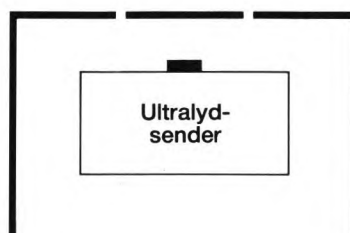
## Interferens

Hvis vi vender metalskærmen, så de to spalter er forneden, kan vi undersøge, hvad der sker, når ultralyd rammer to åbninger.

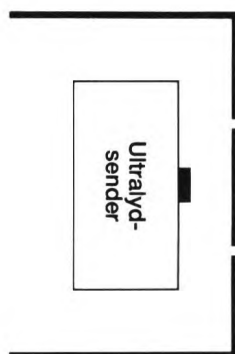
Vi kan prøve at måle med ultralydmodtageren i en afstand af 1,5 m fra skærmen.



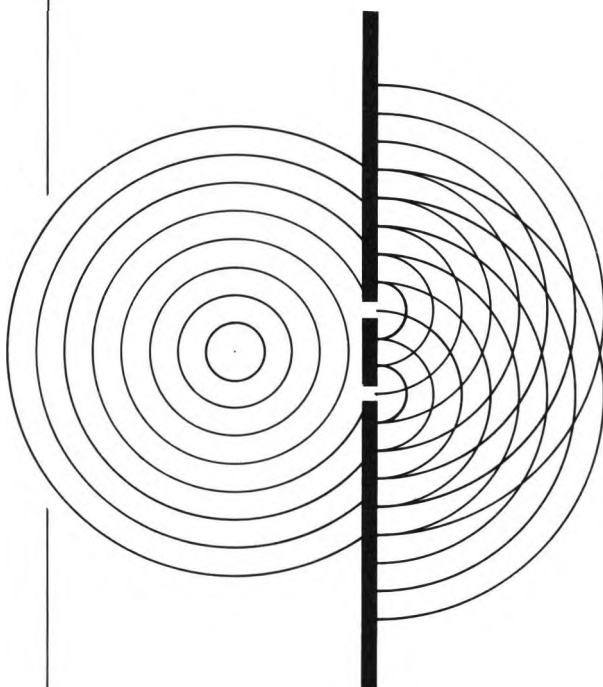
*Ultralydsenderen er anbragt bag en skærm med to spalter. I ca. 1,5 meters afstand måles der med ultralydmodtageren. Den bevæges langs en cirkelbue, og hvor der er ultralyd, sættes et mærke.*



*Ultralydsenderen er her anbragt bag en skærm med to spalter, og med en ultralyd-modtager kan vi undersøge ultralyden efter at den har passeret de to spalter.*



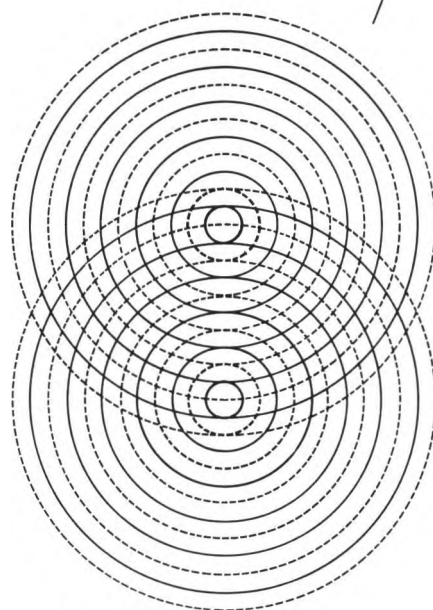
*Ultralydsenderen står bag en skærm med to spalter. På bordet tegnes en cirkelbue med en radius på 1,5 meter. Langs denne cirkelbue måles der på ultralyden.*



*Hvis bølger rammer en spærring med to åbninger, vil der fra hver åbning udsendes bølger. Bølgerne går gennem hinanden, men der dannes interferens.*

Skærm og ultralydsender anbringes på et bord på et stort stykke papir. En snor bruges som passer, og med et punkt midt imellem de to spalteåbninger som centrum og med en radius på 1,5 meter tegnes en cirkelbue. Overalt på denne cirkelbue vil vi være 1,5 m fra skærmen.

Ultralydmodtageren føres nu langs cirklen, og vi vil se, at den røde lysdiode slukkes med



*Tegningen viser to bølgetog, der udgår fra hver sit punkt. Bølgetop er tegnet med fuldt optrukken streg, mens bølgedal er tegnet med stiptet linje. Interferensstriberne opstår, hvor bølgetop og bølgedal mødes.*

visse mellemrum. Det betyder, at ultralyden ikke er lige kraftig overalt.

Hvis lysdioden ikke slukkes, skyldes det, at ultralydmodtageren er for følsom, og der skal så skrues ned for modtagerens følsomhed. Som tidligere bemærket er modtageren meget følsom over for ultralyd, og til øvelser som denne kan den endog være for følsom, og selv om der

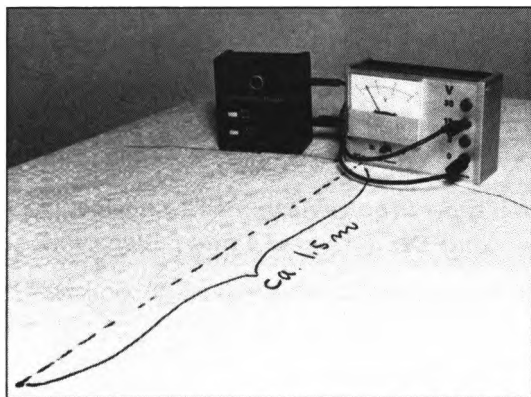


kun er et meget lille ultralydsignal, registrerer den det.

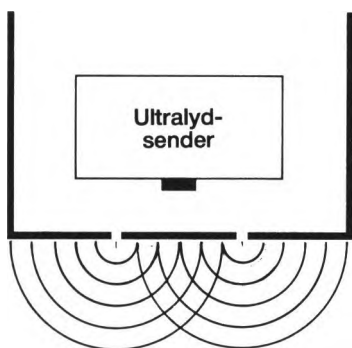
Det kan somme tider være svært at bestemme nøjagtigt, hvor ultralydsignalet er mindst, så derfor kan der til ultralydmodtageren sluttes et voltmeter, så man på et viserinstrument kan aflæse, hvor der er minimum. Et voltmeter med fuldt udslag for 10 volt er passende.

Voltmeteret sluttes med minus til den nederste telefonbøsning på ultralydmodtageren og plus til den øverste.

Der kan nu køres med ultralydmodtageren langs cirkelbuen, og der, hvor der er mindst udslag på voltmeteret, sættes et mærke. Den lodrette streg på ultralydmodtageren marke-



*Hvis der sættes et voltmeter på ultralydmodtageren, kan minimumspunkterne registreres helt nøjagtigt.*



*Ultralyden har passeret to spalter i skærmen, og der dannes på den anden side af skærmen to nye bølgetop.*

rer placeringen af ultralydtransducere, så mærket sættes lige ud for denne streg. Kør videre langs cirklen til nyt minimum, sæt et mærke og køр så videre igen til nyt minimum.

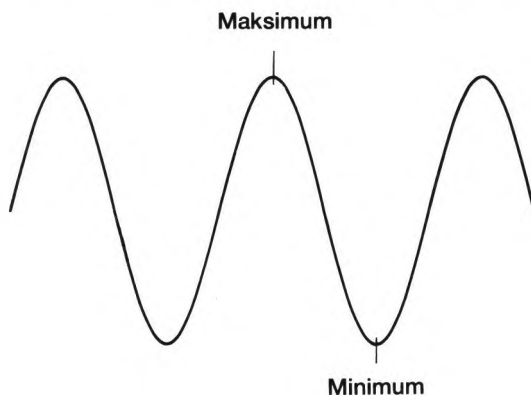
Du vil opdage, at der er samme afstand mellem mærkerne.

## Teori

Inden vi går i gang med at regne på det resultat, vi har fået ved denne øvelse, kan vi prøve at se på, hvorfor der opstod minimumspunkter og maksimumspunkter. Hvorfor var ultralyden ikke lige kraftig langs hele cirklen?

Der kommer ultralydbølger ud fra hver af de to spalter i skærmen. Da ultralyd kommer fra en sender, må det være ultralyd med samme bølgelængde.

Ultralyd er jo bølger som vandbølger og lydbølger, men da bølgelængden for ultralyd er omkring 9 mm, vil der mellem to minima kun

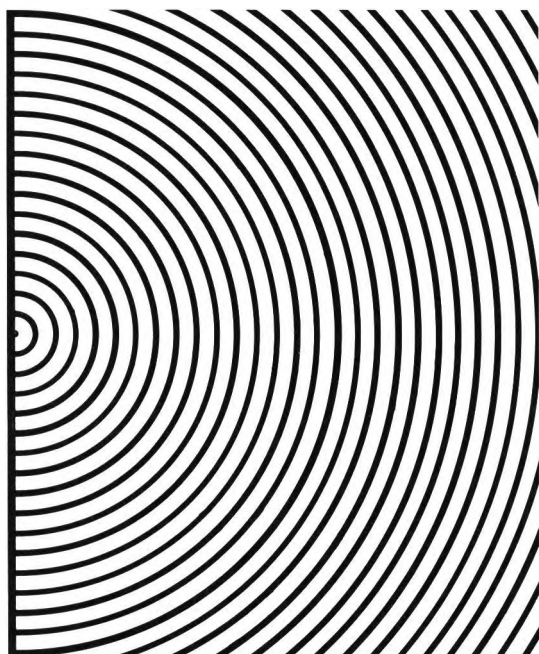


*Når en bølge er højest (bølgetop) har vi maksimum. Når den er lavest (bølgedal) har vi minimum.*

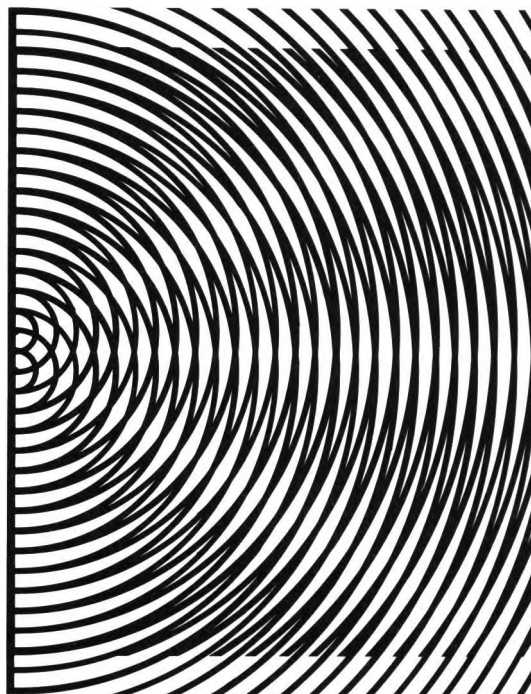
være 9 mm. Den samme afstand vil der være mellem to maksimumspunkter. Vi kan også tale om bølgetop og bølgedal.

