

Støy i små vannkraftverk

10
2006



OPPDRAGSRAPPORT A

Støy i små vannkraftverk

Rapport nr 10

Støy i småkraftverk

Oppdragsgiver: NVE

Redaktør: Jan Slapgård

Forfatter: Asbjørn Ustad og Truls Gjestland, SINTEF IKT

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 100

Forsidefoto:

ISBN: 1503-0318

Sammendrag: Rapporten er utarbeidet for å gi en generell innføring til problematikk omkring støy i små vannkraftverk. Bygging av små vannkraftverk i eller nær boligbebyggelse kan innebære konfliktpotensiale omkring støy. NVE har derfor sett behovet for økt kunnskap omkring støyproblematikk i slike kraftverk og hvordan støyproblemene kan reduseres effektivt.

Første del av rapporten gir en generell innføring omkring lyd og støy, hvordan den oppstår og spres, måling av lyd, og effektiv demping av lyd.

Kapitelene 5 og 6 bruker den generelle kunnskapen om støy fra første del av rapporten når de tar for seg støykilder og støyproblematikk ved små kraftverk. Det skisseres hvordan kraftverkshus med relativt enkle grep kan utformes for effektivt å begrense støy til omgivelsene.

Effektive tiltak kan settes i verk både i nye og eksisterende kraftverk.

Emneord: Støy, små kraftverk, støydemping

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

November 2006

INNHOLDSFORTEGNELSE

Støy i små vannkraftverk.....	1
1 HVA ER LYD OG STØY	2
1.1 Lydstyrke.....	2
1.2 Frekvens	4
2 HVORDAN MÅLES LYD	7
2.1 Vurdering av måleresultat og tiltak.....	11
3 HVORDAN OPPSTÅR LYD OG HVORDAN SPRER DEN SEG	12
3.1 Flere støykilder.....	12
3.2 Lydutbredelse	13
3.2.1 Lydutbredelse ute.....	15
3.2.2 Lydutbredelse i kanaler.....	16
3.3 Lydoverføring.....	17
3.4 Lydabsorpsjon og etterklangstid.....	18
4 LYDDEMPNING, GENERELT GRUNNLAG	20
4.1 Lydabsorpsjon	20
4.2 Støyskjermer.....	22
4.3 Lydisolasjon	25
4.3.1 Enkeltvegg.....	25
4.3.2 Dobbeltvegg	27
4.4 Åpninger, lekkasjer og gjennomføringer	29
4.5 Lydfeller.....	31
4.6 Vibrasjonsisolering.....	33
5 LYDKILDER OG STØYDEMPING I SMÅKRAFTVERK.....	35
6 VIRKNINGER AV STØY, GRENSEVERDIER	39
6.1 Støy på arbeidsplassen	39
6.2 Ytre støy	39
6.3 Enkel lydutbredelse	40
7 REFERANSER	41

Forord

NVE er de siste årene tilført midler for å støtte FoU-prosjekter med formål å utvikle teknologi og kunnskap for en mer effektiv utnyttelse av små vannkraftressurser. Midlene kan også benyttes til FoU-prosjekter innen opprustning og utvidelse av eksisterende større vannkraftverk eller til øvrige prosjekter for bevaring og videreutvikling av norsk vannkraftkompetanse.

De fleste prosjektene som er støttet er utført av konsulenter eller utdanningsinstitusjon (NTNU) på oppdrag fra NVE.

Denne rapporten er en av mange som er et resultat av disse bevilgningene.

Oslo, november 2006

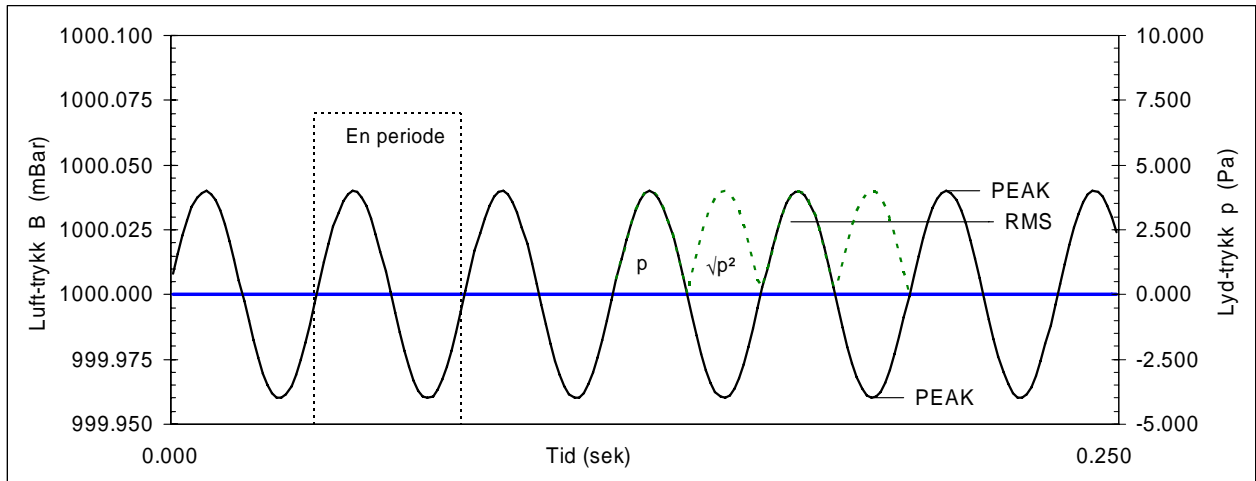

Marit Lundteigen Fossdal
avdelingsdirektør


Torodd Jensen
seksjonssjef

1 HVA ER LYD OG STØY

Luftlyd er hurtige svingninger av lufttrykket omkring atmosfæretrykket. Trykksvingningene er normalt så små og hurtige at de ikke påvirker et barometer.

Lyden kan beskrives med trykk-utsvingets **størrelse** og **repetisjonstakt**. Se Figur 1.1.



Figur 1.1. Lydtrykket er lufttrykksvingningen omkring midlere atmosfæretrykk.

Størrelsen på trykkutsvinget fra atmosfæretrykket kalles lydtrykket. I praksis måles lydstyrke som lydtryknivå målt i **dB** (desiBel). Se kapitel 1.1.

Trykkutsvingets **repetisjonstakt** betegnes som frekvens målt i **Hz** (svingninger pr sekund). Se kapitel 1.2.

1.1 Lydstyrke

Lydstyrken avhenger av lydtrykket, d.v.s. av lufttrykksvinget fra det midlere atmosfæretrykket. Det laveste lydtrykket som vi kan oppfatte er omtrent 20 μPa (20 mikroPascal = 0.0000002 mBar).

Det høyeste lydtrykket som vi kan tåle uten skade er omtrent 1 million ganger høyere (20 Pa). Se Figur 1.2.

Lydenegien er proporsjonal med det kvadrerte lydtrykket (lydtrykket ganget med seg selv). På grunn av det enormt store variasjonsområdet mellom høyeste og laveste hørbare lydtrykk, er det ikke praktisk å bruke kvadrert lydtrykk som måleenhet for lydstyrke. I stedet bruker vi en logaritmisk skala kalt dB-skalaen og begrepet lydtryknivå. Lydtryknivået er definert som logaritmen til forholdet mellom kvadrert lydtrykk (p^2) og et kvadrert referansetrykk (p_0^2) der p_0 er 20 μPa som tilsvarer det laveste lydtrykket som et normalt øre kan oppfatte.

Måleenheten i slike logaritmiske forholdstall-skalaer kalles Bel (forkortet til B) etter telefonens oppfinner Aleksander Graham Bell. I de fleste sammenhenger brukes enheten 1/10-Bel, desi-Bel, som forkortes til dB.

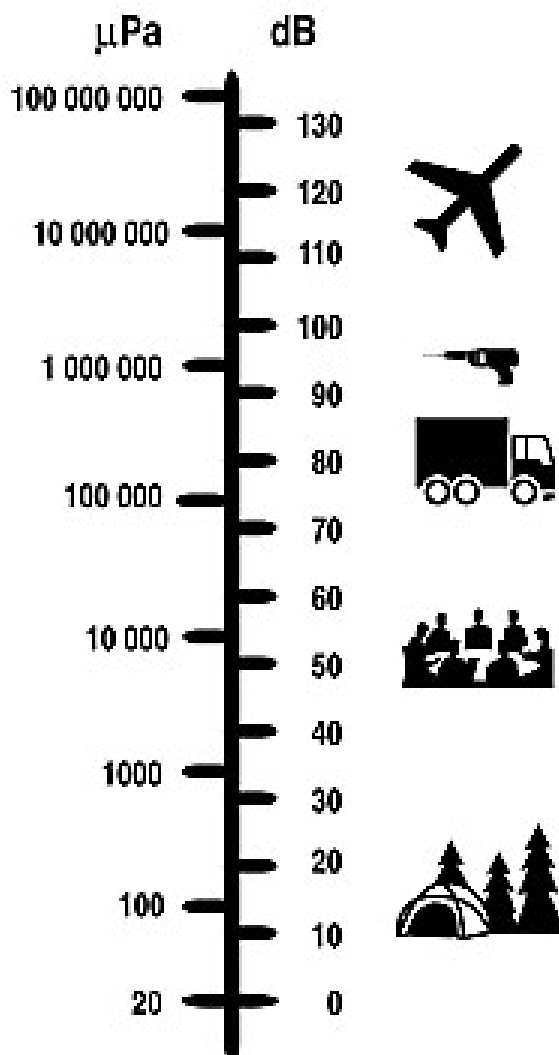
Omregning fra Lydtrykk (p) til Lydtryknivå (Lp):

$$\text{Lydtryknivå } L_p = 10 \cdot \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \cdot \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad \text{i dB re. } p_0$$

Standardisert referanselydtrykk $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

Omregning fra Lydtryknivå (Lp) til Lydtrykk (p):

$$\text{Lydtrykk } p = 10^{(L_p - 94)/20} \quad (\text{Pa}) \quad \text{fordi } 20 \cdot \log(p_0) = -94$$



Figur 1.2 Sammenheng mellom lydtrykk i Pa og lydtrykknivå i dB.

Desibel-skalaen brukes forøvrig på mange forskjellige målestørrelser, også når det gjelder lyd, så det er viktig alltid å holde nøyaktig rede på hvilken målestørrelse som dB-verdien betegner, og hva som er referanseverdien. Når det gjelder lyd brukes bl.a.:

- **Lydtrykknivå** beskriver lydstyrken i et punkt i rommet i dB relativt til 20 μPa , og avhenger bl.a. av avstanden fra lydkilden og av omgivelsenes egenskaper.
- **Lydeffektnivå** beskriver total utstrålt lydeffekt fra en kilde relativt til 1 pW (picowatt), og er helt uavhengig av omgivelsene. For å unngå forveksling med lydtrykknivå brukes noen ganger enheten **B** (Bel) for lydeffektnivå. 1 B = 10 dB.

Det kan godt forekomme lydtryknivåer lavere enn 0 dB. 0 dB lydtryknivå ligger omtrent ved grensen for oppfattbar lyd for mennesker.

Vanlige krav til støy fra tekniske installasjoner inn i boligrom og kontorer ligger omkring 25 – 40 dB.

En samtale kan gi lydnivåer i området 40 - 80 dB.

Langvarig utsettelse for lydnivåer over 80 dB kan medføre hørselskade, men ubehag og andre skadevirkninger kan oppstå ved langt lavere nivåer, avhengig av situasjon og støytype.

Konserter kan gi lydnivåer med over 100 dB gjennomsnittsnivå.

Lydnivåer over 120 - 130 dB kan medføre øyeblikkelig varig hørselskade.

Skuddsmell kan på kort avstand gi toppnivåer over 150 dB.

Figur 1.4 viser eksempler på typiske lydtryknivåer.

- **En lydtryknivåforandring på 1 dB er knapt merkbar.**
- **En forandring på 2 - 3 dB kan ikke betegnes som mer enn en merkbar forandring av lydstyrken, selv om 3 dB er en fordobling/halvering av lydenergien.**
- **En forandring på 4 - 5 dB oppfattes som tydelig.**
- **En forandring på 6 - 7 dB er vesentlig.**
- **En forandring på 8 - 10 dB oppfattes som en halvering eller fordobling av lydstyrken.**

1.2 Frekvens

Antall lufttrykksvingninger pr sekund avgjør lydens tonehøyde eller frekvens. Frekvens måles i Hz (Herz) som betyr antall hele svingninger (opp og ned) pr sekund. 1000 Hz = 1 kHz (kiloHerz).

En jevn trykksvingning på 100 ganger opp og ned pr sekund har frekvens 100 Hz, og høres ut som en "brumming". Nettransformatorer lager en grunntone på 100 Hz fordi magnetkreftene virker like sterkt når strømmen går begge veier med frekvensen 50 Hz.

1000 svingninger pr sekund (frekvens 1000 Hz = 1 kHz) høres ut som en høy plystring.

En "tynn" pipetone på 16 kHz kan være hørbar fra noen gamle TV-apparater.

Et ungt friskt øre kan høre frekvenser fra 20 Hz til 15 - 20 kHz, men evnen til å høre høye frekvenser avtar med alderen. Som vist i Figur 1.4 er ørets følsomhet ikke lik for alle frekvenser. Et friskt øre er spesielt følsomt omkring 4 kHz, og det er også i dette frekvensområdet støyindusert hørselsskade normalt oppstår, noe som medfører at det blir vanskeligere å forstå tale fordi konsonant-lydene F, K, P, S og T ligger der. Det blir f.eks. vanskelig å høre forskjell på "førti" og "søtti" selv om en ikke synes en hører dårlig.

Lyd i frekvensområdet under 20 Hz kalles infralyd og kan ikke direkte høres av mennesker.

Infralyd kan likevel påvirke balanseorganet i øret, og andre organer, bl.a. øyet og innvollene.

Kraftig infralyd kan medføre betydelig ubehag, bl.a. i form av kvalme (sjøsyke).

Infralyd genereres bl.a. av store ventilasjonsanlegg, kjøretøy, fly og fartøy, eksplosjoner m.m.

Et stort orgel kan gi toner ned til 16 Hz.

Lyd i frekvensområdet over 20 kHz kalles ultralyd, og kan ikke direkte høres av mennesker.

Kraftig ultralyd kan likevel i enkelte tilfelle oppfattes indirekte, og kan gi ubehag.

Ultralyd brukes i forskjellige tekniske sammenhenger, f.eks. plastsveisning, renseprosesser, medisinske og material-undersøkelser, skjæreredskaper, avstandsmåling, o.a.

Dyrenes hørsel er forskjellig fra vår. Store dyr hører gjerne bedre ved lavere frekvenser, mens små dyr hører gjerne bedre ved høyere frekvenser.

Figur 1.3 viser forskjellige typer lyd.

Trykksvingninger med et tydelig periodisk repeterende mønster kalles en **tone**.