Når to bølger går sammen, sker der interferens. I nogle punkter vil der være to bølgetoppe eller to bølgedale, der når sammen. Her vil ultralydsignalet være dobbelt så kraftigt.

I nogle punkter vil bølgetop og bølgedal nå sammen. Her vil de ophæve hinanden. Det er i sådanne punkter, vi kan måle minimum ultralyd ved øvelsen.



*Her udgår et bølgetog fra en bølgekilde. Det er kun bølgetoppene, der er tegnet, så mellem hver streg er der en bølgelængde.*



*Her er der to bølgekilder med 2 bølgelængders afstand. Der dannes så 4 interferensstriber.*

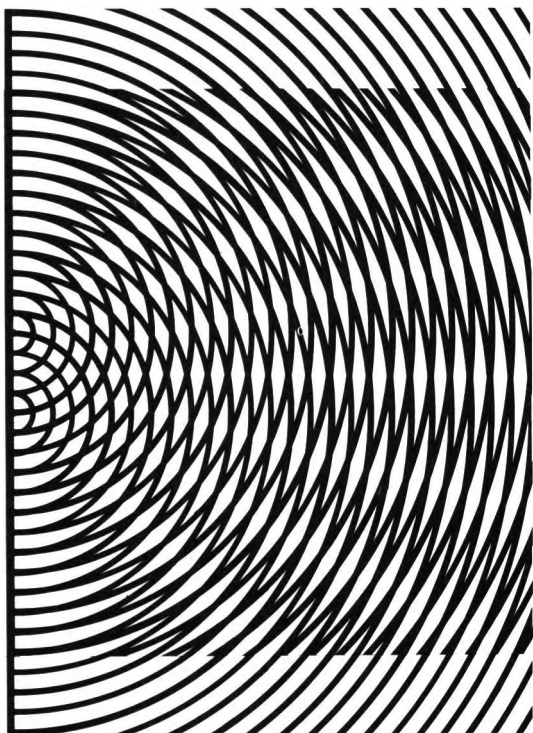
*Hvis bølger går gennem hinanden, interfererer de, og der opstår interferensstriber.*

*Når to bølger mødes, vil de passere hinanden uforstyrret.*

*Under passagen vil der dannes en ny bølge, hvis amplitude bliver summen af de to bølgers amplituder.*

*Antallet af interferensstriber afhænger af spalteafstand og bølgelængde.*

*Interferensstribernes antal divideret med 2 giver antallet af bølgelængder mellem spalterne.*



*Her er afstanden mellem bølgekilderne 4 bølgelængder, og der dannes 8 interferensstriber.*

## Interferensmønstre

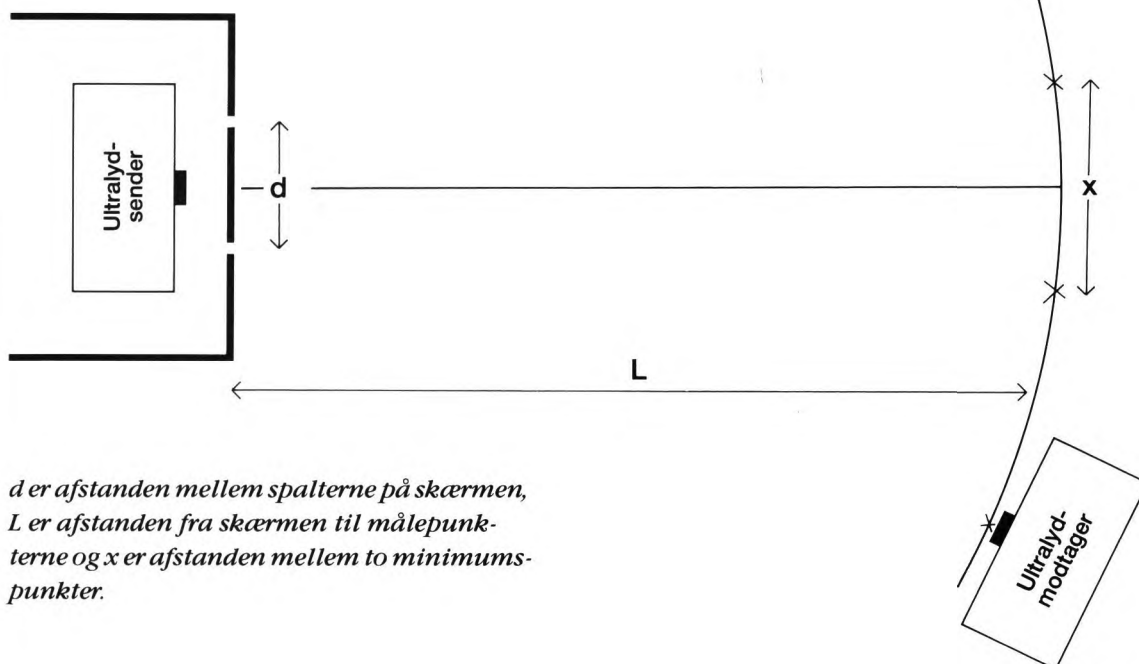
Vi kan se på bølgers interferensmønstre på en tegning.

Der laves en transparent af tegningen, og hvis transparenten lægges oven på tegningen, vil man kunne se interferensmønstrene.

Det har vi prøvet, og først blev transparenten placeret, så afstanden mellem centrene var ca. 1,4 cm.

Der dannes 4 interferensstriber.

Hvis afstanden mellem centrene bliver den dobbelte, får vi dobbelt så mange interferensstriber, nemlig 8.



*$d$  er afstanden mellem spalterne på skærmen,  $L$  er afstanden fra skærmen til målepunkterne og  $x$  er afstanden mellem to minimumspunkter.*

## Beregning af bølgelængde

Vi kan ud fra den måling, vi har lavet, nøjagtigt beregne bølgelængden for ultralyd. Der beregnes efter formlen:

$$\lambda = \frac{x \cdot d}{L}$$

$\lambda$  = bølgelængden (resultatet findes i cm)

$x$  = afstanden i cm mellem to minima

$d$  = afstanden mellem de to spalter i skærmen = 5,4 cm.

$L$  = afstanden fra skærm til målepunkt = 150 cm.

Ved forsøget finder man måske, at afstanden mellem to minimumspunkter er 25 cm. Beregningen vil så se således ud:

$$x = 25 \text{ cm}$$

$$d = 5,4 \text{ cm}$$

$$L = 150 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{25 \cdot 5,4}{150} \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,9 \text{ cm}$$

Bølgelængden for ultralydsignalet er så 9 mm.

## Beregning af ultralyd-frekvens

Vi har også en formel, hvormed vi kan finde ultralyd frekvensen, når vi kender bølgelængden.

I formelen indgår også den hastighed, hvormed ultralyd udbreder sig. Den er afhængig af rummets temperatur. Jo højere temperatur, jo større udbredelseshastighed.

Udbredelseshastigheden for ultralyd er den samme som for hørbar lyd. Det vil vi påvise ved en øvelse længere fremme i bogen. Ved 20° C er den ca. 344 m/s.

Frekvensformlen:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$f$  = frekvensen målt i Hz

$c$  = lydens hastighed

$\lambda$  = bølgelængden i meter

$c$  er ved 20°C = 344 m/s

$\lambda$  blev beregnet til 0,9 cm. Det svarer til 0,009 m.

Vi indsætter disse tal i formelen:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$f = \frac{344}{0,009}$$

$$f = 38.322 \text{ kHz}$$

Da frekvensen på ultralydsenderne kan varieres mellem ca. 38,5 kHz og 41,5 kHz, vil det resultat, I kommer til, ligge et sted her imellem.



## To ultralydsendere

Vi har set, at det virker, som om vi havde to ultralydsgeneratorer, når ultralydbølger fra en sender kommer ud gennem to spalter i en skærm. Da ultralyden kommer fra en sender, ved vi, at det, der kommer ud fra de to spalter, er ultralyd med samme frekvens og samme lydstyrke.

På Ultralydsender 1 er der på siden af modulet to telefonbøsninger. Det er udtag fra ultralydtransduceren i modulet. Hvis Ultralydsender 1 med to ledninger tilsluttes ultralyd sendetransducer, vil vi få sendt ultralyd ud fra de to transducere. Der vil blive sendt ultralyd på samme frekvens og med samme lydstyrke. Det vil svare til øvelsen, hvor vi sendte ultralyd gennem to spalter.

Stilles de to moduler helt sammen, er afstanden mellem transducerne 10 cm.

Der skal igen tegnes en cirkelbue med en radius på 1,5 m, og centrum skal være midt imellem de to transducere.

Med ultralydmodtageren kan det konstateres, at der er maksimum og minimum punkter som før. Lysdioden slukker på visse punkter, når ultralydmodtageren bevæges langs cirklen. Afstanden mellem disse minima er mindre end ved den tidligere øvelse. Det ser ud, som om afstanden er den halve.

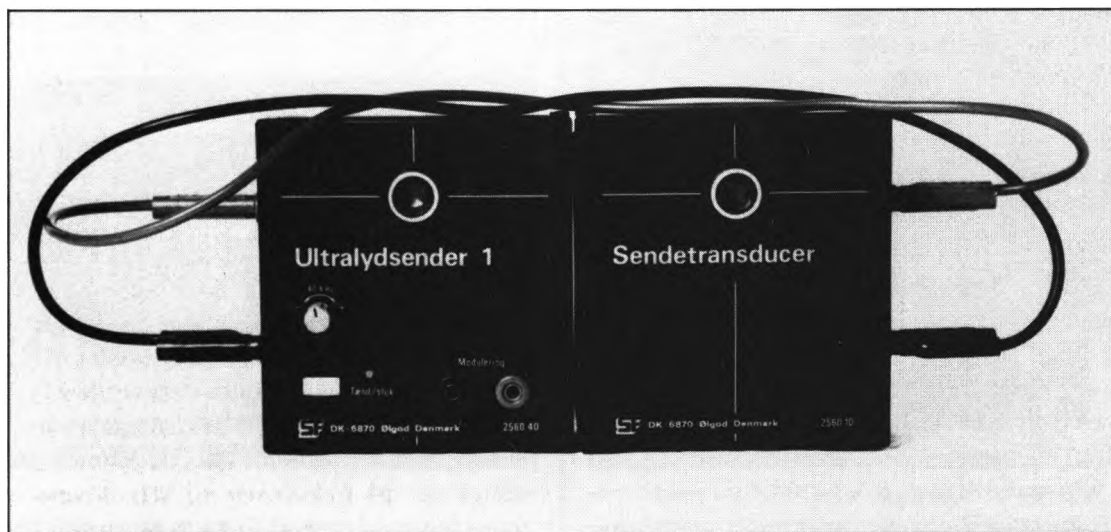
Det passer godt med teorien om interferensmønstre. Afstanden mellem spalterne i skærmen var 5,4 cm. Nu er afstanden mellem ultralydtransducerne 10 cm. Efter teorien skulle antallet af interferensstriber fordobles, når afstanden mellem lydgiverne blev den dobbelte.