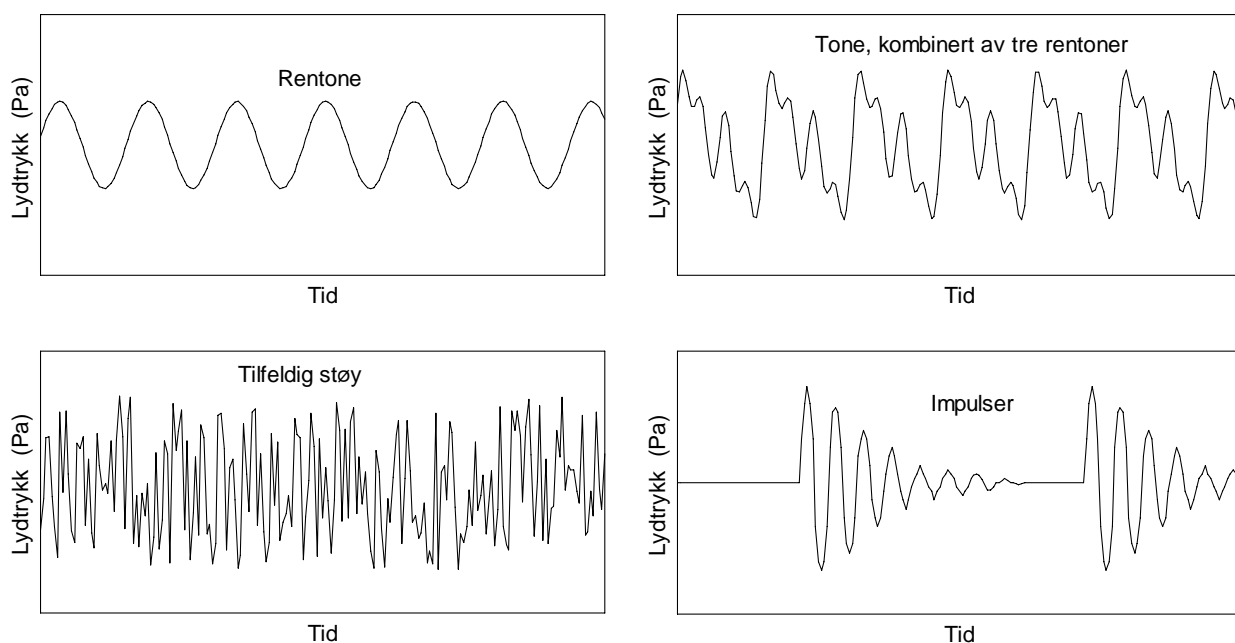
Det gjelder f.eks. lyd fra musikkinstrumenter og fra roterende maskineri. Slik lyd inneholder en eller flere dominerende frekvenser.

Hvis en tone har dobbelt så høy frekvens som en annen tone, kalles forholdet mellom tonene for en oktav. Hørselen oppfatter hver fordobling av frekvensen som like stor.

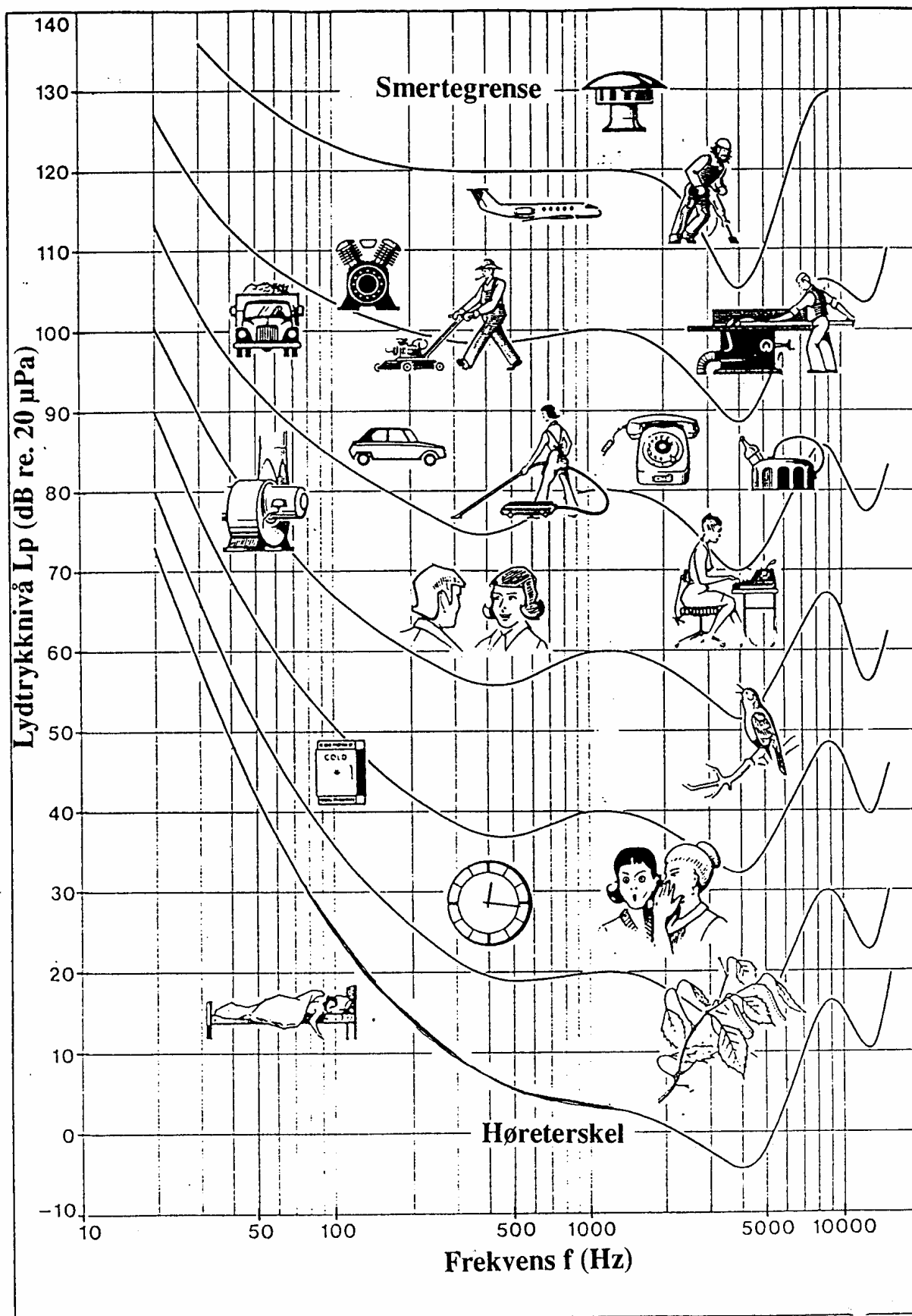
Trykksvingninger som varierer helt tilfeldig kalles **støy**. Det gjelder f.eks. vindsus. Vanlig støy inneholder alle frekvenser, men det kan være varierende styrkeforhold mellom de forskjellige frekvensene.

Betegnelsen støy brukes forøvrig også om all uønsket lyd.

Plutselige trykksvingning med rolige perioder imellom kalles **impulser**. Det gjelder f.eks. slagstøy og skytestøy.



Figur 1.3. Lufttrykksvingning som funksjon av tid, for lyder som tone, støy og impuls.



Figur 1.4 Kurvene viser lik hørestyrke ved forskjellige frekvenser. Eksempler på støykilder. (Ginn, Architectural Acoustics)

2 HVORDAN MÅLES LYD

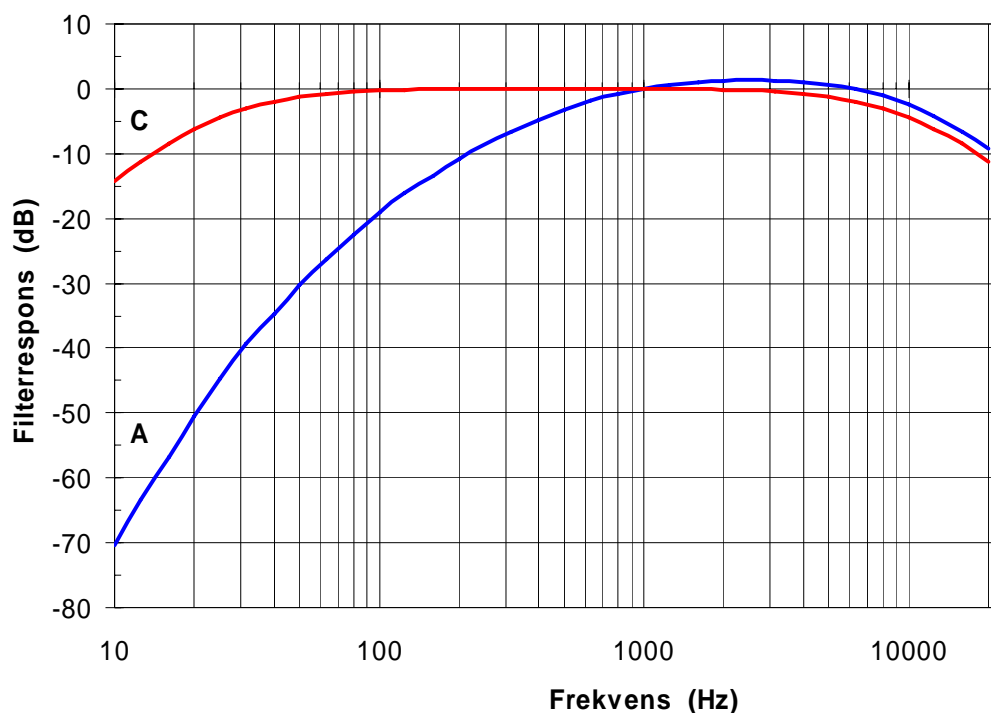
Ørets oppfattelse av lyd er utrolig detaljert sammenlignet med det som kan fåes ut av en lydmåler. En lydmåler kan forenklet beskrives som et vekselstrøms-voltmeter tilkopleet en hurtigvirkende trykkføler (mikrofon). Lydmåleren har imidlertid sine helt spesielle krav til kalibrering, frekvensrespons og reaksjonstid.

For å beskrive styrken på en lydsituasjon med ett enkelt tall summeres all lydenergien i hele det hørbare frekvensområdet. Som vist i Figur 1.4 er øret ikke like følsomt for alle frekvenser. Derfor brukes standardiserte veie-filtre. Figur 2.1 viser virkningen av de mest brukte veiefiltre for lyd. For måling med veiefilter brukes gjerne betegnelsen lydnivå i stedet for lydtryknivå.

Ved lave og middels lydnivåer er øret mest følsomt for frekvensområdet 800 - 8 000 Hz, og mindre følsomt for lavere og høyere frekvenser. A-veiefilteret er et standardisert veiefilter som er tilpasset ørets følsomhet for forskjellige frekvenser ved omkring 40 dB lydnivå, og gir vanligvis et godt samsvar med folks oppfattelse av styrken på lyd og støy i de fleste situasjoner. Lydnivå målt med A-veiefilter angis i dBA.

Impulsstøy og støy med dominerende lavfrekvensinnhold kan imidlertid være mer skadelig eller sjenerende enn det som A-veiet lydnivå tilsier, og da brukes i noen tilfeller C-veiefilter. C-veiet lydnivå angis i dBC.

Ved å måle både A- og C-veid lydnivå samtidig fås verdifull tilleggsinformasjon om støyens frekvensfordeling. Siden C-veiefilteret ikke demper lave frekvenser så mye som A-filteret, blir forskjellen mellom dBC og dBA større jo mer lavfrekvensdominert støyen er. Denne forskjellen benyttes i noen vurderinger mot støygrenseverdier og ved valg av hørselsvern.



Figur 2.1. Veiefiltre for dBA og dBC.
Se også Tabell 2.1.

For å kunne lokalisere støykilder og dimensjonere tiltak mot støy er det nødvendig med en mer detaljert beskrivelse av støyens frekvensfordeling. Da må utføres en frekvensanalyse.

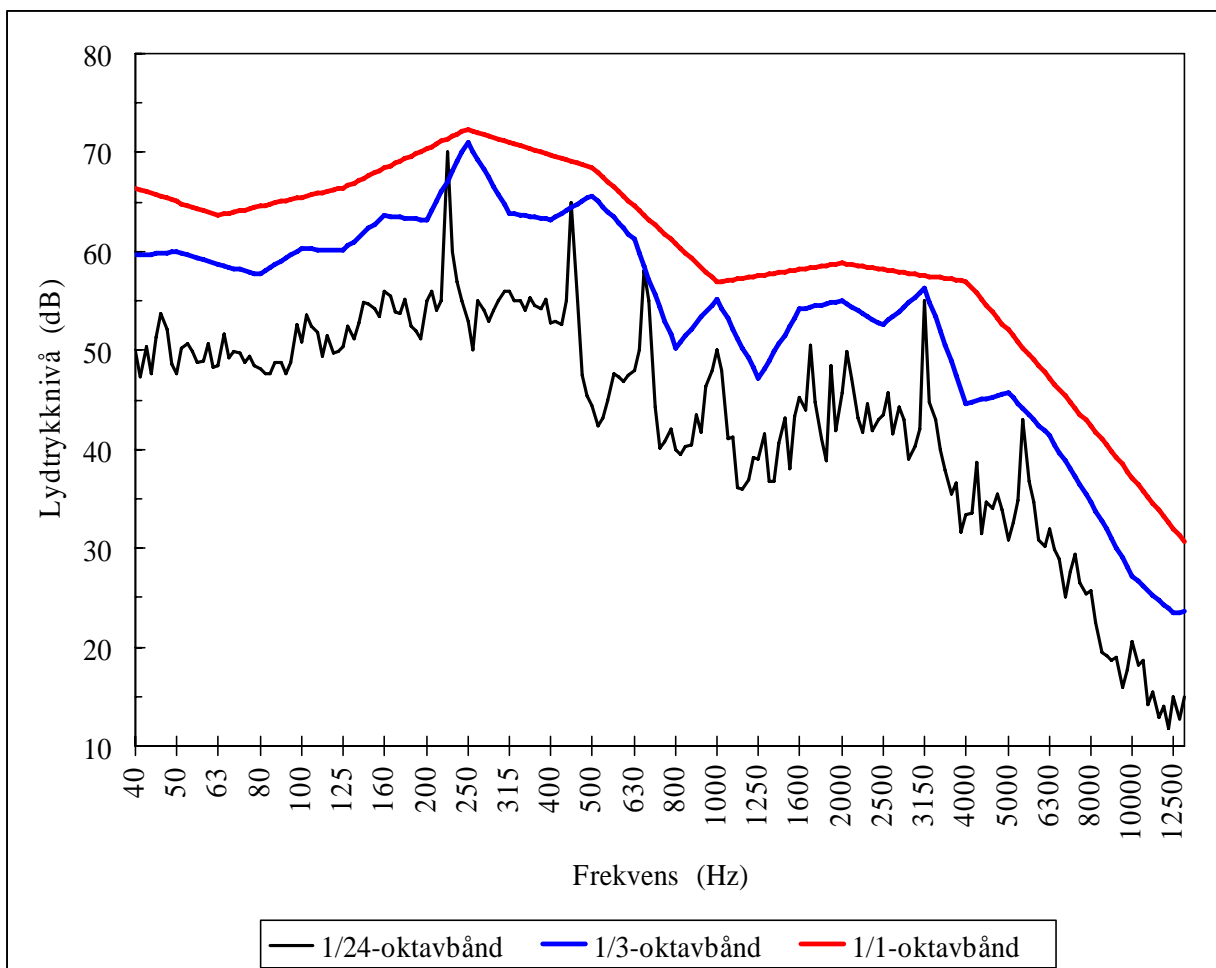
Det innebærer at hele frekvensområdet deles opp i mange deler, og lydenergien innen hvert delområde måles for seg. Da utelates vanligvis veiefilterne.

Veid lydnivå kan da eventuelt beregnes ut fra frekvensanalysen.

Den enkleste form for frekvensanalyse fåes v.h.a. (1/1-) oktavnåbånd-filter. Da deles frekvensområdet inn i områder (bånd) hvor høyeste frekvens i hvert bånd er det doble av laveste frekvens i båndet. Frekvensbåndene benevnes etter senterfrekvensen i hvert bånd. Se Tabell 2.1.

Det er også vanlig å bruke 1/3-oktavnåbånd-filter, hvor hvert oktavnåbånd er delt inn i 3 deler. Se Tabell 2.1 kolonne "Båndets frekvensområde".

1/3- og spesielt 1/1-oktavnåbandanalyse angir ikke nøyaktig frekvens for rentoner, bare hvilket bånd tonen er innenfor. For nøyaktige undersøkelser brukes enda finere frekvensoppløsning. f.eks. 1/24-oktavnåband. Figur 2.2 viser frekvensanalyser med forskjellige båndbredder av samme støy.