Hvis et voltmeter (10 V) sluttes til ultralydmodtageren, kan vi helt nøjagtigt finde minimumspunkterne. Disse punkter markeres som før på cirkelbuen.

Ud fra formlen for bølgelængden kan denne nu beregnes:

$$\lambda = \frac{x \cdot d}{L}$$

Ved forsøg finder man måske, at afstanden, X,



*Hvis ultralydsenderen og sendetransduceren står helt tæt sammen, er afstanden mellem transducerne 10 cm.*

mellem to minimumspunkter er 13,5 cm.

Vi har så følgende data:

$X = 13,5 \text{ cm}$  (afstanden mellem minimumspunkter).

$d = 10 \text{ cm}$  (afstanden mellem transducerne).

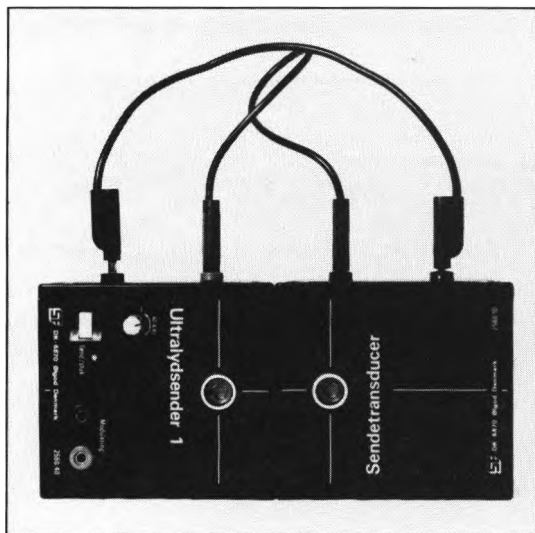
$L = 150 \text{ cm}$  (afstand fra transducer til målepunkt).

$$\lambda = \frac{13,5 \cdot 10}{150} \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,9 \text{ cm}$$

Ultralydmodul er lavet således, at afstanden mellem de to transducere bliver 5 cm, hvis modulerne lægges på siden med oversiden mod hinanden.

Der kan nu laves samme øvelse med måling af minimumspunkter. Afstanden mellem transducerne er nu den halve, og det kan med ultralydmodtageren konstateres, at der er halvt så mange interferensstriber. Afstanden mellem minimumspunkter er den dobbelte.



*Hvis ultralydsenderen og transduceren lægges på siden med oversiderne mod hinanden, vil afstanden mellem transducerne være 5 cm.*

Vi kan igen beregne bølgelængden for ultralyd, og resultatet skulle gerne blive som ved sidste øvelse.

Vi har disse data:

$$X = 27 \text{ cm}$$

$$d = 5 \text{ cm}$$

$$L = 150 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{27 \cdot 5}{150} \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,9 \text{ cm}$$

Med denne øvelse har vi eftervist teorien om, at antallet af interferensstriber bliver det dobbelte, når afstanden mellem lyd giverne (transducerne) fordobles.

Man kunne lave samme øvelse med to ultralydsendere. Man skal blot være sikker på, at de sender på nøjagtig samme frekvens, og at de sender med samme lydstyrke.

## Resonans – Svævning

Vi vil prøve at se, hvad der sker, når der sendes ultralyd fra to sendere, der ikke sender på samme frekvens. Til målingen bruges ultralydmodtageren med LF-forstærkeren koblet på.

Ultralydsender 1 indstilles til at sende på en frekvens lige under 40 kHz. Når strengen på drejeknappen står lige ud for strengen på modulet, sendes der på frekvensen 40 kHz. Knappen drejes lidt mod uret, så den står til venstre for strengen.

Ultralydsender 1 placeres nu ca. 2 m fra Ultralydmodtager + LF-Forstærker. Den røde lys-

diode på ultralydmodtageren lyser som tegn på, at der modtages ultralyd, men vi hører intet i højttaleren på LF-forstærkeren.

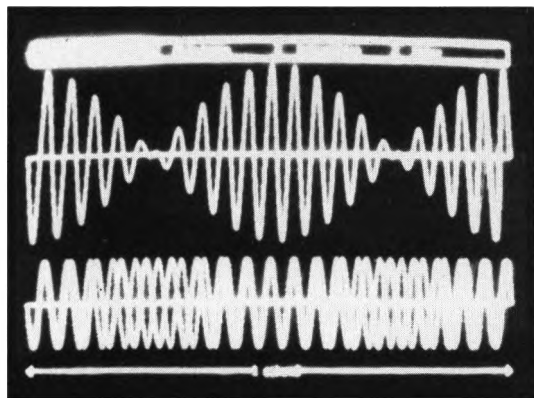
Ultralydsender 2 indstilles så på en frekvens lidt over 40 kHz. Modulet placeres ved siden af Ultralydsender 1, og der tændes for Ultralydsender 2. Nu høres der en tone i højttaleren. Ved at variere på drejeknappen på Ultralydsender 2 kan højden på den hørbare tone reguleres.

Når der drejes lidt til venstre for 40 kHz strengen, går den hørbare tone så langt ned i frekvens, at tonen ikke kan opfattes mere.

Nu er de to sendere i resonans. De sender på samme frekvens.

Det er ikke sikkert, at vi er kommet helt ned til resonanspunktet. Prøv at flytte lidt på ultralydmodtagerens placering, og måske kan der så høres en dyb tone. Modtageren var måske tilfældigt blevet placeret i et minimums interferenspunkt, og ved at flytte lidt på den kommer den hen i et punkt, hvor der er maksimum. Der kan så justeres til absolut resonans.

Hvis Ultralydsender 1 er indstillet på 39,5 kHz og Ultralydsender 2 på 40,5 kHz, vil der fremkomme en tone, som i vor specielle ultralydmodtager bliver detekteret og herefter forstærket op i LF-forstærkeren, så vi kan høre den. Tonens frekvens kan let beregnes:



På EDB programmet til denne bog kan man se svævning. På billedet ses øverst to svingninger med næsten samme frekvens. Nederst ses billedet af signalet, der varierer i styrke.

$$f = 40,5 \text{ kHz} - 39,5 \text{ kHz}$$

$$f = 1 \text{ kHz}$$

Hvis ultralydsenderne indstilles til nøjagtigt disse frekvenser ved hjælp af en frekvenstæller, vil vi høre den 1 kHz tone, vi kender fra fjernsynets prøvebillede.



Slås den ene stemmegaffel an, vil den anden begynde at svinge med, da den er lavet til nøjagtig samme frekvens. Det er resonans. Hvis der sættes en bøjle på den ene stemmegaffel, ændres dens frekvens en smule. Slås nu begge stemmegaffler an, vil vi høre en tone med varierende styrke. Dette fænomen kaldes svævning.

## Ultralydalarm

På ultralydmodtageren er der over tænd/sluk knappen en anden knap. Når den er ude, virker apparatet som ultralydmodtager. Det er på den måde, vi hidtil har brugt apparatet.

Trykkes knappen ind, har vi fået en alarmmodtager. Nu lyser den røde lysdiode ikke, når der modtages ultralyd. Hvis noget bevæger sig i lokalet, vil det registreres ved, at lysdioden lyser eller blinker.

Der sker det, at ultralyden går to veje fra senderen til modtageren. Dels går den direkte vej, men hvis noget bevæger sig i lokalet, vil denne genstand eller person reflektere ultralyden, og bevæger genstanden sig mod eller væk fra modtageren, vil den reflekterede ultralyd nå modtageren før eller senere end den direkte modtagne ultralyd. Denne tidsforskel registreres af et elektronisk kredsløb i alarmmodtageren.

Ultralydmodtageren er uhyre følsom, og selv den mindste bevægelse vil blive registreret, og for at demonstrere denne alarmfunktion er det nødvendigt at dreje ned for modtagerens følsomhed.

Som tyverialarm må enheden heller ikke være så følsom, at blafrende gardiner kan udløse en alarm.

Et voltmeter kan sluttet til alarmmodtageren, og bevægelser i lokalet kan så registreres på måleinstrumentet. Er der ingen bevægelse, vil voltmeteret vise 0 volt, og det vil ved mindste bevægelse give udslag.

## Registrering med lyd

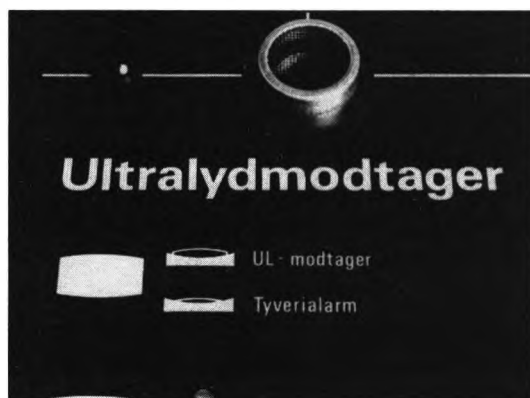
I stedet for at have voltmeteret sluttet til ultralydmodtageren kan man sætte LF-forstærkeren på. Nu kan bevægelser registreres med lyd. Man kan "høre", om nogen bevæger sig i lokalet.

Ultralydsenderen placeres ved siden af modtageren, der er i alarmstilling. Føres en hånd langsomt hen mod apparaterne, høres en dyb tone. En hurtigere bevægelse registreres som en højere tone. Vi kan konkludere, at jo højere tone der høres, jo hurtigere er den registrerede bevægelse.

Man kan beregne, hvor høj tonen bliver, hvis man indsætter tal i denne formel:

$$\Delta f = 2 \cdot f \cdot \frac{v}{V_a}$$

$\Delta f$  læses "delta f", og det er frekvensskiftet eller frekvensen for den tone, der høres.



*Trykkes der ind på øverste knap på ultralydmodtageren, kan denne sammen med LF Forstærkeren bruges til at registrere bevægelser.*



$f$  er frekvensen for ultralydsenderen.  
 $v$  er den hastighed, genstanden bevæger sig med.

$V_a$  er ultralyds udbredelseshastighed i fri luft. Den er den samme som lydets hastighed, og ved  $20^\circ$  er den ca. 244 m/s.

Beregning:

Vi bruger følgende tal:

$f =$  ultralydfrekvensen. Vi har sat frekvensknappen på senderen på 40 kHz.  $f$  er så 40.000 Hz.

$v$ : Genstanden bevæger sig f. eks. fremad med 5 km/h. Det er 5.000 m/h eller ca. 1,39 m/s.

$v = 1,39$  m/s

$V_a = 344$  m/s

$$f = 2 \cdot 40.000 \cdot \frac{1,39}{344} \text{ Hz} = 323 \text{ Hz}$$

Tonen, vi vil høre, vil være 323 Hz.

Med apparatet kan der registreres frekvenssving fra 5 Hz til 1 kHz. Det svarer til bevægelser fra 0,02 m/s til 5 m/s eller 0,072 km/h til 18 km/h.

## Politiradar

Det radarudstyr, som politiet bruger til registrering af hastighedsovertrædelser, fungerer efter samme princip som det apparatur, vi bruger. I stedet for at udsende ultralyd udsendes radiobølger på en meget høj frekvens. Apparatet registrerer tidsforskellen mellem det sig-

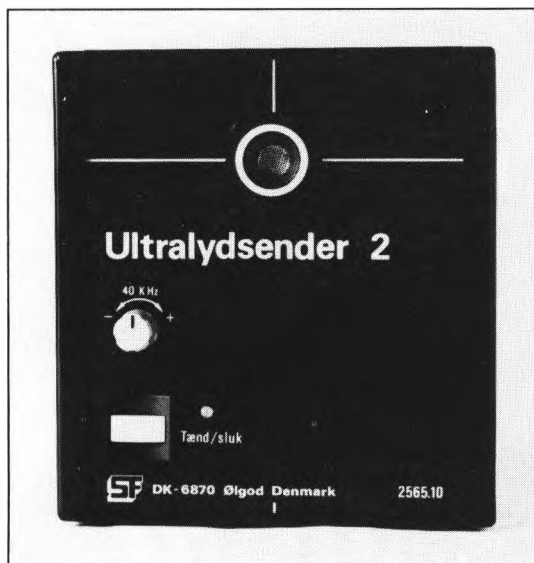
*Ved hjælp af radarbølger kan politiet måle hastigheden på bilerne, der kører på vejen under broen. Man kan på samme måde måle hastigheder på bevægelser ved hjælp af ultralyd.*



nal, der reflekteres af stillestående genstande, og det signal, der reflekteres af en hurtigtgående bil. En indbygget computer udregner så bilens hastighed, og resultatet skrives ud på en printer.

## Dopplereffekt

Ultralydsender 1 og Ultralydsender 2 placeres ved siden af hinanden. Et par meter derfra anbringes Ultralydmodtager med LF-Forstærker monteret på og med transduceren vendt mod senderne. Ultralydsender 1 indstilles på en frekvens under 40 kHz. Der tændes for apparaterne. Ultralydsender 2 indstilles på en frekvens



*Ultralydsender 2 adskiller sig fra Ultralydsender 1 ved, at der ikke er telefonbøsninger med tilslutning til transduceren og til modlæring.*

lidt over 40 kHz, så der kommer en interferenstone i højttaleren på ca. 1 kHz.

Nu flyttes begge sendere hen mod modtageren. Interferenstoneen forbliver uændret.

Det gør den også, hvis Ultralydsender 1 og Ultralydsender 2 samtidig flyttes væk fra modtageren.

Vi skal så prøve at flytte en af senderne. Vi lader Ultralydsender 2 blive på plads og flytter Ultralydsender 1 hen mod modtageren. Det resulterer i en interferenstone lavere end før.

Hvis Ultralydsender 1 bevæges væk fra modtageren, høres en interferenstone med højere frekvens.

Vi kan undersøge fænomenet nærmere ved at lade Ultralydsender 1 stå fast og flytte på Ultralydsender 2. Vi får nu det modsatte resultat. Når Ultralydsender 2 bevæges nærmere modtageren, stiger interferensfrekvensen, og den falder, når Ultralydsender 2 bevæges væk fra modtageren.

*Når en lydkilde bevæger sig, vil den bale ind på sin egen lyd. Den person, som lytter, vil høre lydets frekvens højere, når lydkilden nærmer sig, og lavere, når lydkilden fjerner sig.*

Fænomenet kaldes dopplereffekt, og vi kender det fra trafikstøj. Det eksempel, vi kender bedst, er variationen i lyden fra et udrykningskøretøj. Når køretøjet nærmer sig det sted, hvor vi står, får vi en højere tone. Når køretøjet passerer os og kører væk fra os, hører vi en lavere tone.

Vi kan forklare det, hvis vi siger, at sirenen har en fast tone på 1000 Hz. Når køretøjet kører mod os, vil vi få mere end 1000 svingninger pr. sekund. Køretøjet haler ind på sin egen lyd. Vi hører en højere tone.

Når køretøjet kører væk fra os, trækkes tonen ud. Der når ikke 1000 svingninger pr. sekund frem til os, da lydtrykkene skal bevæge sig længere vej. Resultatet bliver en lavere tone.

*Når et udrykningskøretøj nærmer sig det sted, hvor man står, bliver signalets tone højere, og når køretøjet fjerner sig, bliver tonehøjden lavere.  
Det kaldes dopplereffekt.*

Fra jetjagere kender vi udtrykket, at den gennembryder lydmuren.

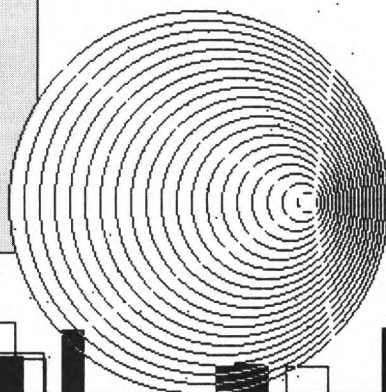
Hvis jetjagerens fart er større end eller lig med lydens fart, vil der opstå en trykbølge, der høres som et brag, efter at lydkilden er passeret. Jetjageren har gennembrudt lydmuren. Lydmuren ligger ved 1220 km/h i normal flyvehøjde.



*Hvis en jetjagers fart bliver større end lydens hastighed, siger man, at den gennembryder lydmuren. Det høres som et mægtigt brag. Af hensyn til de skader, der kan opstå, må piloterne ikke gennembryde lydmuren over land, og denne F-16 er da også på en fredelig sightseeing tur over Bornholm.*

*Hvis lydkildens fart er større end eller lig med lydens fart, vil der opstå en trykbølge, der høres som et brag, efter at lydkilden er passeret. Lydkilden har gennembrudt lydmuren.*

*Lydmuren ligger ved 1220 km/h i normal flyvehøjde.*



*Dopplereffekt kan også vises med det EDB program, der hører til denne bog. Her ses lydbølgen fra et fly, der passerer en by.*

## Dopplereffekt ved lys

Dopplereffekten, der har fået navn efter den østrigske fysiker Johann Christian Doppler, finder sted ved enhver bølgebevægelse, hvor bølgekilde og iagttager bevæger sig i forhold til hinanden. Det gælder således også for lys.

Hvis man måler på lyset fra en stjerne og sammenligner med stillestående lys på jorden, kan man måle stjernens radialhastighed. Det er dens hastighed bort fra os eller hen imod os.

Frekvensen for lys fra en stjerne, der nærmer sig, vil forskydes mod en højere frekvens. Det er mod violet.

Frekvensen for lys, der fjerner sig, vil blive mindre, og lyset forskydes mod rødt.

Ved at måle på violet- og rødforskydningen i lyset fra et himmellegeme, kan man bestemme himmellegemets radialhastighed.

## Musik over ultralyd

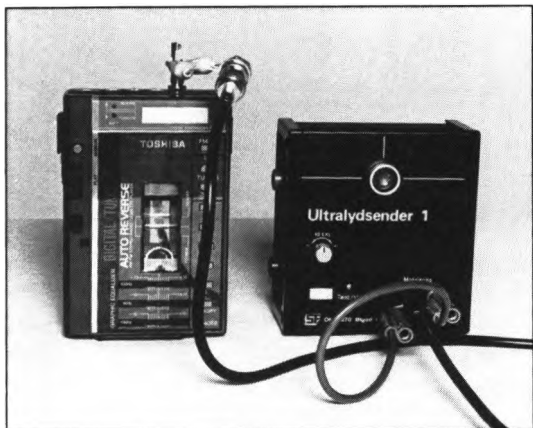
På Ultralydsender 1 er der to telefonbøsninger mærket Modulation. En sinusgenerator sluttes til disse to bøsninger. Er sinusgeneratoren indstillet på 1000 Hz, vil der i en ultralydmodtager med LF-forstærker kunne høres en tone på 1000 Hz.

Hvis der varieres på frekvensen på sinusgeneratoren, høres ændringerne i LF-forstærkerens højttaler. Vi har overført tonerne gennem luften via ultralyd.

Ultralydsender 1 er en sender, der udsender en konstant tone på 40 kHz. Vi kan ikke opfatte denne ultralyd, men med sinusgeneratoren kan vi modulere ultralyden. Vi overlejrer her ved den udsendte ultralyd med en anden, lavere tone.

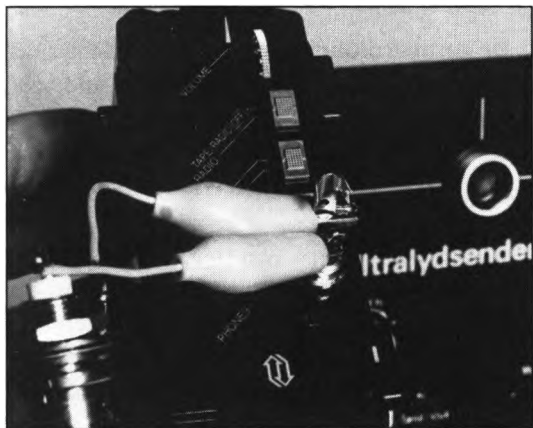
Når ultralyden kommer til ultralydmodtage-





*En walkman kan tilsluttes en ultralydsender, og musikken kan "sendes" over ultralyden.*

*Herunder ses i nærbillede, hvordan walkman'en tilsluttes ultralydsenderen. I stedet for hovedtelefoner sættes et jackstik på walkman'en. To ledninger sættes fra jackstikket over til telefonbøsningerne mærket "Modulering". Der skal bruges et skærmet kabel.*



ren, bliver den detekteret. 1000 Hz tonen udskilles fra ultralyden, bliver forstærket op i forstærkeren og kan høres over højttaleren.

Det går bedst med at overføre de dybe toner. De højeste toner går svagere igennem.

Musik kan også overføres med ultralyd.

En walkman sluttes til Ultralydsender 1 til modulationsbøsningerne. Walkman'en skal normalt tilsluttes et par hovedtelefoner med et

minijackstik. Man kan derfor bruge et minijackstik med to ledninger, der hver ender i et bananstik, til at slutte en walkman til Ultralydsender 1.

Vi kan høre musik overført med ultralyd. Kvaliteten er ikke for god, men det er da musik.

Holdes en hånd for en af transducerne, afbrydes musikken.