Figur 2.2. Frekvensanalyse av samme støy med tre forskjellige båndbredder. 1/24-, 1/3- og 1/1-oktavnåband.

Tabell 2.1. Frekvensområder for 1/1-oktav-filtre (uthevet senterfrekvens) og 1/3-oktav-filtre. Virkning av A- og C-veiefiltre som funksjon av frekvens.

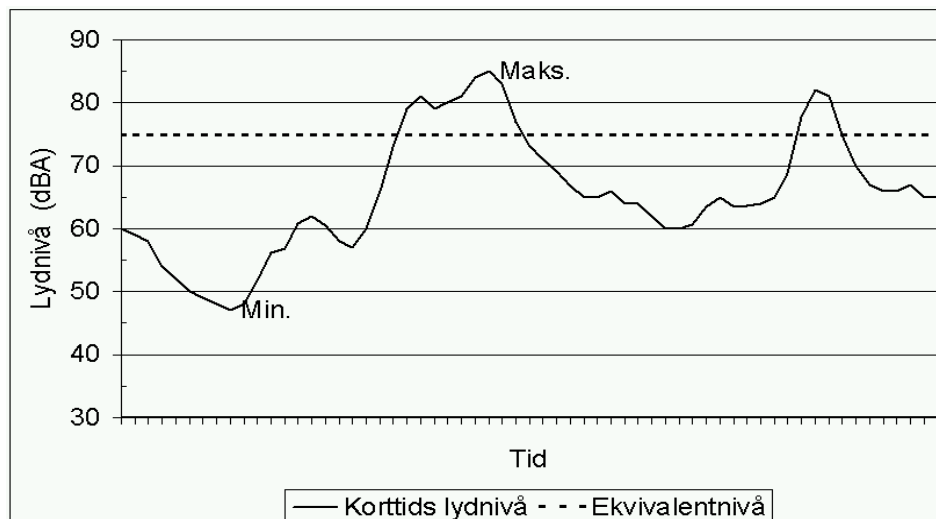
Senter-Frekvens (Hz)	Båndets frekvensområde		Virkning av veie-filtre	
	1/1-oktavbånd (Hz)	1/3-oktavbånd (Hz)	A (dB)	C (dB)
25 31.5 40	22.4 – 44.7	22.4 – 28.2	-44.7	-4.4
		28.2 – 35.5	-39.4	-3.0
		35.5 – 44.7	-34.6	-2.0
50 63 80	44.7 – 89.1	44.7 – 56.2	-30.2	-1.3
		56.2 – 70.8	-26.2	-0.8
		70.8 – 89.1	-22.5	-0.5
100 125 160	89.1 - 178	89.1 – 112	-19.1	-0.3
		112 – 141	-16.1	-0.2
		141 – 178	-13.4	-0.1
200 250 315	178 - 355	178 – 224	-10.9	0
		224 – 282	-8.6	0
		282 – 355	-6.6	0
400 500 630	355 - 708	355 – 447	-4.8	0
		447 – 562	-3.2	0
		562 – 708	-1.9	0
800 1000 1250	708 - 1410	708 – 891	-0.8	0
		891 – 1120	0	0
		1120 – 1410	+0.6	0
1600 2000 2500	1410 - 2820	1410 – 1780	+1.0	-0.1
		1780 – 2240	+1.2	-0.2
		2240 – 2820	+1.3	-0.3
3150 4000 5000	2820 - 5620	2820 – 3550	+1.2	-0.5
		3550 – 4470	+1.0	-0.8
		4470 – 5620	+0.5	-1.3
6300 8000 10000	5620 - 11200	5620 – 7080	-0.1	-2.0
		7080 – 8910	-1.1	-3.0
		8910 - 11200	-2.5	-4.4

Ettersom lydnivået gjerne varierer med tiden brukes statistiske metoder for å beskrive lydsituasjonen. De vanligste begrepene er Ekvivalentnivå, Minimumsnivå, Maksimumsnivå og Peak-nivå.

Disse begrepene brukes både om A- eller C-veide lydtryknivåer og om frekvensanalyserte data. Se Figur 2.3.

Ekvivalent kontinuerlig lydnivå beskriver gjennomsnittlig lydenergi i løpet av hele måleperioden, d.v.s. støydosen, og forkortes ofte til Ekvivalentnivå (L_{ekv} eller L_{eq}). Det er også mulig å beregne et ekvivalentnivå ut fra flere målinger av lydnivå og varighet for hver enkelt tilstand.

Minimums- og Maksimums-nivåene (L_{min} og L_{max}) beskriver laveste og høyeste lydnivå i løpet av måleperioden, Da brukes en av de standardiserte meterdempningene SLOW, FAST eller IMPULS, som har forskjellige reaksjonstider på hurtig endring, eller PEAK som gir absolutt toppverdi.



Figur 2.3. Måling av et lydtrykknivå som varierer i løpet av måletiden. Den stiplede linjen angir ekvivalent kontinuerlig lydnivå for hele måletiden.

Lydmålinger foretas vanligvis der hvor personers hode normalt vil være, eller i posisjoner som er fastlagt i bestemte målemetoder.

Ved vurdering i forhold til vanlige støynivåkrav er det vanligvis tilstrekkelig å ha målt:

- dBA ekvivalentnivå for typiske tidsrom for vurdering av sjenanse og hørselskaderisiko over tid for varig støy. I noen sammenhenger gis "straffetillegg" på støynivået på kveld og natt.
- dBA "FAST" maksimalnivå for spesielle hendelser for vurdering av sjenanse, vekking og hørselskaderisiko.

I tillegg kan måles

- dBC "PEAK" maksimalnivå for vurdering av momentan hørselskaderisiko fra impulsartet støy.
- dBA "IMPULS" maksimalnivå for vurdering av skytestøy.
- dBC ekvivalentnivå for vurdering av sjenanse for lavfrekvensstøy. Forskjellen mellom dBA og dBC brukes i enkelte støygrensevurderinger og kan brukes i valg av hørselsvern.
- Ved nivåer over 85 dBA bør det foretas frekvensanalyse (Oktavbåndanalyse eller smalere frekvensbånd). Det er helt nødvendig med frekvensanalyse som grunnlag for vurdering av støyreducerende tiltak, og det kan brukes for valg av hørselsvern.

Ved vanlig lydtrykknivåmåling er det totalt lydtrykknivå i målepunktet som måles, uansett hvilken retning lyden kommer fra.

Når det gjelder bestemmelse av støy fra en bestemt støykilde er det viktig å kontrollere innflytelsen fra omgivelsene (refleksjoner) og fra andre støykilder (bakgrunnsstøy).

Vanlige målestándarder beskriver de prosedyrer som er nødvendige for dette. Det er spesielt aktuelt ved måling for sammenligning med grenseverdier, ved bestemmelse av støyeffekt fra en lydkilde, og ved sammenligning av målinger for bestemmelse av lyddemping.

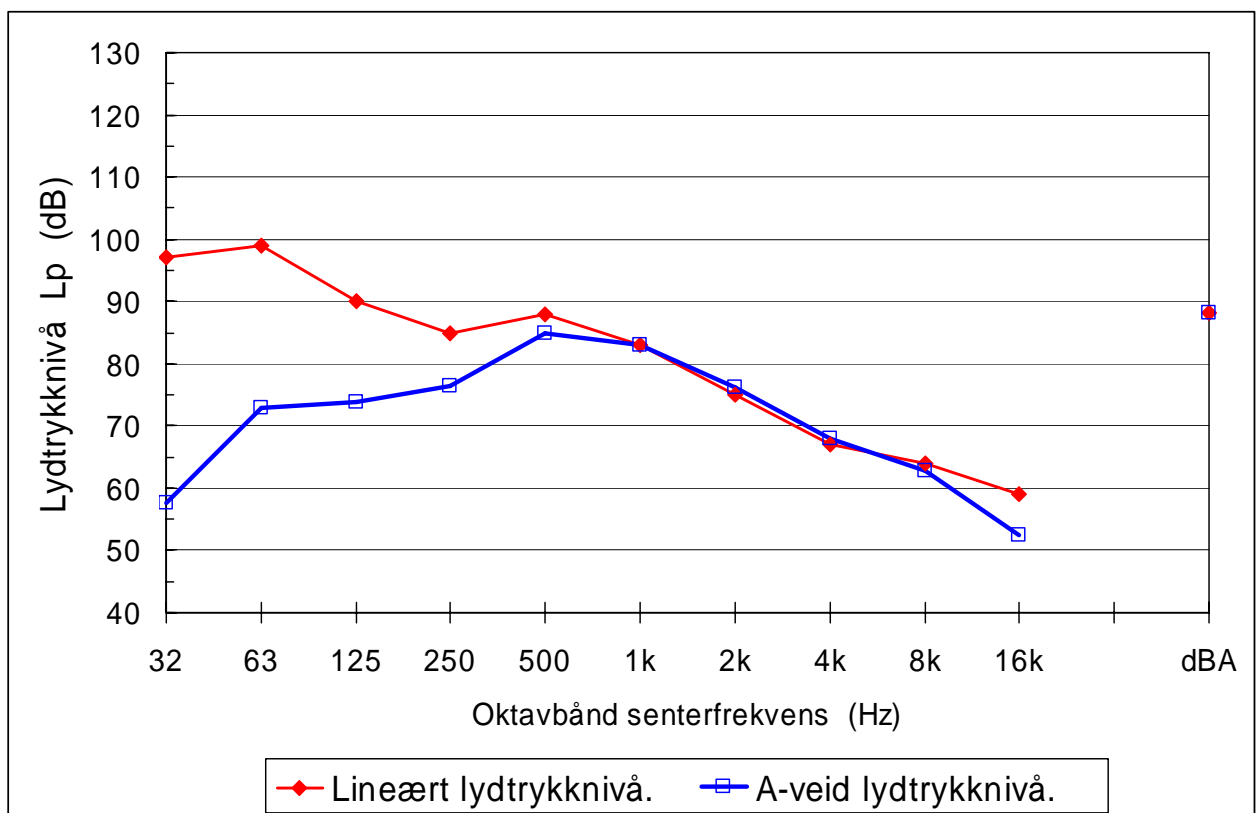
Det finnes spesielle målemetoder (Lydintensitetsmålinger) som kan brukes for å bestemme det støybidraget som kommer ut fra en støykilde som står i støyende omgivelser eller fra de enkelte delene av en støykilde. Slike målinger har spesielt stor nytte når det gjelder prioritering av støydempende tiltak.

2.1 Vurdering av måleresultat og tiltak

Krav til støynivå er normalt gitt i dBA. Ved vurdering av mulige tiltak er det viktig å vite hvilken del av frekvensområdet som har størst betydning for dBA-verdien. Ved å kombinere frekvensanalyse og A-veing kan lett ses hvilket frekvensområde som er avgjørende for dBA-verdien, og tiltakene kan velges ut fra dette.

Figur 2.4 viser et frekvensspekter fra en lydmåling, både lineært (uveid) og etter A-veing. A-veing fremkommer ved å korrigere måleresultatene etter Tabell 2.1 kolonne ”Virkning av veiefilter A”.

Det er de høyeste punktene på det A-veide frekvensspekteret som bidrar mest til dBA-verdien. Det viser seg da i dette eksempelet at selv om de uveide måleresultatene viser dominerende lavfrekvensstøy, er det frekvensområdet omkring 500 - 1000 Hz som bestemmer dBA-verdien her.



Figur 2.4. Eksempel på frekvensspekter før og etter A-veing. A-veiefilter er gitt i Figur 2.1 og Tabell 2.1.

3 HVORDAN OPPSTÅR LYD OG HVORDAN SPREER DEN SEG

Lyd oppstår ved at en varierende kraft skaper trykkvariasjoner i luften (luftlyd) eller i væske (væskelyd), eller svingninger i fast stoff (strukturlyd). Strukturlyd og væskelyd kan overføres til luftlyd og omvendt.

Lyd kan være generert av mekanisk, magnetisk, eller strømnings-påvirkning.

Mekanisk generert lyd kan komme fra slag, støt, friksjon, eller ubalanse i roterende deler. Lyden kan avstråles direkte som luftlyd, eller forplante seg som strukturlyd, væskelyd eller vibrasjoner til platedeksler o.l. som så avstråler luftlyd effektivt.

Magnetisk generert lyd kan skyldes at det varierende magnetfeltet i transformatorer, elektromotorer, generatorer, høyttalere o.l. får plater av magnetisk materiale (stål etc.) til å vibrere, slik at luftlyd avstråles.

Strømningsgenerert lyd kan komme fra endringer av en gass eller væskes trykk, hastighet, strømningsretning, temperatur eller tetthet. Luftlyd avstråles direkte, eller lyd kan overføres via strukturlyd eller væskelyd til platedeksler o.l. som så avstråler luftlyd effektivt.

Lydens styrke og frekvensfordeling avhenger av mange forhold. For roterende maskineri kan nevnes forhold som turtall, tannhjulform og tanntall, viftehjulform og skovlantall, lagertype, deksel-form og -størrelse, platetykkelser, materialvalg, og opplagring.

Lyd fra en turbin eller vifte vil få dominerende rentoner ved "skovlfrekvensen", d.v.s. antall skovler som passerer pr sekund:

Skovlfrekvens $f_s = n \cdot s / 60$ (Hz)

hvor n = turtall (o/min) og s = antall skovler.

REGNEEKSEMPEL: Med 16 skovler og turtall 1000 o/min blir skovlfrekvensen 267 Hz.

For strømningsgenerert lyd har strømningshastighet, strømnings teknisk utforming, og avstand mellom strømningsforstyrrende elementer stor betydning.

Platedekslers størrelse, stivhet, avstivninger, og indre tap har stor betydning for avstrålt lyd.

Lyd fra en lydkilde kan beskrives på to måter:

- Lydtryknivå på en gitt avstand (Norsk forkortelse L_p , engelsk SPL).
- Lydeffektnivå (Norsk forkortelse L_w , engelsk SWL).

Fra oppgitt lydeffektnivå kan en beregne lydtryknivå på en gitt avstand hvis en kjenner omgivelsenes egenskaper. Se kapitel 3.2.

3.1 Flere støykilder

Når det er flere lydkilder summeres lydenergien. Legg merke til at det ikke er lydtryknivåene i dB som skal summeres, det må regnes om til kvadrert lydtrykk først.

- Hvis antallet like kraftige lydkilder fordobles (med samme måleavstand), øker lydtryknivået med 3 dB, forutsatt at lydkildene ikke er synkrone.
- For flere synkrone lydkilder (f.eks. transformatorer) vil lydtryknivået variere sterkt avhengig av måleposisjon (retning) omkring lydkildene.
- For at en ny lydkilde ikke skal bidra merkbart til å øke det totale lydtryknivået, må den ligge minst 10 dB under lydtryknivået fra de andre lydkildene.

3.2 Lydbredelse

Eventuell strukturlyd og væskelyd kan avstråles som luftlyd fra grenseflaten mot luften. Overføringen til luftlyd avhenger bl.a. av overflatens dimensjoner, innspenning og bøyestivhet.

Vibrerende flater kan avstråle lyd, men følbare platevibrasjoner behøver ikke nødvendigvis å medføre hørbar lyd, fordi vibrasjonsfølbareheten er størst ved frekvenser som er så lave at hørselen ikke oppfatter lyden. Vibrasjonsutsving på 1 nm (1 milliondels millimeter) i hørbart frekvensområde er derimot neppe følbart, men kan gi lydnivå omkring 80 dB.