Musikken afbrydes også, hvis man går mellem sender og modtager.

## Ultralydkontakt

Et særligt modul i apparatserien til denne bog hedder Relæ. Det indeholder en kontakt, hvorved vi kan tænde/slukke for et elektrisk kredsløb.

Når Relæet modtager en impuls, tændes der for det tilsluttede apparat. Næste impuls slukker for apparatet.

Ultralydsender 1 placeres et par meter fra ultralydmodtageren. Relæmodulet sættes på ultralydmodtageren.

På relæmodulet er der diagramtegning over relæets elektriske funktion.

Til de to telefonbøsninger til venstre kan der sluttes 6 V=. En glødelampe, 6 V – 1 A, sluttes til de to telefonbøsninger til højre.

Nu kan vi på afstand tænde/slukke for glødelampen.

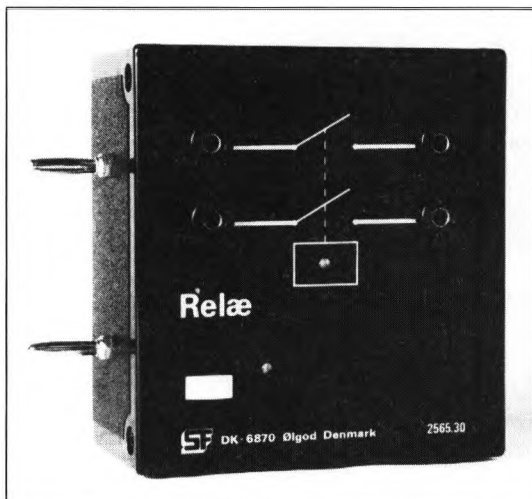
Glødelampen kan erstattes af et andet elektrisk apparat.

Sættes en el-motor på, kører den, når der trykkes på Ultralydsender 1 på ON. Ved næste tryk standser motoren. Relæet tåler at blive tilsluttet 220 V~, og apparatet kan bruges til

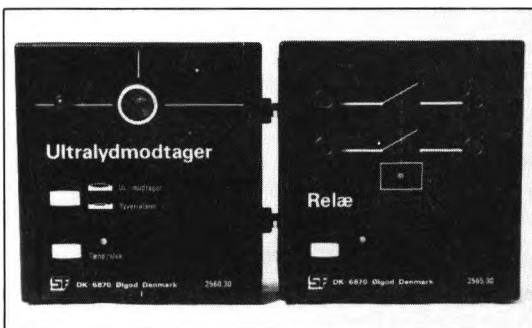


fjernbetjening af TV-apparat, radio og lignende.

Det var forøvrigt også ultralydsendere, man brugte til de første fjernbetjeninger til TV-apparater. Nu er man gået over til at bruge infrarødt lys.



*Et relæ er en elektrisk kontakt. Hvis relæmodulet kobles på ultralydmodtageren, kan man tænde for elektriske apparater ved hjælp af ultralydsenderen. Et tryk vil tænde. Det næste vil slukke.*



*Hvis de to telefonbøsninger til venstre tilsluttes 6 V og en 6 V glødelampe tilsluttes de to telefonbøsninger til højre, kan der tændes og slukkes for glødelampen med ultralydsenderen.*

## Ultralyds udbredelsesfart

Vi er i alle forsøg gået ud fra, at ultralyd udbreder sig med samme fart som hørbar lyd. Vi kan måle ultralyds udbredelsesfart meget nøjagtigt med en elektronisk tæller.

Tælleren har en mikrofoningang, hvor man med lyd kan starte tællere, og en mikrofoningang, hvor lyd kan standse tælleren.

Tælleren sættes i positionen x10.

To mikrofoner sluttes til start- og stopindgang. Når der kommer lyd til mikrophon 1, starter tælleren, og tiden vises i sekunder med 4 decimaler. Tælleren bliver ved at løbe, til der kommer lyd til mikrophon 2.

De to mikrofoner placeres nu nøjagtigt 1m fra hinanden, og fra nogle meters afstand sendes en startlyd mod mikrofonerne. Der skal bruges en god lyd giver. Et par stykker bøgetræ, der slås mod hinanden, giver "god" lyd.

Hvis tælleren som på tegningen viser 0,0029, betyder det, at der er gået 0,0029 sekund fra det øjeblik, lyden fra klaptræet ramte den første mikrophon og startede tælleren, og til lyden nåede frem til den anden mikrophon og standsede tælleren.

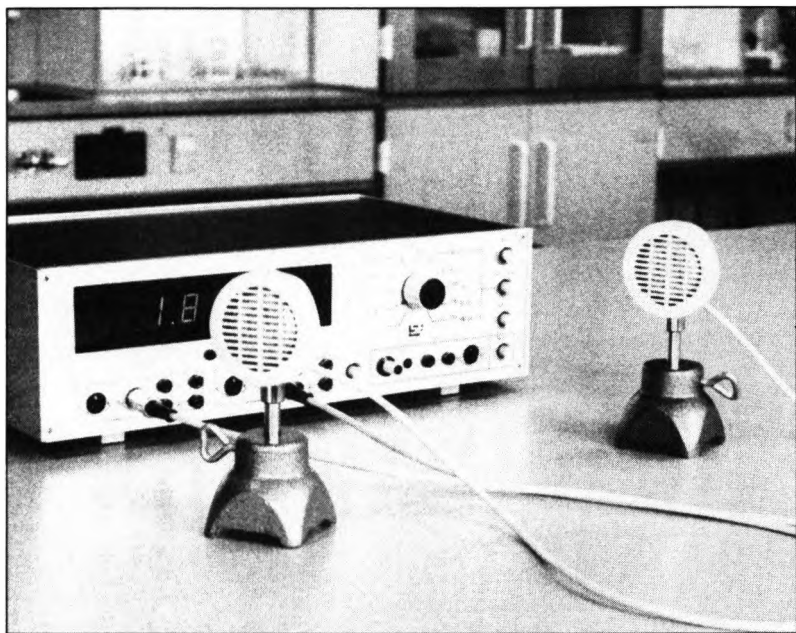
Beregning:

$$\begin{array}{l} \text{På 0,0029 s går lyden} \quad 1 \text{ meter} \\ \text{På 1 sekund går lyden} \quad \frac{1}{0,0029} = 345 \text{ meter} \end{array}$$

Forsøget viser, at lydens hastighed er 345 m/s.

Vi kan nu gentage forsøget med ultralyd.

På afstand tændes for en ultralydsender. Der sker intet.



*Lydens udbredelsesfart kan måles med denne opstilling, hvor to mikrofoner er tilsluttet en elektronisk tæller. Forsøget kan gøres bedre med ultralyd.*



*Hvis to ultralydmodtagere sluttet til en elektronisk tæller, kan man med denne opstilling måle ultralyds udbredelsesfart. De to modtagere er placeret 1 meter fra hinanden. Et stykke derfra tændes for en ultralydsender. Når ultralyden når den første modtager, starter tælleren, og den standser igen, når ultralyden når den anden modtager.*

Mikrofonerne kan ikke opfange ultralyd.

I stedet for mikrofonerne sluttet nu to ultralydmodtagere til start og stop mikrofonindgangen. Der er lavet et specielt kabel med DIN-stik til tilslutning til tæller og banastik til tilslutning til telefonbøsningerne på ultralydmodtageren.

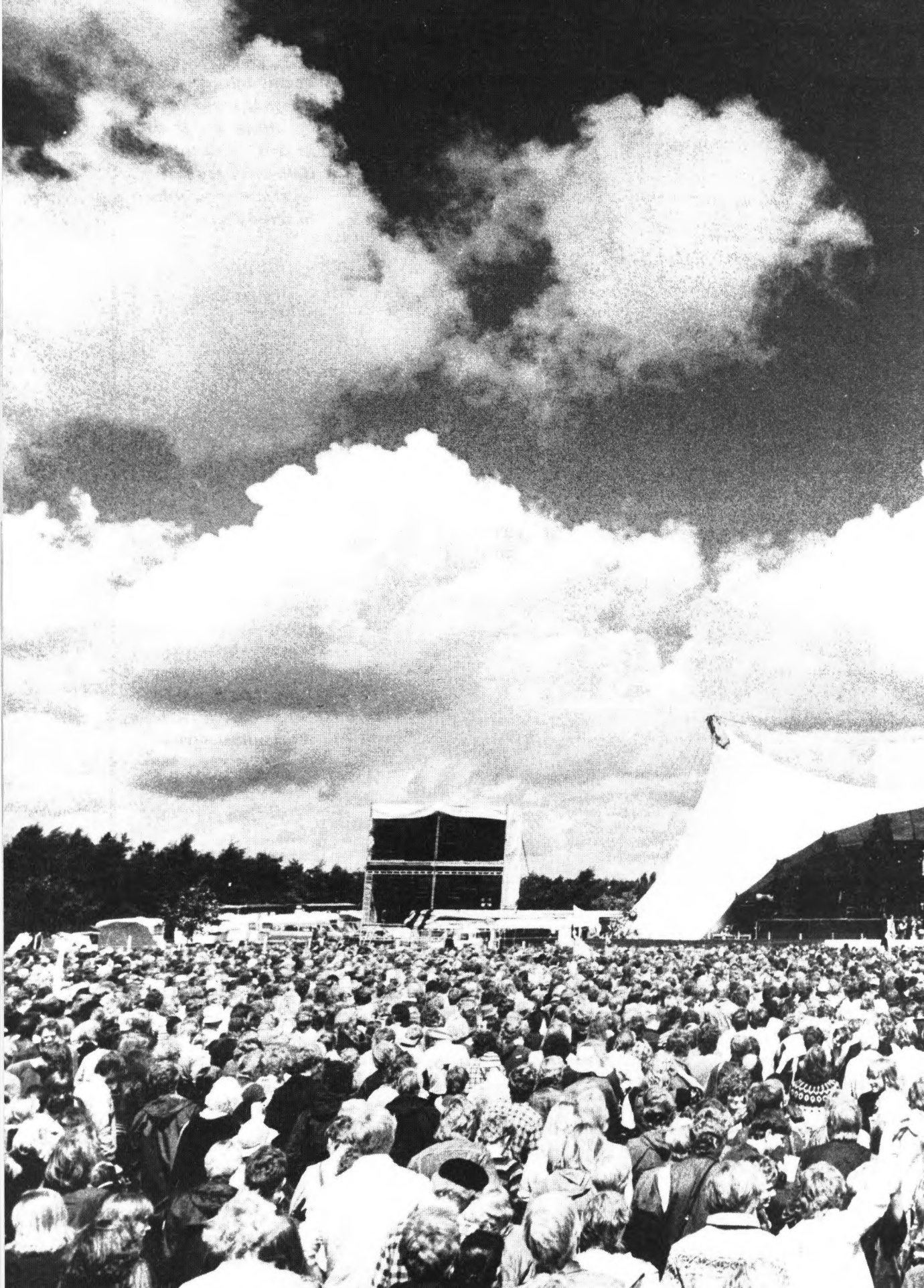
Vi kan først prøve at tilslutte en "start"modtager. Man kan så vise, at fløjt, råben o.l. ikke kan starte tælleren. Kun ultralyd kan. Dvs. vi

kan starte tælleren med nøgleraslen.

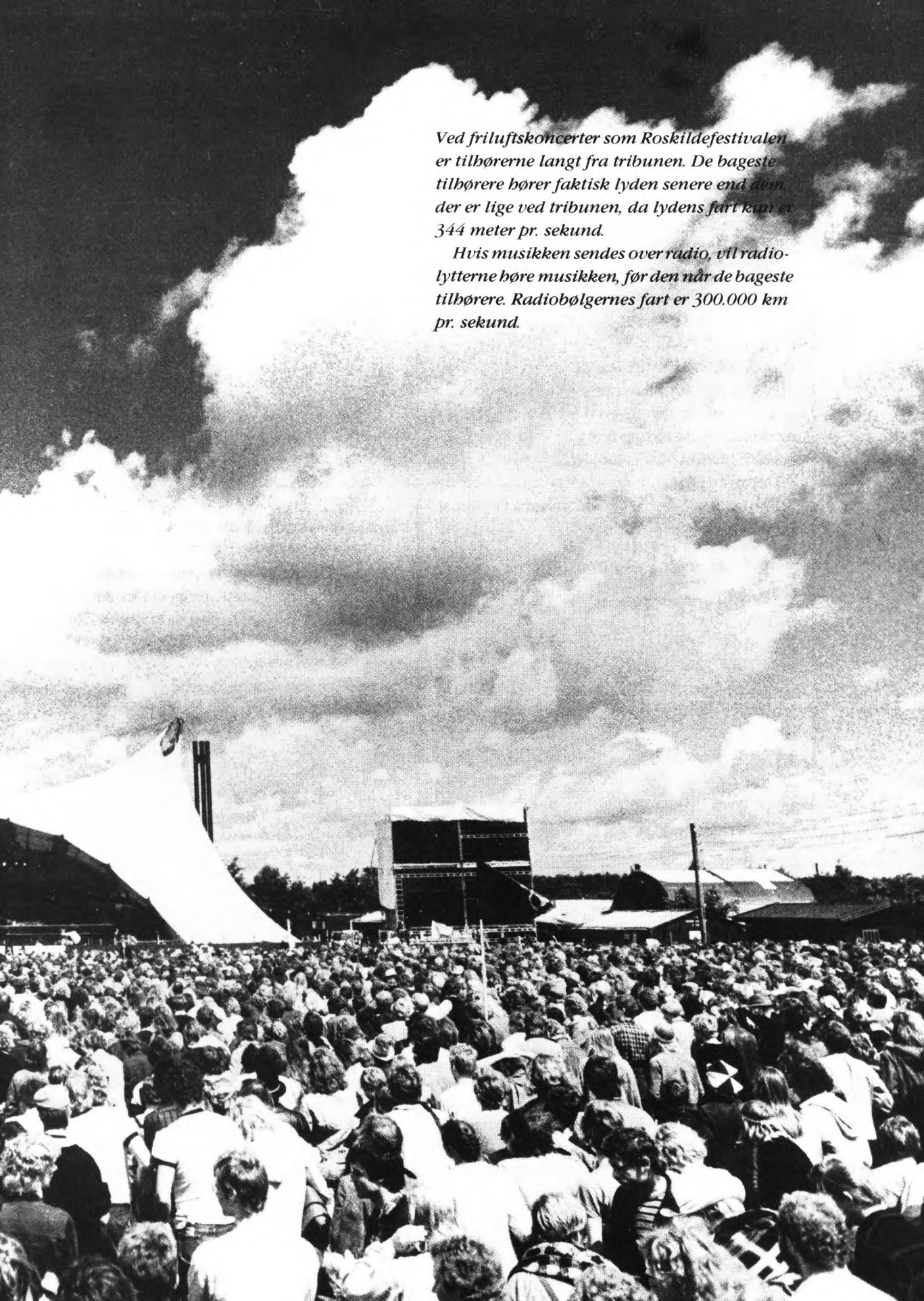
Vi gør klar til forsøget og placerer de to ultralydmodtagere, så afstanden mellem deres forsider er nøjagtig 1 meter.

På nogle meters afstand startes en ultralydsender, og tælleren viser nu samme resultat som før: 0,0029 s.

Vi havde ret i vor formodning. Ultralyd udbreder sig med samme fart som hørbar lyd.





A black and white photograph of a large crowd at an outdoor festival. The crowd is seen from behind, filling the foreground and middle ground. In the background, there are festival structures, including a large white tent on the left and a stage area with scaffolding in the center. The sky is filled with large, dramatic clouds.

*Ved friluftskonserter som Roskildefestivalen er tilhørerne langt fra tribunen. De bageste tilhørere hører faktisk lyden senere end dem, der er lige ved tribunen, da lydens fart kun er 344 meter pr. sekund.*

*Hvis musikken sendes over radio, vil radiolytterne høre musikken, før den når de bageste tilhørere. Radiobølgenes fart er 300.000 km pr. sekund.*

## Anvendelse af ultralyd

Ultralyd anvendes til mange ting i industrien og inden for sundhedsvæsenet. Der findes hele tiden frem til nye anvendelsesområder, og forskning og udvikling foregår bl.a. på Medico-teknisk Institut i Glostrup. Når man der har udviklet nyt apparatur, overlades produktion og salg til private firmaer, og man forsker videre med nye ideer.

### Påvisning af materialefejl

Ultralyd bruges til at finde frem til materialefejl i metaller og andre stoffer.

Det er ikke noget nyt, at man kan bruge hørbar lyd til materialeundersøgelser. Banker man på en glasskål, kan man på lyden høre, om skålen er revnet, og denne metode bruges i praksis hos DSB. Man ser ofte en jernbanemand gå langs en togstamme og slå på hjulene med en hammer. Hvis der er fejl i hjulbandagen, kan han høre det.

Det er kun grove fejl, man kan finde frem til på denne måde. Ved at anvende ultralyd kan man på grund af det høje svingningstal og den mindre bølgelængde meget bedre påvise fejl.

Man bruger to metoder. Den mindst anvendte består i, at man anbringer en ultralyd-sendetransducer på den ene side af det materiale, man vil undersøge, og en ultralydmodtagertransducer på den anden side. Sender og modtager sluttes til et oscilloskop, og der sendes en ultralydimpuls gennem materialet. Den kan ses på oscilloskopet. Når den modtages af den anden transducer, kan man også se denne impuls på oscilloskopet.

Hvis der er revner inde i materialet, der måles på, vil hele ultralydsignalet bremses.

Det er mere anvendt at anbringe sendetransducer og modtagertransducer på samme side af materialet. Hvis materialet er fejlfrit, vil ultralyden gå gennem materialet, ramme bagsiden og reflekteres tilbage gennem materialet igen.

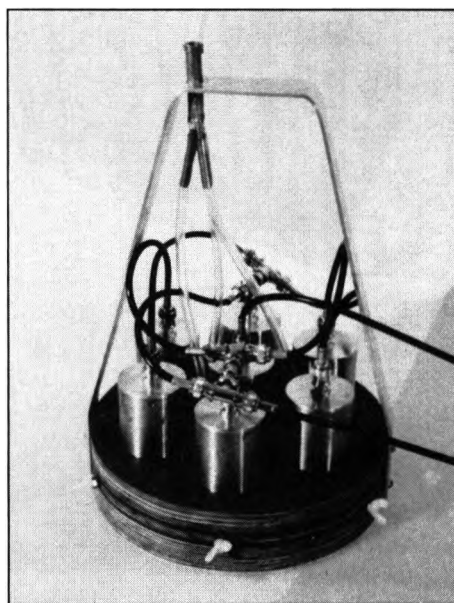
Hvis impulsen rammer en revne i materialet, vil den reflekteres herfra, og det kan ses på oscilloskopet.

Denne metode kaldes impuls-ekkometoden, og man kan indstille apparatet til at måle på materialetykkelser fra 2 mm til 10 meter.

Ved at bruge ultralyd ved høje frekvenser kan man finde frem til meget små fejl. Luftspalter, som forårsager refleksioner, behøver kun at være 1/10.000 mm, for at de kan registreres.

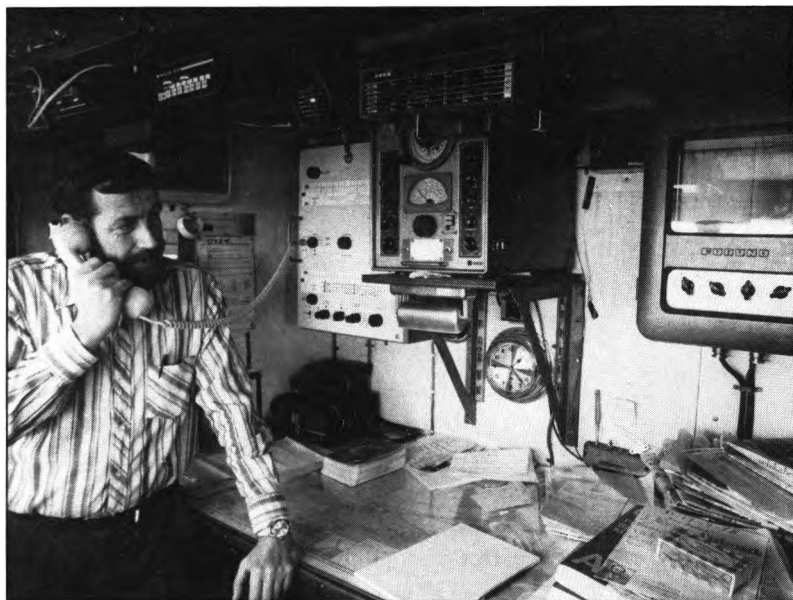
### Tykkelsesmåling

Impuls-ekkometoden bruges i stor udstrækning også til tykkelsesmålinger. Det kan være tykkelsen af en spunsvæg i et havnebassin,



*Denne kraftige ultralydtransducer bruges til måling af vejbelægningens tykkelse på motorveje.*





*Med ekkolod kan man "se" havbunden og se, hvor fiskene er. Fra skibet sendes en lydbølge ned i vandet, og der måles på den tid, der går, inden det reflekterede signal kommer tilbage. Apparatet kan indstilles til forskellige havdybder, så man kan få "nærbilleder" af det, der ser interessant ud.*

godstykkelsen i en stålskorsten eller vejbelægningen på en motorvej. Princippet er det samme som anvendes i et ekkolod til at finde havdybden og den dybde, fiskene står i.