Luftlyd forplanter seg som trykksvingninger i lufta utover fra lydilden. Trykkbølgene sprer seg med lydhastigheten, som i luft ved normalt trykk og temperatur er omkring 343 m/s. Derved får trykkbølgene en bølgelengde (avstand mellom trykkmaksima) som avhenger av frekvensen:

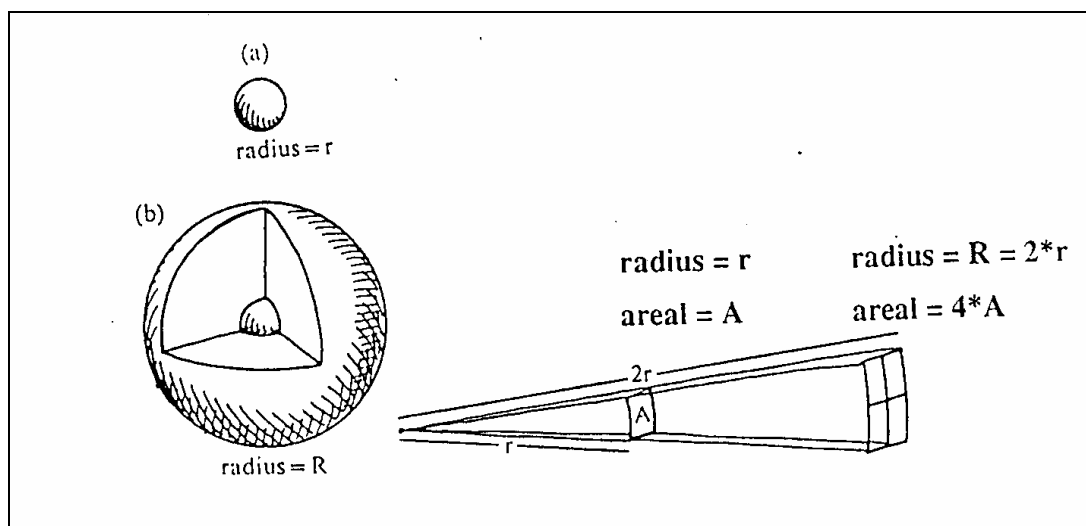
$$\text{Lydbølgelengden } \lambda = c/f \quad (\text{m})$$

hvor c = lydhastighet = 343 m/s i luft ved normal temperatur og trykk.
 f = lydets frekvens (Hz)

Bølgelengden i luft blir således 3.4 m for 100 Hz, 34 cm for 1 kHz og 34 mm for 10 kHz.

Forholdet mellom lydets bølgelengde og objekters dimensjoner har avgjørende betydning for lydbredelsen på mange forskjellige måter.

Omkring en liten (i forhold til bølgelengden) lydilde i helt fri omgivelser, sprer lydbølgene seg som kuleskall (sfærisk) omkring kilden. Lydenergien fordeles hele tiden på arealet av kuleskallet. Ettersom arealet av en kule er proporsjonal med kvadratet av kulens radius, vil lydenergien avta omvendt proporsjonalt med kvadratet av avstanden (radius). Se Figur 3.1 og Figur 3.3.



Figur 3.1. Sfærisk utbredelse av lydbølger omkring en lydilde.
 (Fjerdingsstad – Osmundsen - Heidem, Lyd og støy)

I fritt lydfelt (ute) gjelder denne formelen for lydtryknivå som funksjon av avstand:

$$\text{Lydtryknivå i avstand } r_2: \quad L_{p_2} = L_{p_1} - 10 \cdot \log(r_2^2/r_1^2) \quad (\text{dB})$$

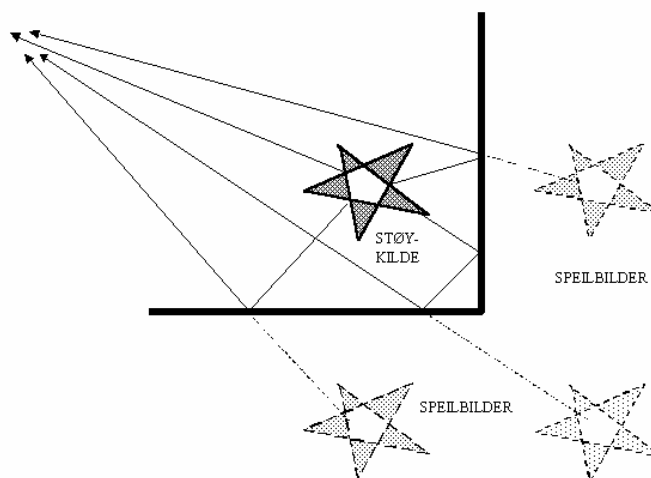
hvor L_{p_1} = Lydtryknivå i avstand r_1 .

REGNEEKSEMPEL: Hvis lydtryknivået på 2 m avstand fra en liten kilde er 85 dB, vil lydtryknivået på 7.5 m avstand i frittelt være 73.5 dB.

Hvis lyd-kilden er stor i forhold til bølglengden og avstanden, blir lyd-utbredelsen ikke sfærisk, og lydtrykknivået vil derfor ikke reduseres så fort med avstanden i området nær lyd-kilden.

Hvor det er harde flater i nærheten vil lyd-utbredelsen bli mer komplisert, fordi lyden reflekteres i de harde flatene. Harde flater vil gi speilbilder av lyd-kilden, noe som tilsvarer økning av kildeantallet. Hvis en lyd-kilde plasseres inne i et hardt hjørne av 3 harde flater (2 vegger og gulv) vil det bli i alt 7 speilbilder, som medfører at lydtrykknivået i den frie retningen kan bli opptil 9 dB høyere enn om lyd-kilden sto fritt. Se Figur 3.2.

Lydreflekterende flater er alle tette stive flater, endog om de er dekket med tynt stoff, strie eller lignende. Vann er også en lydreflekterende flate. Refleksjonen kan bare dempes ved å kle flaten med en effektiv lydabsorberende kledning, for eksempel tykk mineralull.

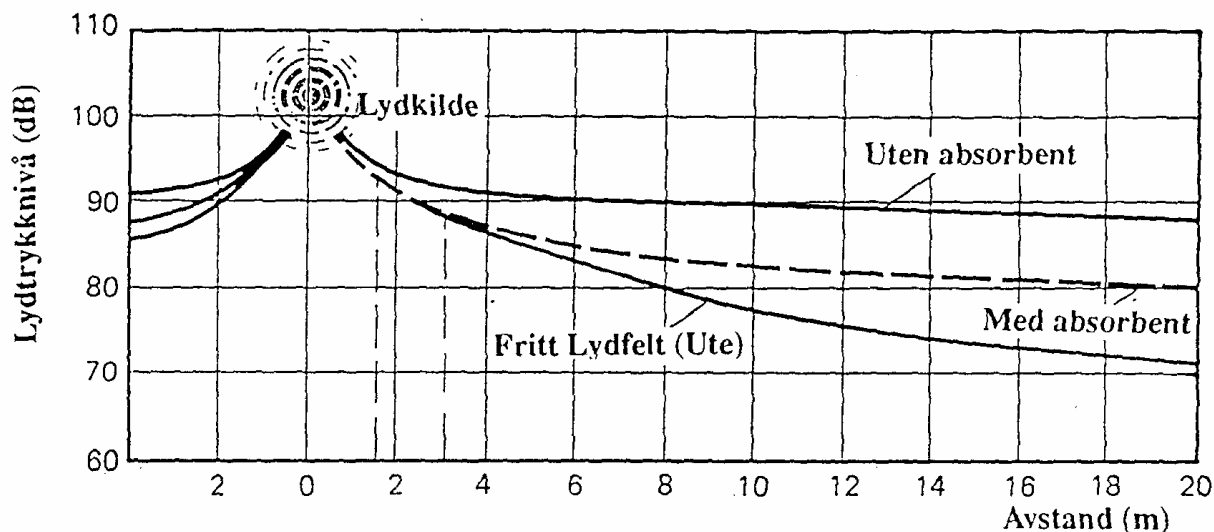


Figur 3.2. Speiling av lyd-kilder.

- Ved sfærisk (kuleformet) lyd-utbredelse i helt fritt lydfelt, reduseres lydtrykknivået med 6 dB for hver fordobling av avstanden.
- Nær store lyd-kilder blir lyd-utbredelsen ikke sfærisk, og lydtrykknivået reduseres ikke så fort med avstanden.
- Lyd-utbredelsen fra en lang tynn lyd-kilde blir sylinderformet, og lydtrykknivået avtar med 3 dB pr. avstandsfordobling.
- Lyd-utbredelsen fra en stor flateformet lyd-kilde vil ikke gi noen avstandsdempning før utenfor en avstand som er større enn kildens dimensjoner.
- Harde tette flater skjermer for lyd-utbredelse i en retning, men reflekterer lyd slik at lydtrykknivået blir høyere i andre retninger.

Mellom flere harde flater (i rom) blir lyden reflektert flere ganger, slik at lydtrykknivået reduseres ikke så fort med avstanden. Etersom speilbildene og kilden er synkroner kan det oppstå stående lyd-bølgemønstre som gir store lokale variasjoner i lydtrykknivået.

Lydtrykknivået i en posisjon inne i et rom vil bestå av summen av direktelyd og reflektert lyd. Utenfor en viss avstand fra lyd-kilden vil den reflekterte lyden dominere over direkte-lyden. Dette kalles "Diffuslydfeltet". Se Figur 3.3. Lydtrykknivået fra den reflekterte lyden avhenger av rommets størrelse og hvor godt begrensingsflatene reflekterer lyd.



Figur 3.3. Lydutfbredelse omkring små lydkilder inne og ute.
(Fjerdingstad, Praktisk støyreduksjon)

Når omgivelsenes akustiske egenskaper er velkjente kan en ut fra målinger av lydtrykknivå i bestemte posisjoner bestemme lydkildenes totale avstrålte lydeffekt.

Omvendt, når lydkildens lydeffekt og omgivelsenes dimensjoner og akustiske egenskaper er kjente, kan lydtrykknivå i bestemte posisjoner og avstander beregnes.

Med omgivelsenes akustiske egenskaper menes normalt rommets volum og begrensings-flatens lydabsorpsjonsevne. Midlere lydabsorpsjonsfaktor for alle begrensingsflatene i et rom kan best bestemmes ved etterklangsmåling, eller ved å beregne ut fra tabellverdier for alle delflatene i rommet. Utendørs kan en regne som fullstendig lydabsorberende flater i de retninger som lyden ikke treffer noe.

3.2.1 Lydutfbredelse ute.

Ute kan spesielt bakken, bygninger og skog, samt været, påvirke lydutfbredelsen.

Bygninger og terrenget o.l. kan ha både skjermende og reflekterende virkning.

Hardpakket, gjennomvåt eller frosset mark, asfalt og betong, is og vannflater, og tykk skare er lydreflekterende flater som ikke gir noen ekstra lydtemping, mens myk gressbakke og løs snø kan ha betydelig lydabsorpsjon.

Trær kan ha både lydabsorberende og lydreflekterende effekter men det kreves tykt skogbelte for å oppnå støytemping av betydning.

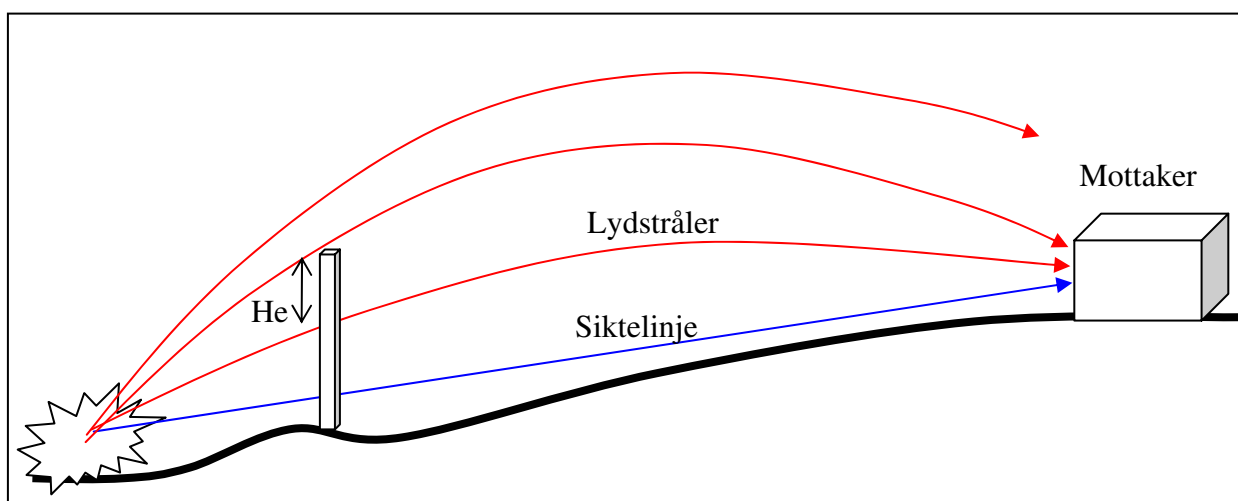
Spesielt for lydutfbredelse over lang avstand har både bakkeforholdene og værforholdene stor betydning. Når temperaturen stiger med høyden og når det er medvind øker lydutfbredelseshastigheten med høyden, og det bidrar til at lyden når langt.

I forskrifter om grenseverdier for støy til nabo settes krav til bakkeforhold og værforhold under målingene. Det skal bl.a. være svak medvind eller vindstille med lufttemperatur som stiger litt med høyden. Det vil si overskyet dag og svak medvind, eller klar stille kveld etter solnedgang. Under slike forhold får lydutfbredelsesveien en buet form som vist i Figur 3.4.

Et vanlig tiltak for å dempe lydutbredelsen ute er skjerming. Skjermen kan dannes av det naturlige terrenget, kunstige jordvoller eller skjermkonstruksjoner, eller bygninger.

Lyddempningen ved skjerming er avhengig av hvor stor vinkel lydstrålen må bøyes over skjermtoppen på veien mot mottakeren. På grunn av meteorologiske forhold har denne lydstrålen gjerne form av en høy bu. Derfor må skjermen plasseres nærmest mulig støykilde eller mottaker og være så høy som mulig, godt over siktelinjen mellom lydkilde og mottaker. Den må dessuten rekke godt ut til begge sidene av den direkte lydstrålen for å være effektiv. Se Figur 3.4.

Skjermen må være lufttett, også mot bakken, og ha tilstrekkelig flatevekt til at lyd gjennom skjermen blir ubetydelig i forhold til den lyden som går over skjermen. Skjermdeмпning er størst ved høye frekvenser. Se kapittel 4.2.



Figur 3.4 Utendørs lydutbredelse og støyskjerm, prinsippskisse.
Det er effektiv skjermhøyde H_e som avgjør lyddempningen.

3.2.2 Lydutbredelse i kanaler.

Ved lydutbredelse i en kanal vil lydbølgefrontens areal ikke kunne bli større enn kanaltverrsnittet. Lydtryknivået vil derfor ikke reduseres med økende avstand i en kanal (tunnel) hvis det ikke er andre tap underveis. Slike tap kan være lydgjennomgang ut gjennom kanalveggen, og tap i innlagt lydabsorbent på innsiden av eller innenfor kanalveggen.

I ventilasjonskanalsystem kompliseres lydutbredelsen av at alle komponentene langs kanalen kan ha både lyddempende og lydgenererende virkning (fra luftstrømmen).

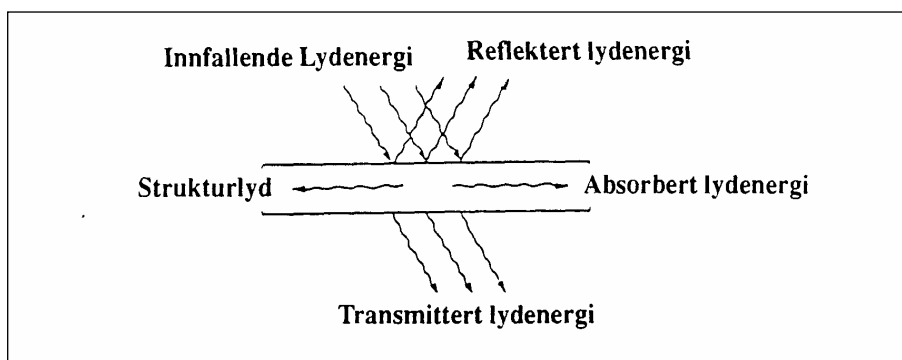
Lydgenerering i vifter og passive komponenter skyldes hovedsakelig at retnings- og tverrsnitts- endringer gir strømningsstøy og turbulens. Spesielt hvis strømningsstøy-genererende deler kommer for tett etter hverandre blir støyen ytterligere økt. For eksempel vil støyen fra en vifte øke hvis noe forstyrrer luftstrømmen nær vifta. Det kan være gitter, stag, viftereim, varmeelement, bend etc.

3.3 Lydoverføring

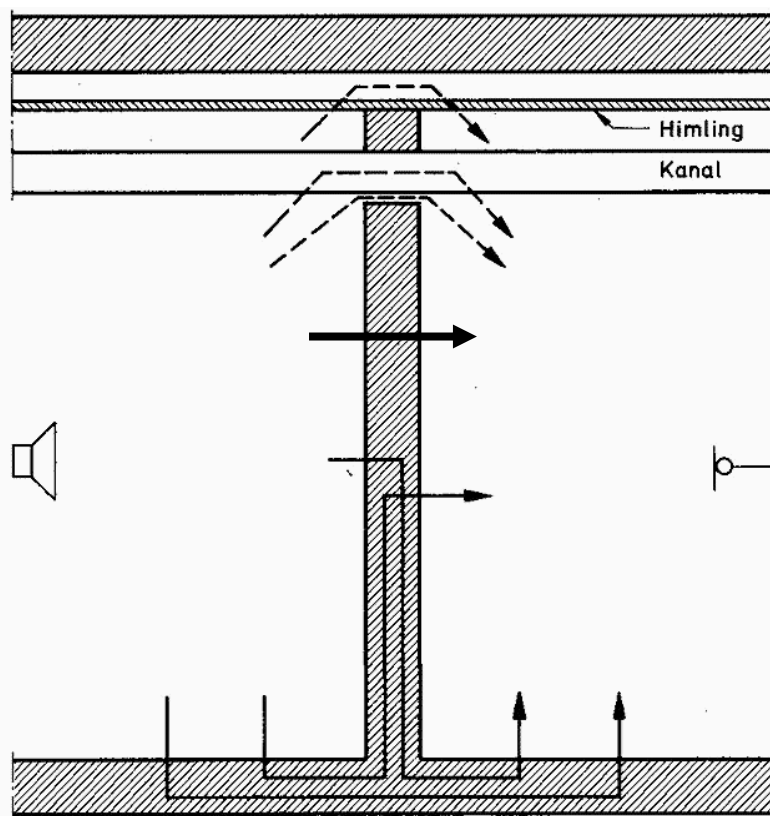
Når lydenergi i luften treffer en begrensingsflate mot et annet medium (vegg) blir noe lydenergi reflektert, noe går over i varme, og noe går videre i det nye mediet som strukturlyd og vibrasjoner. Noe av dette avstråles igjen som luftlyd fra vibrasjonene på begge sider av veggen. Se Figur 3.5.

Sett fra lydkildesiden betraktes alt som ikke reflekteres som absorbert. Det av dette som ikke går videre som luftlyd på den andre siden betraktes som isolert.

Et åpent vindu er således en god lydabsorbent, men en dårlig lydisolator. Mineralull- eller skumplast-plater kan også være en gode lydabsorbenter, men isolerer relativt dårlig. God lydisolasjon krever tunge lufttette plater.



Figur 3.5 Lydoverføring mellom medier.



Figur 3.6. Lydoverføringsveier mellom rom, direkte overføring og flanketransmisjon.
(Byggforskserien 421.402)

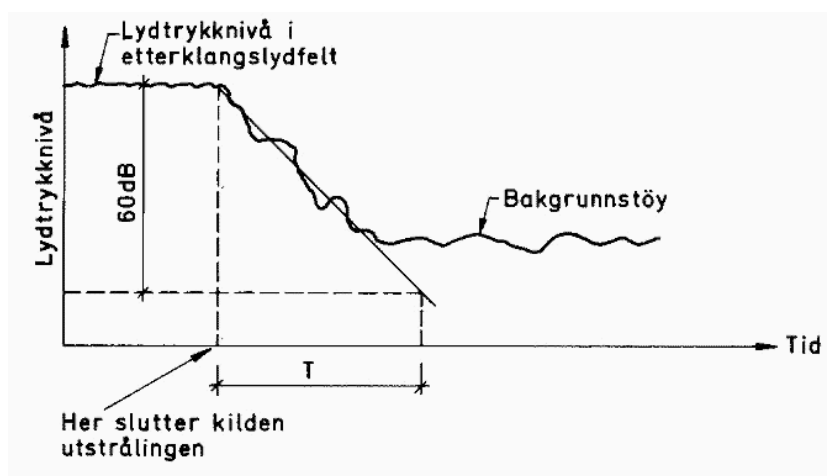
Lydoverføringen ut fra ett rom kan følge mange veier. Ved lydisolasjons-måling og -beregning er det gjerne den felles skillekonstruksjonen som er interessant, og da kalles lydoverføringen via alle andre veier for flanketransmisjon. Se Figur 3.6.

Luftlydisolasjonsevnen til en konstruksjon kalles Reduksjonstallet, og er frekvensavhengig.

Hvis en ser bort fra flanketransmisjonen kan lydtryknivået på mottakersiden beregnes ut fra lydtryknivået i senderrommet, skilleflatenes reduksjonstall og dimensjoner, og mottakersidens dimensjoner og akustiske egenskaper.

3.4 Lydabsorpsjon og etterklangstid.

Noe lydenergi reflekteres når lyden treffer et objekt. Hvor stor andel som reflekteres avhenger av objektets egenskaper. På grunn av at lyden reflekteres flere ganger mellom begrensingsflatene (gulv, vegger og tak) i et rom, vil det ta litt tid før lyden dør ut etter at lydkilden er stoppet. Se Figur 3.7.



Figur 3.7. Etterklangstidsmåling. (Byggforskserien 421.402)

Denne tiden kalles etterklangstiden og måles som den tiden det tar fra en støykilde er slått av til lydtryknivået er sunket med 60 dB. Måling av etterklangstid krever spesielt måleutstyr.

Ut fra etterklangstiden kan lydabsorpsjonen i rommet bestemmes, og den brukes ved beregninger av lydutbredelsesforhold, lydisolasjon, lydeffekt, avstandsdempning, m.m.

I fritt lydfelt (ute) synker lydnivået fra en liten kilde med 6 dB pr fordobling av avstanden.

På grunn av refleksjonene i et hardt rom vil lyden der ikke dempes så fort med avstanden.

For å få maksimal avstandsdempning inne kreves et minimum av lydabsorberende kledning i rommet. Byggeforskrifter og Arbeidstilsynets forskrifter stiller krav til minimum gjennomsnittlig lydabsorpsjonsfaktor 0.20 for alle grenseflatene (gulv, vegger og tak) i arbeidslokaler.

Tabell 3.1 viser eksempler på lydabsorpsjonsfaktorer for noen vanlige materialer.

Lydabsorpsjonsfaktoren viser hvor stor andel av den innfallende lydenergien som ikke reflekteres tilbake.

Lavt lydabsorberende tak og skjermvirkning fra møblering kan gi ekstra avstandsdempning.

I rom hvor det er viktig å oppfatte tale eller nyte musikk stilles det bestemte krav til etterklangstiden og absorbentplasseringen.

Tabell 3.1. Eksempler på lydabsorpsjonsfaktorer for noen materialer.

Materiale	Lydabsorpsjonsfaktor α i oktavbånd senterfrekvens (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ru betong / pusset leca	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Upusset lecablokk	0.37	0.49	0.50	0.49	0.49	0.48
0.7 mm korrugert tett stålplate	0.24	0.28	0.25	0.17	0.11	0.12
30% perforert tynnplate på 50 mm mineralull	0.15	0.60	0.90	0.90	0.90	0.80
samme med innlagt 0.08 mm plastfolie	0.20	0.70	1.00	0.80	0.60	0.35
Enkel panel / plate kledning på vegg	0.15	0.15	0.07	0.05	0.03	0.08
21 mm tre spaltepanel 45/15 mm, 75 mm min.ull	0.30	0.90	0.90	0.65	0.50	0.45
Nålefilt gulvteppe	0.01	0.02	0.05	0.15	0.30	0.40
Vindu med 3-12-3 mm glass	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02
Glatt gardin 100 mm fra vegg	0.05	0.10	0.40	0.65	0.70	0.75
Ullteppe, foldet, 100 mm fra vegg	0.20	0.50	0.70	0.70	0.80	0.90
25 mm mineralull på betong	0.10	0.25	0.75	0.90	1.00	1.00
100 mm mineralull på betong	0.60	0.85	0.90	1.00	1.00	1.00

4 LYDDEMPNING, GENERELT GRUNNLAG

Det er normalt A-veid lydnivå som det stilles krav til. For valg av effektive tiltak er det derfor nødvendig å vite hvilket frekvensområde som er avgjørende for dBA-verdien. Hvordan dette gjøres er vist i Kapittel 2.1.

For de kraftverkene vi har målt, ligger støyen i det midlere frekvensområdet, eventuelt med noen markerte rentonekomponenter gitt av rotasjonshastigheten på turbin og generator. Lavfrekvent støy synes ikke å være noe problem.

Først bør vurderes om det er mulig å gjøre noe med selve lydkilden. Lyddata bør brukes ved valg av utstyr, og det må fastlegges hva som genererer støyen, hvordan støyen sprer seg i lydkilden, og hva som avstråler støyen til omgivelsene.

Støydempning ved kilden kan oppnås ved å endre på prosessen, bryte interne utbredelsesveier, endre avstrålingsegenskaper, skjerme avstrålingen i følsom retning, eller kapsle inn kilden.

Endring av støygenererende prosesser kan f.eks. bestå i å gjøre om støt til mykere lengre kraftforløp, for eksempel ved å skråstille skovler og lignende, eller å endre turtall, skovlantall o.l. slik at dominerende frekvenser kommer i mindre kritiske områder i forhold til forskjellige resonanser. Uheldige utforminger og plasseringer, samt manglende vedlikehold kan gi økt støy.

Ved å unngå stive forbindelser mellom maskineri og deksler, innbygging o.l. kan støyavstråling begrenses. Vibrasjonsutbredelse til maskinoppheng, rørsystem, kabelsystem o.l. bør også begrenses.

Ved å endre stivhet, form og indre tap på deksler o.l. kan støyavstrålingen reduseres. Påføring av dempebelegg kan redusere avstråling av strukturlyd men gir ikke nødvendigvis nevneverdig forbedring av lydisolasjon. Som forklart i kapittel 4.3 bør det påses at platens ”koinsidensfrekvens” ikke kommer i kildens dominerende frekvensområde.

Lydutbredelsen inne i rom avhenger av lydabsorpsjonsevnen til rommets begrensingsflater. Innføring av lydabsorberende kledning kan redusere støynivået i rommet, og derved kommer også mindre støy ut fra rommet. Lydabsorberende kledning gir dessuten større avstandsdempning i rommet.

Videre kan ofte støykilden bygges inne eller avskjermes.

Lydabsorpsjon, lydisolasjon, skjermdempning og vibrasjonsisolering er alle sterkt frekvensavhengige. Valg av utførelser må derfor baseres på frekvensanalyser av støysituasjonen og beregninger av tiltakenes frekvensrespons. Det er generelt vanskeligst å oppnå god virkning ved lave frekvenser.

4.1 Lydabsorpsjon

Lyden energi som reflekteres fra begrensingsflater bidrar til økt lydnivå, økt etterklangstid, redusert avstandsdempning og redusert taleforståelighet.

På grunn av det økte lydnivået inne i rommet kommer også mer lyd ut gjennom rommets begrensingsflater og eventuelle åpninger.

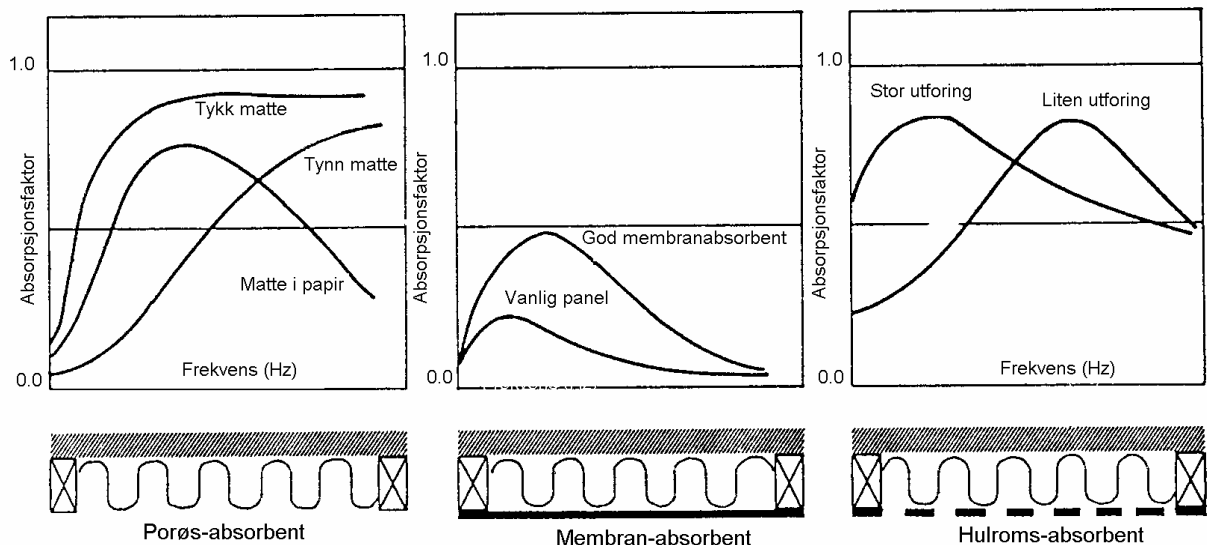
I refleksjonsfri omgivelser synker lydnivået med 6 dB for hver fordobling av avstanden fra en liten støykilde. Erfaring har vist at i store normalt formede rom oppnås fullgod avstandsdempning hvis rommets gjennomsnittlige lydabsorpsjonsfaktor (for gulv, vegger og tak) er over ca. 0.35. Arbeidstilsynets forskrifter krever gjennomsnittlig lydabsorpsjonsfaktor på minst 0.20 i arbeidslokaler med støyende aktivitet.

Økning av rommets gjennomsnittlige lydabsorpsjonsfaktor kan oppnås ved å montere kledning med høy lydabsorpsjonsfaktor på arealer som opprinnelig har lav lydabsorpsjonsfaktor.

De vanligste lydabsorberende kledninger består av mineralull- eller porøse skumplast-plater. Materialet må ha åpne, kommuniserende porer, men kan være beskyttet av glassfiberduk, perforerte plater og/eller tynn plastfolie. Det finnes også lydabsorbenter som består av mikroperforerte tynnplater, evt. med en tynn duk på, og med bare luftrom bak.

Lydabsorpsjonsegenskapene avhenger av absorbentdelenes tykkelser, geometri, flatevekt og strømningsmotstand, og er frekvensavhengig, slik at det må tas hensyn til støyspekteret ved valg og dimensjonering. Spesielle konstruksjoner med avstemte membraner eller perforeringer kan dimensjoneres for bestemte frekvensområder.

Figur 4.1 viser typiske lydabsorpsjonsegenskaper for noen konstruksjoner.



Figur 4.1. Lydabsorbenter.