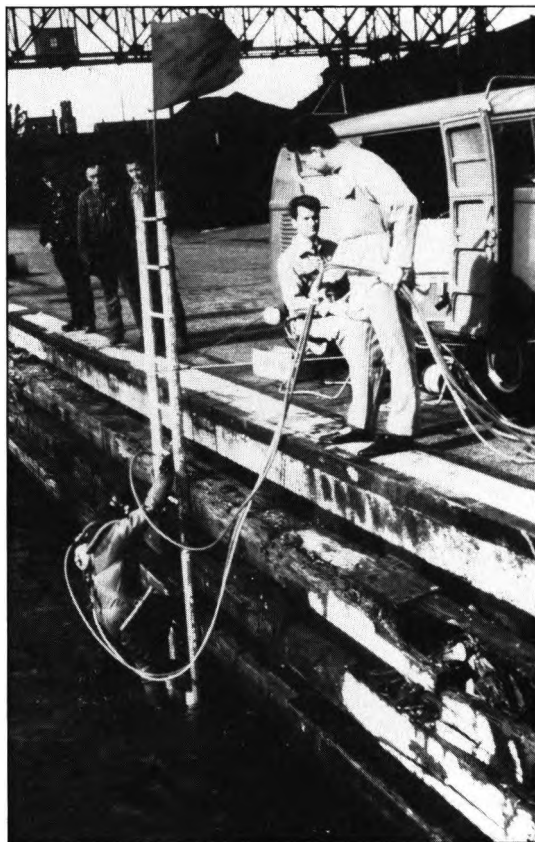
Ved målinger på stål anvender man ultralyd ved en frekvens på 4 MHz. Det er 4 mio. svingninger pr. sekund. Ved denne frekvens bevæger ultralyd sig i stål med en fart på 6 km/s.

Man kan også måle på dæk til forskellige køretøjer ved hjælp af ultralyd. Her anvendes målingerne især ved kontrol af slitage på dæk til flyvemaskiner. Ved start og landing udsættes flydæk for en kolossal påvirkning, og hyppig kontrol af dækkene er derfor nødvendig. Med ultralyd kan man konstatere, hvor slidt et dæk er, og udskifte det, inden der sker en katastrofe.

### Svejskontrol

Ultralyd bruges meget til kontrol af svejsninger. Når to stålrør svejses sammen, skal man være sikker på, at der ingen utætheder er, og at svejsningen er uden fejl.

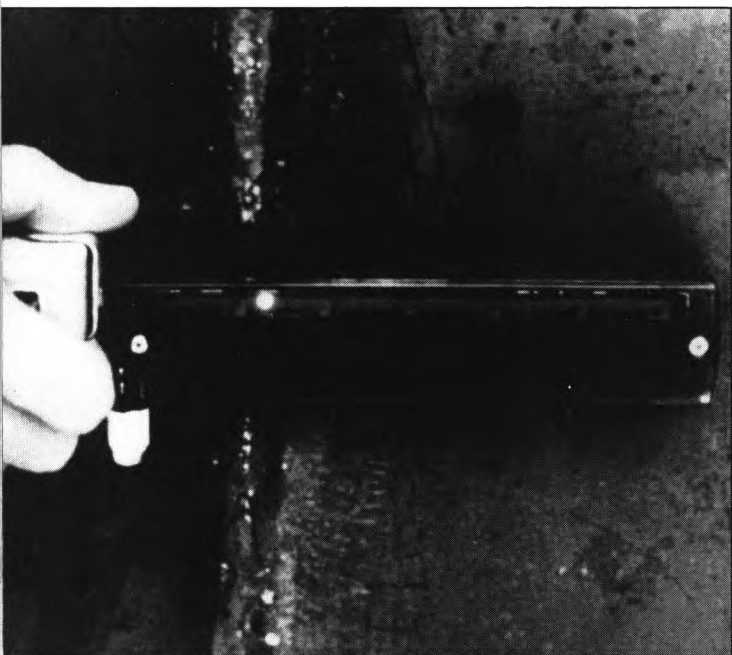
Rørene til naturgasnettet bliver naturligvis prøvet ved højt tryk, men det er ikke kontrol nok. Når først røret er gravet ned, er det en betydelig og vanskelig opgave at foretage en re-



*Metaltykkelser kan måles med et ultralyd-apparat. Her er en dykker på vej ned i havnebassinet for at måle spunsvæggens tykkelse.*



*På rørledningerne til naturgassystemet er det af stor vigtighed, at alle dårlige svejsninger er fundet, inden rørene bliver gravet ned. Her kontrolleres svejsesømmen med ultralyd.*



*Man behøver ikke at slibe svejsningen plan for at måle på den. På dette apparat er sendetransduceren på den ene side af svejsesømmen og modtagetransduceren på den anden side.*

paration, så man undersøger forinden alle svejsninger med røntgen og ultralydmålinger.

Ultralydsenderen bevæges langs svejsesømmen, og ultralyd sendes skråt ned gennem svejsesømmen, og refleksionen modtages på den anden side af svejsesømmen.

## **Til terapi og diagnose**

I sundhedssektoren er der en udstrakt anvendelse af ultralyd både til behandling, terapi, og til undersøgelse, diagnose.

Hvis en fodboldspiller bliver sparket hårdt på en muskel, behandles han med ultralyd, og han bliver hurtigt spilleklar igen.

Det er dog inden for diagnostikken, den store anvendelse af ultralyd finder sted.

Man kan scanne ved hjælp af ultralyd. Det vil sige, at der anbringes et ultralydhoved på kroppen af patienten. Ultralydhovedet indeholder en sende- og en modtagetransducer. Der udsendes hele tiden ultralyd, og det reflekterede signal modtages og omsættes til et videosignal, der kan ses på en skærm. Med ultralyd kan man således "se" gennem patienten, og det sker vel at mærke uden gener og uden skadevirkninger.

## **Scanning af gravide**

Man kan ikke undersøge gravide med røntgen, men ultralydscanning er meget anvendt, især hvis der ventes tvillinger.

Ultralydscanning bruges også til at konstatere nyresten og leverskader og til at finde svulster. Opstår der en svulst, godartet eller en ondartet, kan den ses ved en ultralydscanning. Lydhastigheden er forskellig gennem svulster og almindeligt væv, og alle skilleflader reflekteres af ultralyd.

## **Nyrestensknuser**

Nyresten består af forskellige stoffer, der på en eller anden måde udskilles i urinvejene. Stofferne kittes sammen til en klump, en sten, og



*Hvis en fodboldspiller bliver sparket hårdt på en muskel, behandles han med ultralyd, og han bliver hurtigt spilleklar igen. Man bruger ultralyd på en meget uvidenskabelig og ukontrollabel måde, og det vides ikke, om ultralyden kan give skader.*

små sten kan passere gennem nyre og urinveje. Det er meget skarpe sten, der kan ridse på deres vej, og derved fremkommer der blod i urinen. Det giver også voldsomme smerter, når en sådan sten passerer.

Stenene kan være så store, at de ikke kan passere nyren, og der må så opereres. Det er en stor operation, men her kan ultralyd også hjæl-

pe i et apparatur, der kaldes en nyrestenskuser.

I en cirkel er der et centrum. Tegner man en kurve med to centre, får man en ellipse. De to centre kaldes brændpunkter. Nyrestensknuseren er opbygget som en ellipse. I det ene brændpunkt er der anbragt en chockgenerator, og ved hjælp af en indbygget ultralydscan-



ner placeres nyrestensknuseren, så nyrestenen befinder sig i ellipsens andet brændpunkt. Inde i apparatet er der vand.

Så udløses der i det ene brændpunkt en meget stor elektrisk gnist, og der opstår en chockbølge, der samler sig i det andet brændpunkt. Her er nyrestenen. Den har stor massefylde og kommer i voldsomme svingninger, hvorved den opløses.

Patienterne føler det, som om de er blevet slået mange gange med en flad hånd. De er blevet befriet for en alvorlig smerte fra nyrestenen og har undgået en stor operation.



*Nyrestensknuser i funktion. Denne dansk-udviklede maskine lokaliserer nyrestenen og pulveriserer den, og patienten slipper for et operativt indgreb.*

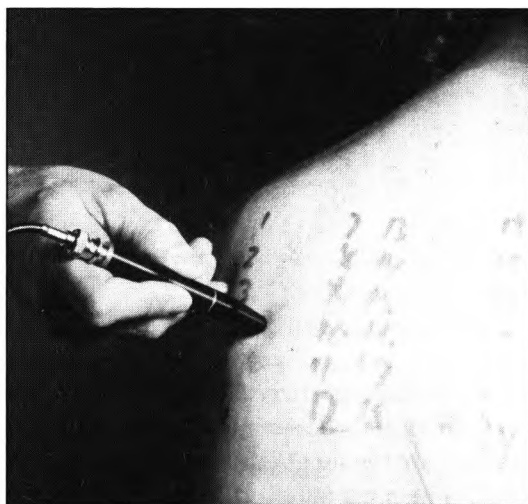
## Hudtykkelse

Med ultralyd kan man måle hudtykkelse helt nøjagtigt. Hudens tykkelse ligger mellem 1,2 mm og 1,4 mm, og de apparater, man bruger, viser hudtykkelsen med digitale tal og med 1/100 millimeters nøjagtighed.

Ved visse sygdomme sker der en hudfortykkelse, og den har man før haft svært ved at konstatere. Mest anvendt er hudtykkelsesmålingerne ved allergitester. Er man allergisk, dvs. overfølsom, over for et eller andet stof, må det konstateres, hvilket stof man ikke kan tåle.

Ved en allergitest påføres man en række stoffer, som man ved, kan fremkalde allergi. Man kan f.eks. som på billedet prøve med 24 forskellige stoffer. De nummereres, så man kan huske, hvilke stoffer der er påført hvor.

Er man allergisk over for et af stofferne, vil huden fortykkes eller blive rød. Bliver huden rød, er det ikke et problem at se det, men uden en hudscanner er det ikke muligt at konstatere små hudfortykkelser.



*Er man allergisk – overfølsom – over for noget, kan man ved en allergitest undersøge, hvilke stoffer man skal passe på. Her er patienten blevet udsat for 24 forskellige stoffer. Er man allergisk over for et stof, bliver huden tykkere, og med denne hudscanner, der arbejder med ultralyd, kan hudtykkelsen måles med 1/100 mm nøjagtighed.*

## Skadevirkninger ved ultralyd

Når man ved terapi, behandling af muskelskader m.v., behandler med ultralyd, gøres det ofte på en meget uvidenskabelig og ukontrollabel måde. Det vides ikke, om det kan give skader, og det er meget store effekter, der her arbejdes med, og behandlingen sker ved lave frekvenser.

Helt anderledes er det med ultralyd anvendt til undersøgelser. Det er meget små effekter, man arbejder med, og ingen undersøgelser tyder på, at gravide på noget tidspunkt har taget skade af en ultralydsscanning.