For å oppnå god lydabsorpsjon ved lave frekvenser må absorbenttykkelsen, d.v.s. avstanden mellom eksponert absorbentoverflate og bakenforliggende hard flate, være stor, gjerne opptil 200 mm for å få god absorpsjon under 100 Hz.

For å oppnå god lydabsorpsjon ved høye frekvenser må eventuell tynn perforert beskyttelsesplate ha mer enn 25 % åpent areal, og eventuell plastfolie være tynnere enn 0.05 mm og ikke være stramt spent eller klemt mellom mineralull og perforertplate.

Nødvendig areal lydabsorberende kledning for å oppnå en bestemt gjennomsnittlig lydabsorpsjonsfaktor i et rom kan beregnes:

$$\text{Kledningsareal } S_k = S(\alpha_n - \alpha) / (\alpha_k - \alpha_b) \quad (\text{m}^2)$$

- hvor
- S = lokalets totale overflateareal (gulv, vegger og tak) (m^2)
 - α_n = ønsket gjennomsnittlig lydabsorpsjonsfaktor, f.eks. 0.35.
 - α = nåværende gjennomsnittlig lydabsorpsjonsfaktor.
 - α_k = lydabsorpsjonsfaktor for valgt lydabsorberende kledning.
 - α_b = nåværende lydabsorpsjonsfaktor for området som kles.

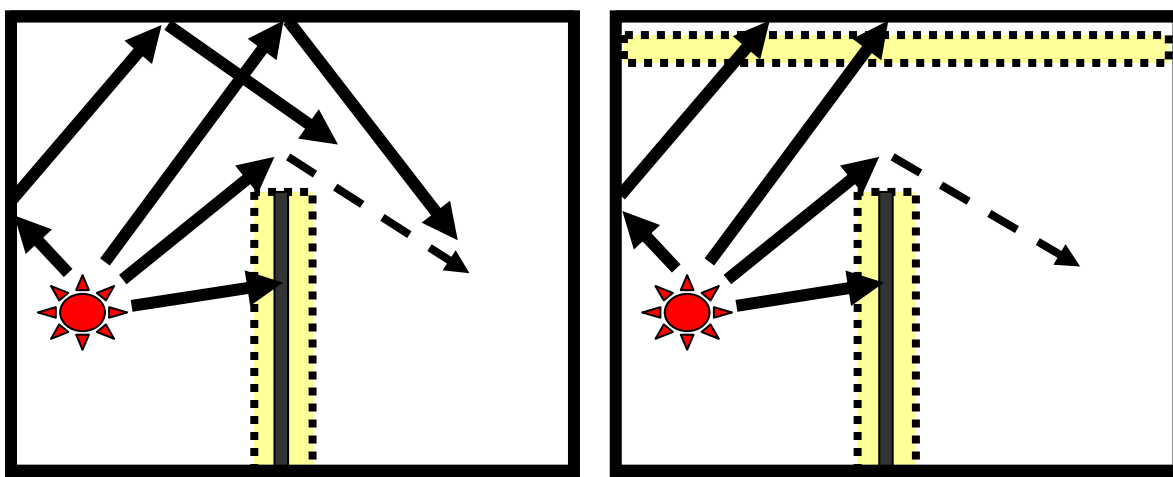
REGNEEKSEMPEL: Nåværende gjennomsnittlig lydabsorpsjonsfaktor er 0.10 i et lokale med dimensjoner 5 x 10 x 3 m, d.v.s. totalt overflateareal 190 m^2 . På en flate med absorpsjonsfaktor 0.05 monteres en kledning med absorpsjonsfaktor 0.80. For å oppnå gjennomsnittlig absorpsjonsfaktor 0.35 kreves da 63 m^2 kledning.

I arbeidslokaler bør den lydabsorberende kledningen fordeles over hele lokalet, men også konsentreres på harde flater som vegger o.l. nær støykilder eller personer. Det kan være fordelaktig å betrakte støykilden som lyskilde og begrensingsflatene som speil, og ut fra strålegangsbetraktning dempe de første refleksjonene (nær kilden).

For å dempe stående bølger mellom parallelle motstående harde flater bør det være absorberer på den ene av hvert flatepar, d.v.s på taket og på to vegger vinkelrett på hverandre.

Lydabsorberende kledning resulterer i kortere etterklangstid, større avstandsdempning, lavere støynivå og bedre taleforståelighet.

Lydabsorberende kledning er en forutsetning for at avskjerming av støykilder eller personer skal virke. Ellers blir støyen reflektert forbi skjermen. Se Figur 4.2.



Figur 4.2. Skjerm i udempet/dempet rom.

Lydabsorpsjonsdata for materialer måles normalt på 10 - 12 m² store prøvelfelter i klangrom etter ISO 354 v.h.a. etterklangsmålinger. Resultatene bestemmes normalt som absorpsjonsfaktor α i 1/3-oktavbåndene fra 100 til 5000 Hz. Disse resultatene blir imidlertid ofte forenklet til “Praktisk absorpsjonsfaktor” α_p for oktavbåndene fra 125 til 4000 Hz, eller videre til en enkel “Veiet absorpsjonsfaktor” α_w med “Formfaktor”, og evt. en “Absorbentklasse”.

For frittstående elementer som stoler eller fritthengende lydabsorbenter kan lydabsorpsjonsdata bli presentert som “Ekvivalent absorpsjonsareal”, d.v.s det arealet med absorpsjonsfaktor 1.00 som elementet tilsvarer. Disse begrepene er forklart i standarder og Byggdetaljblader.

Se forøvrig Byggforsk Byggdetaljer blad 527.302 og 543.414.

4.2 Støyskjermer

Støyskjermer kan ha mange størrelser og utforminger. De kan være små og lokale mellom en maskinprosess og operatørens hode eller en åpning, eller de kan være store mellom forskjellige områder i en hall eller utendørs. I alle tilfelle må alle mulige lydutbredelsesveier tas i hensyn til for at skjermen skal bli effektiv.

En skjerm er bortkastet hvis harde flater reflekterer lyden forbi skjermen. Det er i slike tilfelle nyttig å betrakte lydstrålingen som lysstråler som speiles i harde flater. Se Figur 4.2. Husk at også gulv, vinduer og maskiner reflekterer lyd.

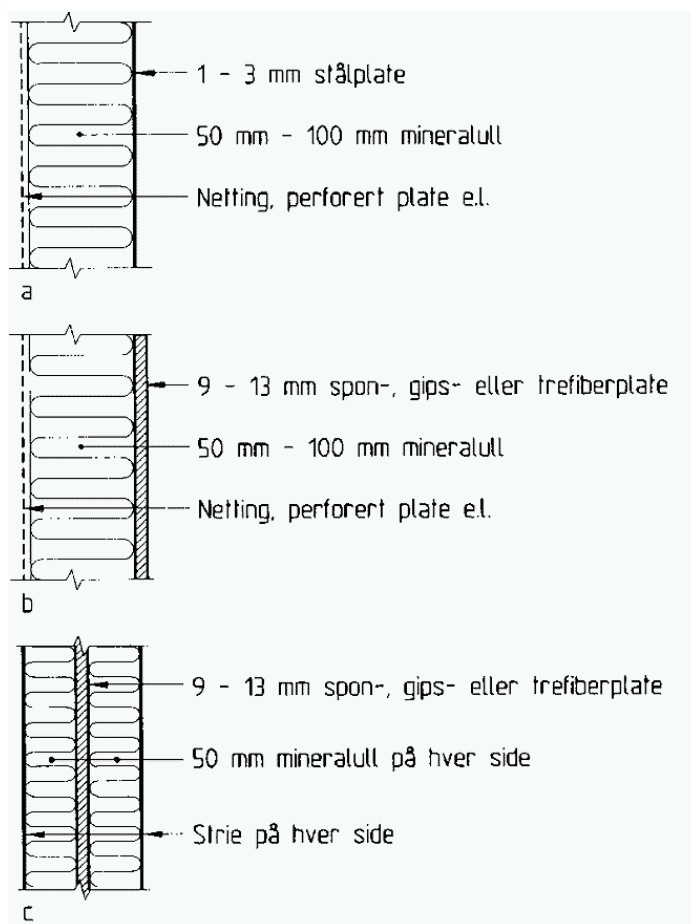
Skjermen må sperre siktlinja mellom mottakeren og både støykilden og eventuelle “speilbilder” av støykilden. Ved lange avstander (utendørs) må skjermen være enda høyere p.g.a. buet lydutbredelsesvei, se kapitel. 3.2.1 og Figur 3.4.

Skjermens lyddempningsevne avhenger av hvor stor vinkelendring lyden må gjøre ved skjermkanten for å nå mottakeren. For å få størst mulig vinkel bør skjermen plasseres nær kilde eller mottaker. Vinkelen kan da økes ytterligere ved spesiell skjermutforming med knekk e.l.

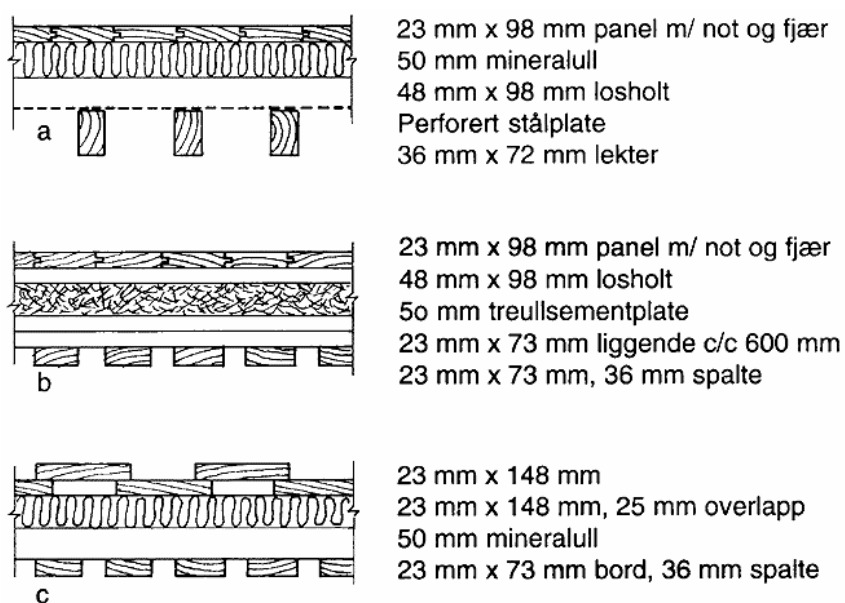
Dessuten må selve skjermmaterialet ha tilstrekkelig lydisoleringsevne til at den lyden som går igjennom skjermen blir ubetydelig i forhold til den lyden som går rundt skjermkanten. Skjermdempningen avtar mot lave frekvenser. En stor skjerm kan maksimalt gi opp mot ca 20 dB dempning ved høye frekvenser. En tett plate glass, pleksiglass, plast, stål, gips, spon, tett trepanel e.l. er derfor normalt tilstrekkelig for lave skjerner, mens høye skjerner gjerne bør ha ekstra platelag. Bare mineralull-, skumplast- eller porøs-trefiber-plater er derimot alt for dårlig. Se Figur 4.3 og Figur 4.4.

I de fleste sammenhenger er det fordelaktig at skjermen forsynes med lydabsorberende kledning på en eller begge sider. Store skjerner for arbeidsplasser kan f.eks. utformes som flyttbare foldevegger på hjul.

Det finnes beregningsmetoder for skjermdempning, bl.a. i Byggforskserien Byggdetaljer bladene 421.423 for innendørs skjerner og 517.521 - 522 for utendørs skjerner.



Figur 4.3 Eksempler på innendørs støyskjerm-konstruksjoner med absorpent.
(Byggforskserien 421.423)



Figur 4.4 Eksempler på utendørs støyskjermer med en lydabsorberende side.
(Byggforskserien 517.522)

4.3 Lydisolasjon

Når den utstrålte lydenergien treffer en begrensingsflate blir noe energi reflektert, noe går over i varme, og noe går videre som strukturlyd og luftlyd. Se Figur 3.5.

Lydisolasjonen mellom to rom avhenger av alle lydveiene mellom rommene. Lydoverføring via andre konstruksjoner enn den felles skilleflaten (veggen) kalles flanketransmisjon. Se Figur 3.6.

God lydisolasjon forutsetter minst ett lufttett sjikt med stor masse. Stivheten bør ikke være for stor i forhold til flatevekten, og det er fordelaktig med store indre tap. Det er to hovedprinsipper for utførelse av lydisolerende skille: enkeltvegg og dobbeltvegg. Lydisolasjonen er frekvensavhengig.

4.3.1 Enkeltvegg

Figur 4.5 viser prinsipielt lydisolasjonen for en enkeltvegg som funksjon av frekvensen. Ved lave frekvenser avhenger lydisolasjonen mye av "innspenningsresonanser" som skyldes platestørrelser og kantinnspenningsforhold. Plater med små dimensjoner eller tette knekk eller avstivninger kan ha innspenningsresonanser langt oppover i frekvensområdet.

Ovenfor disse innspenningsresonansfrekvensene stiger lydisolasjonen med ca 6 dB pr. oktav, inntil "koinsidensfrekvensen" hvor lydisolasjonen blir dårligere fordi lydavstrålingen blir spesielt effektiv når bøyebølgelengden i platen sammenfaller med lydbølgelengden i luft.

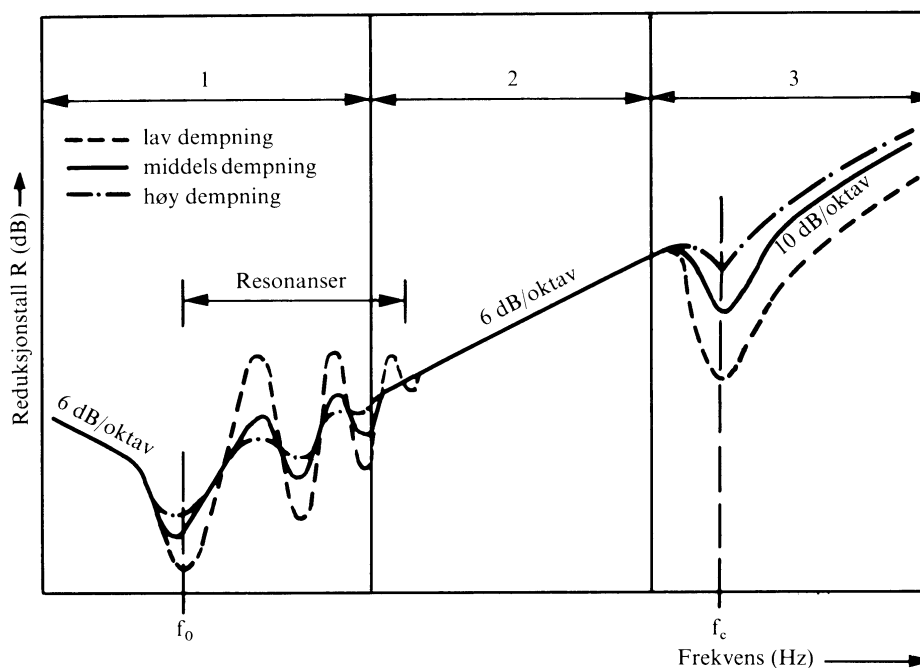
Koinsidensfrekvensen avhenger av platestivheten i forhold til massen. Figur 4.6 viser koinsidensfrekvenser for noen materialer som funksjon av tykkelsen.

Reduksjonstallet i det massestyrte området (mellom innspenningsresonansene og koinsidensfrekvensen) kan grovt beregnes med:

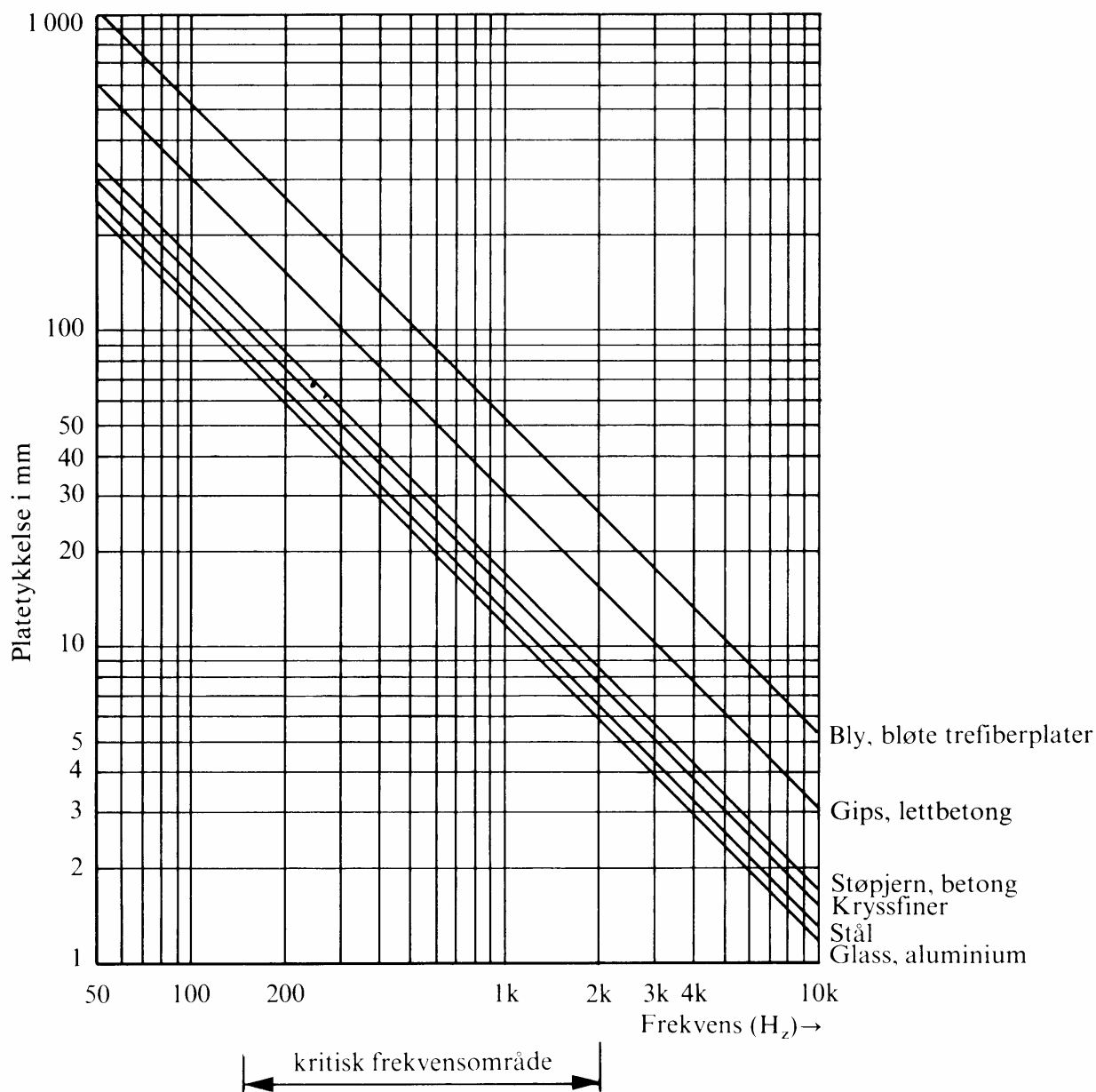
$$R = 15 \cdot \log(m \cdot f) - 26 \quad (\text{dB})$$

hvor m = veggens flatevekt (kg/m^2) f = frekvens (Hz)

En fordobling av veggens flatevekt gir 4 - 6 dB bedre lydisolasjon i det massestyrte frekvensområdet.



Figur 4.5. Lydisolasjon i enkeltvegg avhenger av:
1: Stivhet og resonanser. 2: Masse. 3: Koinsidens (masse/stivhet).
 (Fjerdingstad – Osmundsen - Heidem, Lyd og støy)

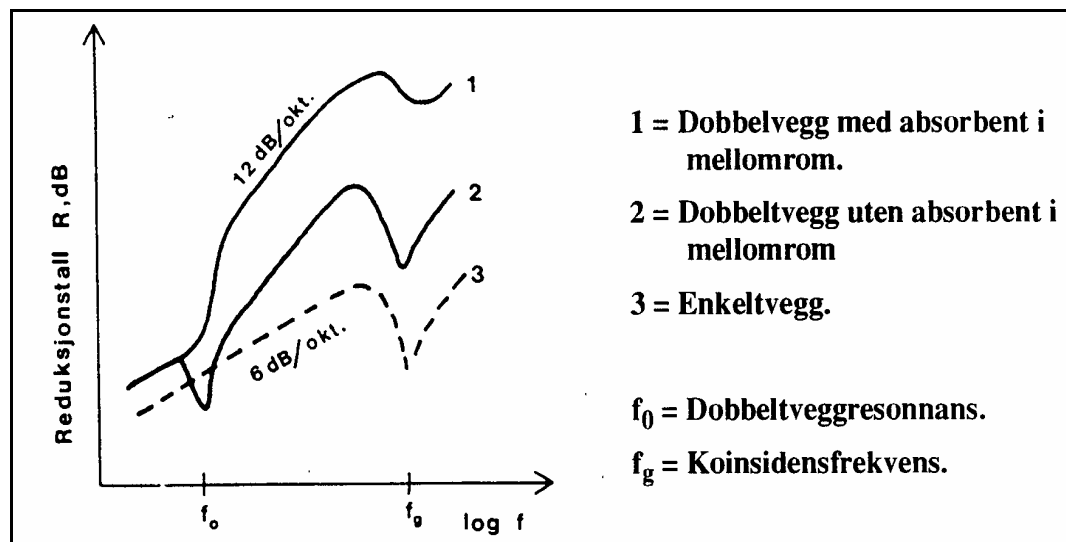


Figur 4.6. Koinsidensfrekvenser for materialer og tykkelser.
(Fjerdingsstad – Osmundsen - Heidem, Lyd og støy)

4.3.2 Dobbeltvegg

En dobbeltvegg består av to tette plater med et luftrom imellom. Lydisolasjonen for en dobbeltvegg bestemmes av egenskapene til de to platene, samt avstanden og koblingen imellom dem. Figur 4.7 viser prinsipielt lydisolasjonen for en dobbeltvegg som funksjon av frekvensen. I tillegg til de samme forholdene som for enkeltveggen, har nå “dobbeltveggsresonansen” stor negativ betydning. Den avhenger av platenes flatevekt og avstanden mellom dem.

Det er særdeles fordelaktig å ha lydabsorberende materiale i mellomrommet, og det bør være minst mulig koplinger mellom de to veggsideene.



Figur 4.7. Lydisolasjon i dobbeltvegg.

Dobbeltveggprinsippet kan også benyttes til å forbedre en eksisterende vegg ved å montere en ekstra “strålingsminskende” plateledning i passende avstand utenpå veggen, med absorbent i mellomrommet.

I vegger med fler enn to platelag med luftrom imellom, har de midtre platelagene liten påvirkning på lydisolasjonen. Det er de ytre (evt. sammenliggende) platelagene på begge sider som avgjør.

Dobbeltvegg-resonansfrekvens $f_0 = 60 \cdot \frac{(m_1 + m_2)}{(m_1 \cdot m_2 \cdot d_{12})}$ (Hz)

hvor m_1 = flatevekt for plateside 1, m_2 = flatevekt for plateside 2 (kg/m^2)

d_{12} = avstand mellom platesidene (m)

REGNEEKSEMPEL: Plateside 1 er 1.6 mm stål, d.v.s. 12.5 kg/m^2 . Plateside 2 er 0.6 mm stål, d.v.s. 4.7 kg/m^2 . Avstanden mellom platene er 50 mm, d.v.s. 0.05 m.

Dobbeltveggsresonansfrekvensen blir 145 Hz.

Hvor det kreves god lydisolasjon ved lave frekvenser kan det være fordelaktig å bruke tung enkeltvegg for å unngå dobbeltveggsresonans.

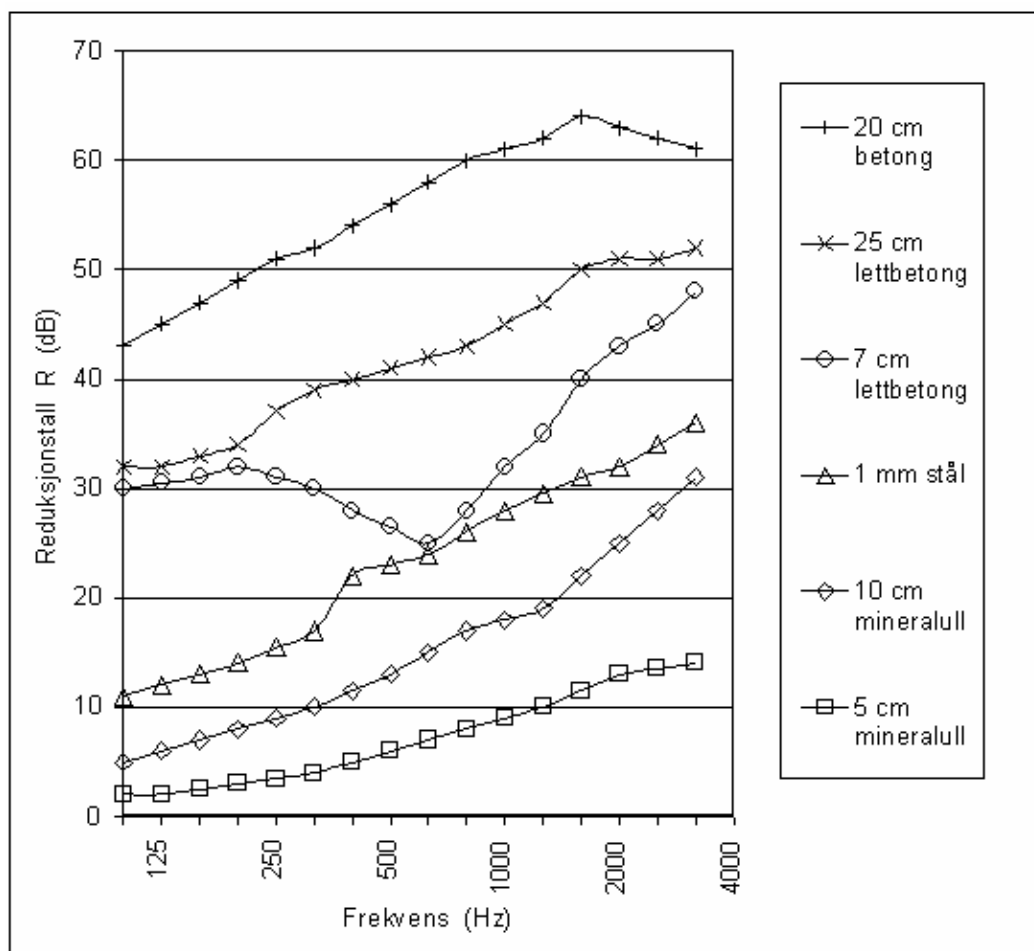
For å oppnå større flatevekt uten å senke koinsidensfrekvensen p.g.a. økt stivhet, anbefales å legge sammen flere platelag (ulimt) istedet for å øke platetykkelsen.

Dobbeltvegger må dimensjoneres slik at dobbeltveggs-resonansfrekvensen kommer langt under kritiske områder i støyspekteret.

Det må brukes lydabsorberende materiale i mellomrommet i dobbeltvegger, men kvaliteten og fyllingsgraden er ikke kritisk.

De samme reglene gjelder også for dører og vinduer. I dobbelvinduer kan hulromsabsorbent realiseres ved å legge lydabsorbent i ramma mellom glassene. En slik kantabsorbent bør ha størst mulig tykkelse.

Figur 4.8 viser typiske lydisolasjonsegenskaper for noen konstruksjoner, mens koinsidensfrekvenser for noen materialer ble vist i Figur 4.6.



Figur 4.8. Eksempler på lydisolasjon

Lydisolasjonsdata for bygningskonstruksjoner måles normalt etter ISO 140 på opptil 10 m² store prøvelfelter som monteres mellom to rom som ikke har andre innbyrdes forbindelser. Vanlige lydisolasjonsmålinger i felten kan på grunn av flanketransmisjonen bare beskrive den totale lydisolasjonen mellom to rom. For å bestemme lydisolasjonen til enkelte bygningsdeler i felten kreves spesielle metoder, f.eks. lydintensitetsmåling.

Resultatene oppgis normalt som Reduksjonstall R i 1/3-oktavbåndene fra 100 Hz til 3150 Hz. Disse resultatene blir ofte forenklet til “Veid lydreduksjonstall” R_w og til “Trafikkstøyreduksjonstall” $R_{A,ir}$ eller til “Trafikkstøy-spekteradopsjon” $C_{tr} = R_w - R_{A,ir}$. Trafikkstøyreduksjonstallet kan være nyttig for rask vurdering av lydisolasjonsevne mot lavfrekvent støy. For dører og vinduer finnes også “Lydklasser” som er basert på R_w -verdien. Disse begrepene er forklart i diverse standarder og Byggforskserien Byggdetaljblader.

Lydisolasjonsdata for forskjellige materialer og konstruksjoner kan finnes i forskjellige datasamlinger, bl.a. Byggforsk Håndbok 28, Håndbok 47 og Byggforskserien Byggdetaljblader.

4.4 Åpninger, lekkasjer og gjennomføringer

Selv små lekkasjer som sprekker og åpne elektriskerrør kan gi betydelig lydoverføring. Små lekkasjer gir svekkelser ved høye frekvenser, mens større åpninger kan gi svekkelser i hele frekvensområdet.

En lekkasje som utgjør 0.1 % av skillearealet begrenser oppnåelig lydisolasjon til maksimum 30 dB.

En lekkasje som utgjør 1 % av skillearealet begrenser oppnåelig lydisolasjon til maksimum 20 dB.

En lekkasje som utgjør 10 % av skillearealet begrenser oppnåelig lydisolasjon til maksimum 10 dB.

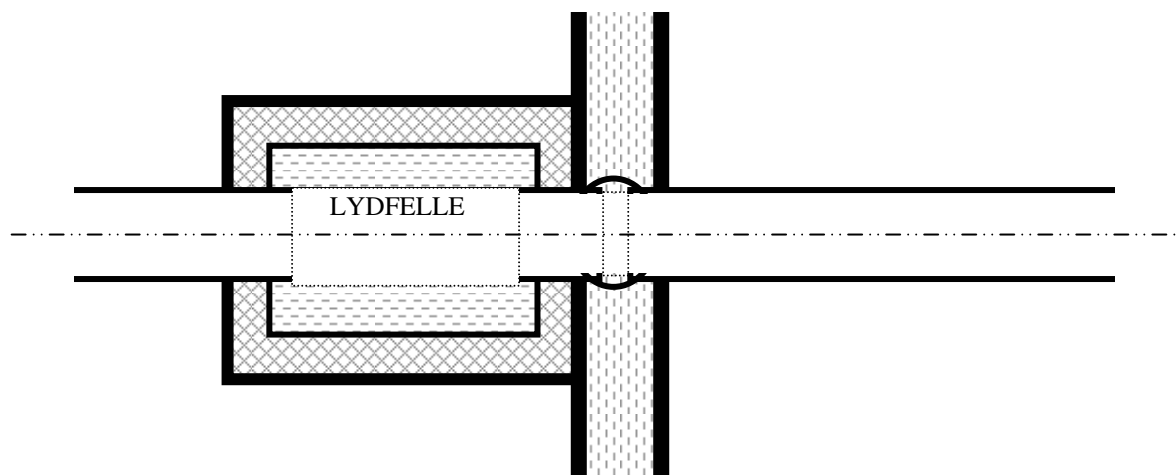
Effektiv lydtetting av åpninger og lekkasjer må bestå av tunge lufttette sjikt.