*Dette billede fra en ultralydsscanning viser, at der er tvillinger på vej. Billedet er taget 1 måned før fødslen. Til venstre ses Trine og til højre Teis.*



*Her scannes en gravid med en ultralydscanner, og fosteret kan ses på en TV-skærm. Man kan også følge fosterets bevægelser.*

*Trine og Teis har nu fået bedre plads, men som det ses er de meget interesserede i den store verden uden for moderen og uden for kravlegården.*



Der er fastsatte grænser for, hvor meget man må dosere, og der arbejdes på skiftende høje frekvenser.

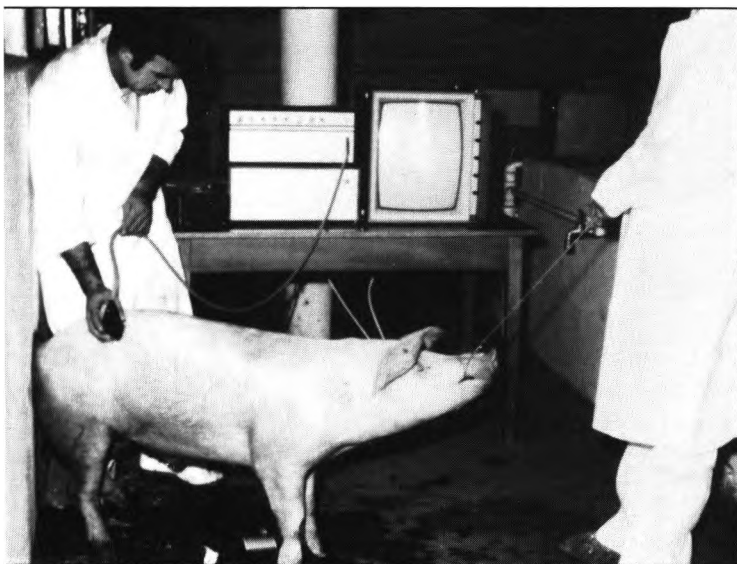
Knogleundersøgelser foregår ved 1 MHz, og nye hudscannere går op til 50-100 MHz.

De ultralydsendere, der bruges til forsøgene i denne bog, arbejder ved 40 kHz, men effekten er meget lille. Mindre end 0,5 W.

### Måling af fedttykkelse

Det er ikke kun i sundhedssektoren, man måler hudtykkelser med ultralyd.

Den har i mange år været anvendt til måling af fedttykkelse og muskelareal på svin og kvæg. Ved sådanne målinger kan man finde kødprocenten for et dyr. Det har betydning ved udvælgelse af avlsdyr.



*Med ultralyd kan man direkte se fedttykkelse og muskelareal på svin og kvæg ved en meget hurtig undersøgelse.*

### Rensning med ultralyd

Ultralyd har i mange år været anvendt ved rensning af metaller m.m.

Rensningen foregår i et kar, hvor der under bunden er fastgjort en transducer. I karret kan der være vand eller et opløsningsmiddel. Så kan man samtidig foretage en kemisk rensning.

Det er mest finmekanik, ure, tandlægeinstrumenter og kirurgiske instrumenter, man renses med ultralyd.

Når ultralyd-generatoren sættes i gang, opstår der vekslende tryk og undertryk. De vekslende trykforhold gør, at snavset løsner sig.

Ultralyden er ved frekvenser mellem 20 kHz og 40 kHz, og den afsatte effekt er 50-100 W. Man skal ikke sætte fingrene i væsken under rensningen, og man skal også bære høreværn, selv om man ikke kan høre ultralyden.

### Stadig forskning

Der forskes stadig i ultralyd. Der udvikles nye apparater. Det kan være apparater til måling på krabber. Man kan hurtigt konstatere, at en krabbe er "tom", og så kan fiskeren lige så godt smide den ud igen i stedet for at bringe den i land.

På Medicoteknisk Institut arbejdes der også på udvikling af en nyrestensknuser og andre apparater til sundhedssektoren.

Man læser i aviserne om, at betonkonstruktioner slår revner. Man kan ikke reparere med ultralyd, men man kan finde frem til skaderne.

Der arbejdes også med projekter, der aldrig får praktisk anvendelse. Et eksempel herpå er et apparat til fjernelse af tåge i lufthavne.

Ultralyd kan få tåge til at samle sig i dråber og blive til regn. Apparatet fungerer udmærket, men det var farligt at anvende for mennesker og dyr, da det er meget store effekter, der skal bruges, og man skal arbejde med ultralyd lige over den hørbare grænse.

## Infralyd

I den nederste del af menneskets høreområde er der et andet meget interessant lydområde. Det er infralyd, og det er den del af frekvensområdet, der ligger under 20 Hz. Det er meget lave frekvenser, der opfattes mere som rystelser end som lyd.

Infralyd afviger også på andre måder fra hørbar lyd og ultralyd, idet infralyd ikke kan udnyttes positivt, men har en destruktiv og uhyggelig effekt.

Vladimir Gavreau har i Frankrig forsket meget i infralyd i sit akustiske laboratorium. Helt tilfældigt kom man på sporet af en infralydgenerator, medens man i laboratoriet med mikrofoner var ved at undersøge lyd på meget lave frekvenser.

I laboratoriet blev man meget generet af en lyd, også når man ikke selv lavede forsøg. Lyden kunne ikke registreres af de følsomme mikrofoner, men videnskabsmændene følte smerter i ørerne, og i laboratoriet vibrerede mange genstande.

Infralyden viste sig at komme fra en defekt ventilator i bygningen. Den kørte med lav hastighed og producerede herved infralyd, der forplantede sig i hele bygningen.

Med ventilatoren som model byggede Gra-veau sin første lyd-generator. Det var en kæmpeudgave af en sirene. Frekvensen var 200 Hz, og lydtrykket var 160 dB.

Det blev ikke til mange forsøg med denne lydgenerator. Efter 5 minutters kørsel fik videnskabsmændene og teknikerne stærke smerter i underlivet. De indre organer kom i resonans, og havde forsøget været i længere tid, kunne det blive skæbnesvangert.

Man byggede en ny generator. Den var et par tusinde gange større end en politisirene og arbejdede på 37 Hz. Inden den blev sat på fuld kraft, var resultatet, at loft og vægge i laboratoriet begyndte at revne.

Gavreau har bygget flere generatorer og lært at lade dem arbejde med en så lille kraft, at infralyden ikke er ødelæggende.

Man arbejder også med konstruktion af mikrofoner, der kan registrere infralyd. Ved frekvensen 10 Hz er bølgelængden 44 meter, og denne lyd går lige gennem mikrofonerne.

Under 1. Verdenskrig blev der lavet detektorer, der kunne registrere kanonskud på lang afstand.

Der er mere infralyd omkring os, end vi tænker på. Ved vulkanudbrud kan der dannes infralyd. Lyden har måske en frekvens på 0,1 Hz. Det er en svingning for hver 10 sekunder. Bølgelængden er ca. 4000 meter. En sådan infralydbølge kan forplantes jorden rundt mange gange og resultere i ødelæggelser.

Ved jordskælv opstår der også infralyd, og ved jordskælv under havet kan der komme kæmpebølger.

Man ved, at nogle dyr før et jordskælv bliver psykisk påvirkede og kan fornemme, at der er noget på vej. Kan det være infralyden, der påvirker dem, og hvilken indflydelse har den på vor psyke? Det kan videnskabsmændene ikke give et svar på.

Påvirkes vi også af ultralyd? Som vi har påvist i bogen, er vi omgivet af megen ultralyd. Vi hører den ikke, men påvirker den os på en eller anden måde?

Det var måske noget for dig at forske videre med dette emne, efter at du har læst bogen?

## Register

allergitest 58  
amplitude 14,18,20,38

bølge 14,15  
bølgedal 14,38  
bølgeformel 16,50  
bølgekær 35  
bølgelængde 14,15,16,20,37,38,39  
bølgetop 14,15,38

Curie, Jaque 29  
Curie, Pierre 29

detekteret 49  
diagnose 56  
Doppler, Johann 48  
dopplereffekt 46,48  
dæmpe 26,28  
dæmpede svingninger 20

elektriske svingninger 12,21,22,23

fart 16,50  
fortynding 18  
fortætning 18  
frekvens 9,15,16,18,20  
frekvensmåling 25  
frekvensskift 44  
frekvenstæller 20,23

Gavreon, Vladimir 61

halv-værdi 27  
hertz 15  
Hz 15

højtaler 7,12,16,21,23  
høreskade 10

impuls-ekko 54  
indfaldslod 31  
indgangsvinkel 31  
infralyd 61  
interferens 17,20,35,38  
interferensstribe 38,40,41  
interferenstone 43,46

keramik 29  
knudepunkter 16,18,20

lambda 14  
lavfrekvensforstærker 32  
LF-forstærker 32  
lyd 9,14,18,22  
lydbølge 35  
lydmuren 47,48  
lydtryk 27  
længdebølger 18,19

maksimum 37,41  
Medicoteknisk Institut 54  
mikrofon 21,31  
minimum 37,41  
modulation 48  
myggedetektor 34

nyrestensknuser 56

oscilloskop 21,23

periodiske bølger 15  
pick-up 31  
piezoelektrisk 29  
PXE 29,31  
PXE 5 30  
PXE 41 30

radar 45  
radialhastighed 48  
reflektion 26,28,31,44,54  
relæ 49  
resonans 42,43  
ringbølger 15,35  
rødforskydning 48

scanne 56  
sinusgenerator 23,25  
slinky 18  
spalte 34  
spalteafstand 38  
stående bølger 17,18,20  
svejskontrol 55  
svingning 14,15,20  
svingningstid 15  
svævning 42

terapi 56  
tilbagekastningsvinkel 31  
tonegenerator 12,16,21,23  
transducer 22,25,29  
tværbølger 19,20  
tykkelsesmåling 54  
tyverialarm 26,44

ultralyd 14,21,25,32  
ultralydalarm 44  
ultralydfrekvens 40  
ultralydindikator 32  
ultralydmodtager 26  
ultralydsender 25  
ultralydsrensning 60  
ultralyds fart 16,50

v 16  
vandbølger 14,35,37  
violetforskydning 48







*Bølger og kommunikation I* er den første af to bøger, som på utraditionel måde behandler emneområderne Svingninger og Bølger. Bøgerne er skrevet til fysikundervisningen i folkeskolens ældste klasser. Gennemgangen tager sit udgangspunkt i lyd, lys og kommunikation, og teorien underbygges af praktiske eksperimenter – i denne første bog med ultralyd som hjælpemiddel. Herved opnås gode og tydelige måleresultater, som let lader sig overføre til andre bølgebevægelser. Bogen giver tillige et udblik til de mange sammenhænge, hvori ultralyd indgår som et værktøj i vores dagligdag.