Hvis åpningen ikke kan tettes, må den utformes som en lydfelle, d.v.s. som en lang trang kanal med innvendig lydabsorberende kledning.

Tetting omkring vibrerende deler som rør o.l. bør være elastisk slik at vibrasjonene ikke overføres til flater som er effektive lydavstrålere. Se Figur 4.12.

Gjennomføringer av ventilasjonskanaler kan gi betydelig lydoverføring selv om kanalen har lydfeller. Ettersom kanaler og lydfeller gjerne består av tynne stålplater kan det være nødvendig med ekstra lydisolerende kledning utvendig på kanal og lydfelle ved gjennomføringen. Slik tilleggisolering må bestå av mineralull, skumplast e.l. med et tett tungt sjikt utenpå for å være effektiv. Se Figur 4.9.

Figur 4.9 Lydisolert kanalgjennomføring gjennom vegg,



med lydabsorbent og tung tett innkapsling omkring lydfelle og vibrasjonsisolerende kanalmansjett inni vegg.

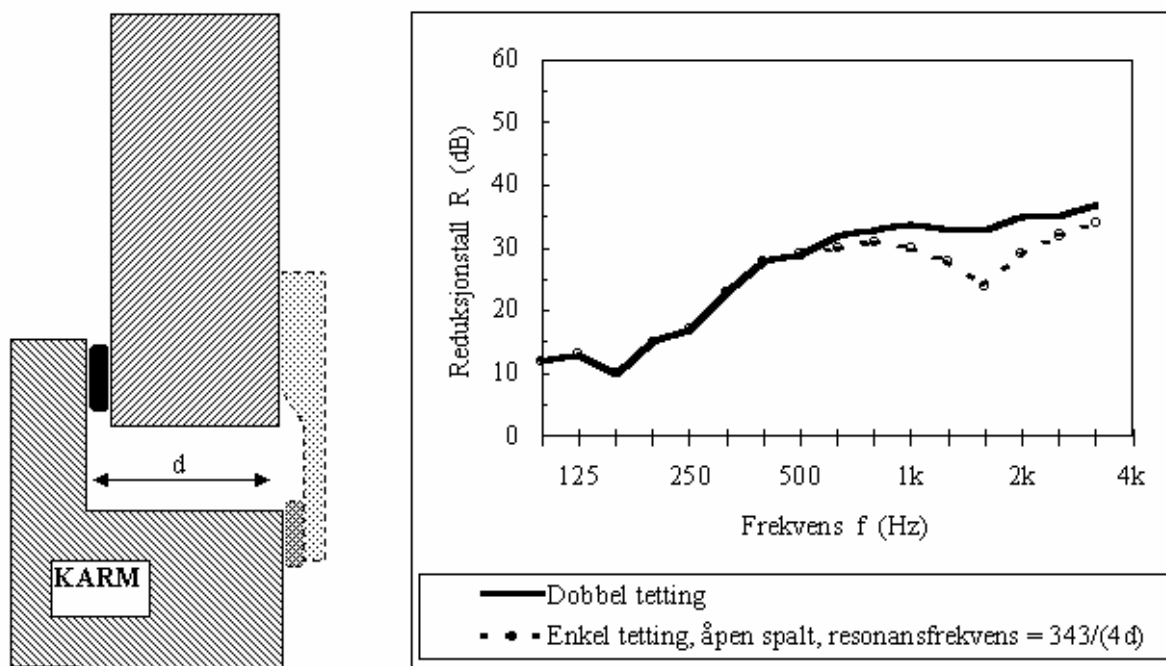
Spalter omkring vinduer, dører og luker med bare enkel tetting kan gi svekket lydisolasjon selv om det ikke er lekkasje. Det skyldes at resonanser i spalten gir økt lydtrykk i bunnen av spalten, slik at mer lyd kommer igjennom. Se Figur 4.10.

Dette problemet unngås ved å tette på begge sider. Spalt-resonansfrekvensen er bestemt ved at spaltdybden er ¼ bølgelengde:

$$f_s = c/(4 \cdot d) \quad (\text{Hz})$$

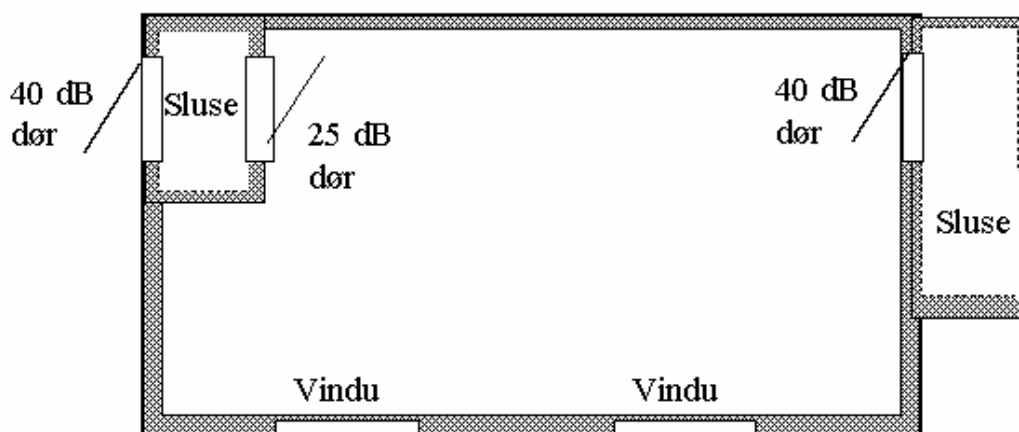
hvor c = lydhastigheten, normalt 343 m/s, og d = spaltdybden (m)

REGNEEKSEMPEL: Spaltdybde 50 mm gir spaltresonans ved 1715 Hz.



Figur 4.10. Spaltresonans.

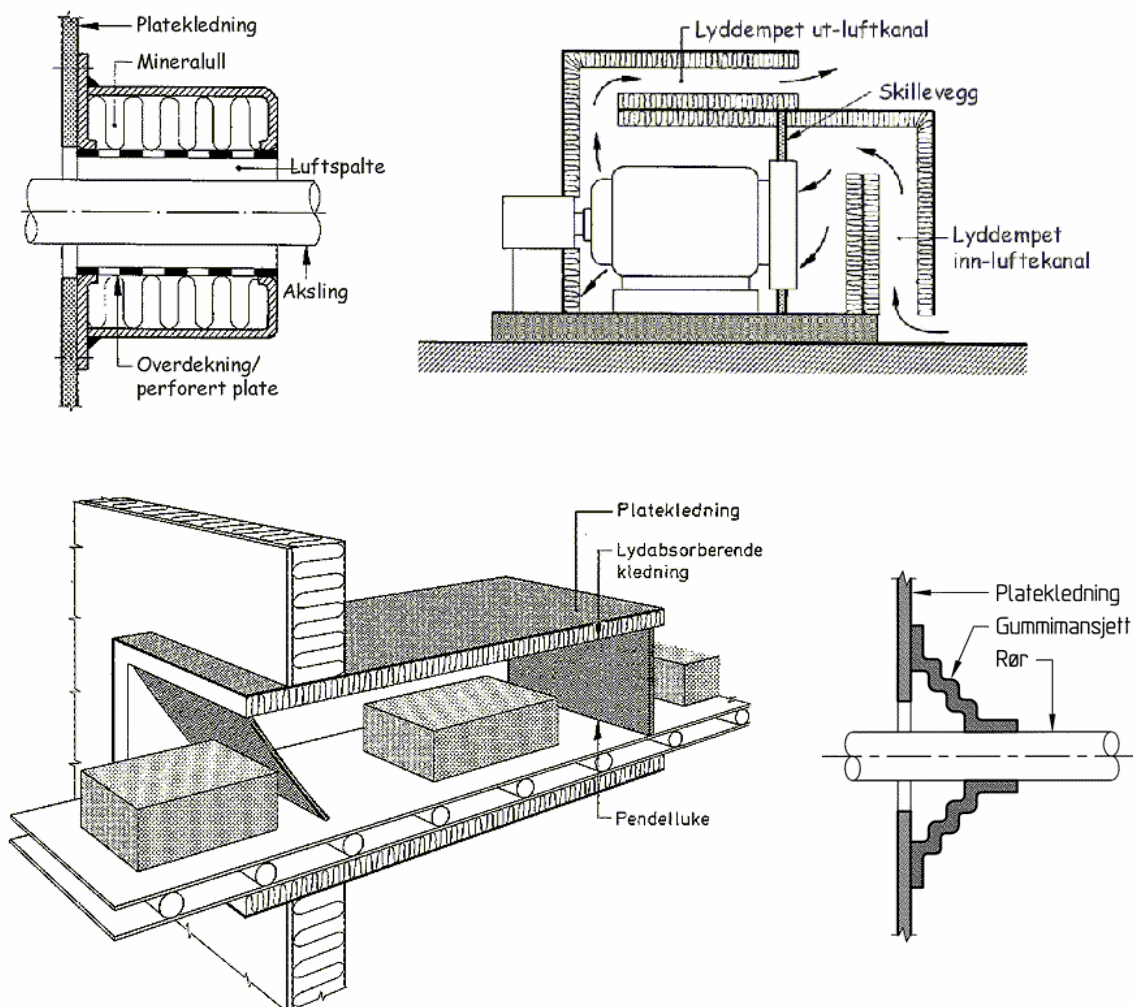
For å redusere lydlekkasje ved trafikk i dører kan lages en “sluse” med lydabsorberende vegger og tak. Slusen kan være åpen, med veggene plassert slik at de skjærer for støyen når døren er åpen, eller slusen kan være lukket med dør i begge ender. Se Figur 4.11.



Figur 4.11. Lyddempende sluser.

4.5 Lydfeller

Nødvendige åpninger i en lydisolerende konstruksjon bør forsynes med lydfeller. Det kan være ventilasjonsåpninger, akselgjennomføringer, transportåpninger, personelladkomst, etc. Se Figur 4.12



Figur 4.12. Eksempler på spesial-lydfeller og gjennomføringer.
(Byggforskserien 421.424)

En tradisjonell lydfelle består av et kanalstykke med innvendig lydabsorberende kledning på veggene og/eller i form av lydabsorberende bafler. Lyddempningsvirkningen gjennom en lydfelle er sterkt frekvensavhengig, og avhenger av egenskaper og dimensjoner på de forskjellige delene i lydfellen.

Frekvensavhengigheten har sammenheng med lydets bølgelengde. For å innvirke betydelig på lydutbredelsen må et objekt minst være i samme størrelsesorden som lydets bølgelengde. Bølgelengden er 3.4 m ved 100 Hz, 0.34 m ved 1 000 Hz, og 0.034 m ved 10 000 Hz. Det kreves derfor store dimensjoner for å oppnå god demping ved lave frekvenser med vanlige passive lydfeller.

Støy fra ventilasjonsaggregater og kanalbend er normalt dominerende i frekvensområdet under 250 Hz. Støy fra tale og maskineri er ofte dominerende i mellomfrekvensområdet 250 - 2000 Hz, mens strømningsstøy fra spjeld o.l. kan være dominerende ved høye frekvenser. Frekvensspekteret er avgjørende ved valg av lydfelleutførelse.

Som generelle regler for lydfellegedesign kan nevnes:

For dempning av lave frekvenser gjennom lydfelle må absorbentene være tykke (100-200 mm) og veien igjennom lydfellen lang (2 - 4 m). Det kan tillates forholdsvis store (100-200 mm) mellomrom mellom absorbentene.

For dempning av høye frekvenser gjennom lydfelle må absorbent-mellomrommene være små (50-100 mm) og gjerne med knekk slik at lydfellen blir “ugjennomsiktig”. Absorbentene kan være relativt tynne (20-50 mm)

For dempning av hele frekvensområdet gjennom lydfelle brukes tykke absorbenter med små mellomrom.

For ventilasjonslydfeller er det dessuten viktig at det fri gjennomstrømningsarealet og utformingen er slik at det ikke genereres for mye strømningsstøy eller blir for stort trykktap og for liten lufttransport.

Støynivået etter en lydfelle kan aldri bli lavere enn strømningsstøyen fra lydfella.

Lyddempningen avhenger både av utformingen og av materialvalget:

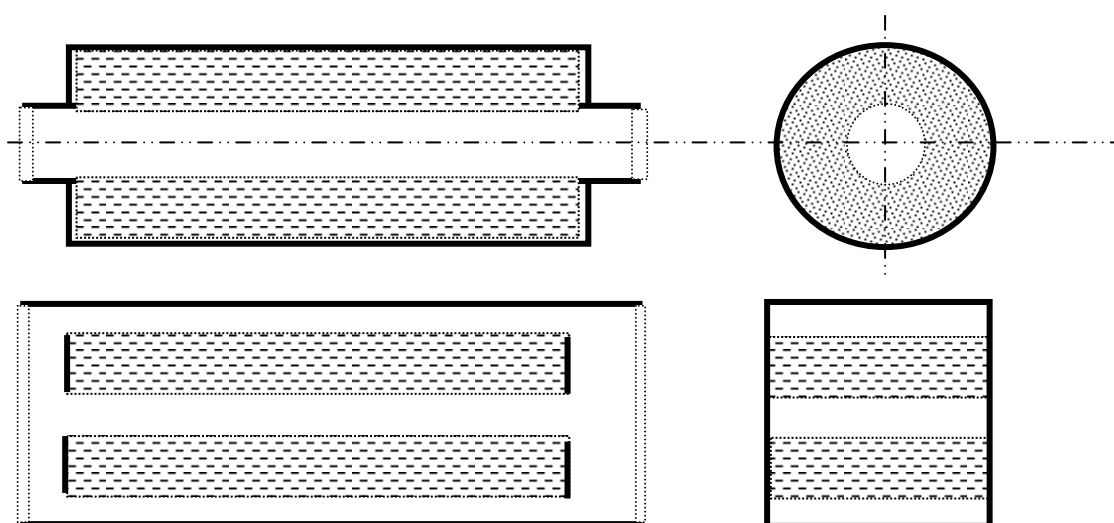
Tverre tverrsnittsoverganger kan gi økt lavfrekvensdempning på grunn av refleksjonsvirkning, men tverrsnittsoverganger genererer også ekstra strømningsstøy.

Absorbentmaterialets strømningsmotstand bør avstemmes etter absorbenttykkelse og mellomrom for å få best mulig lyddempning. Tynne absorbenter bør ha større strømningsmotstand enn tykke. Strømningsmotstanden i mineralull o.l. avhenger av romvekten. Strømningsmotstanden i overflateduken er også avgjørende. Se forøvrig Kapittel 4.1 Lydabsorpsjon.

For å oppnå god lavfrekvensdempning kan brukes spesielle prinsipper som f.eks. spesielt avstemte membran eller perforertplate-absorbenter, resonanskamre, eller “aktiv lydkansellering” (Motlyd).

Noen eksempler på lydfeller er vist i Figur 4.12 og Figur 4.13.

Det finnes flere beregningsmodeller for dempning i lydfeller på markedet, men erfaring har vist at usikkerheten kan være meget stor. En metode er beskrevet i Byggforskserien 421.424.



Figur 4.13. To eksempler på ventilasjonslydfeller, lengdesnitt og tverrsnitt.

4.6 Vibrasjonsisolering

Vibrasjonsoverføring kan ødelegge en ellers god lydisolerende konstruksjon. Dette kan skje på mange måter:

Vibrasjoner kan forplante seg via rør og kabelkanaler som selv ikke avstråler mye lyd, til større flater som blir effektive lydavstrålere.

Vibrasjoner i gulv går forbi vegger.

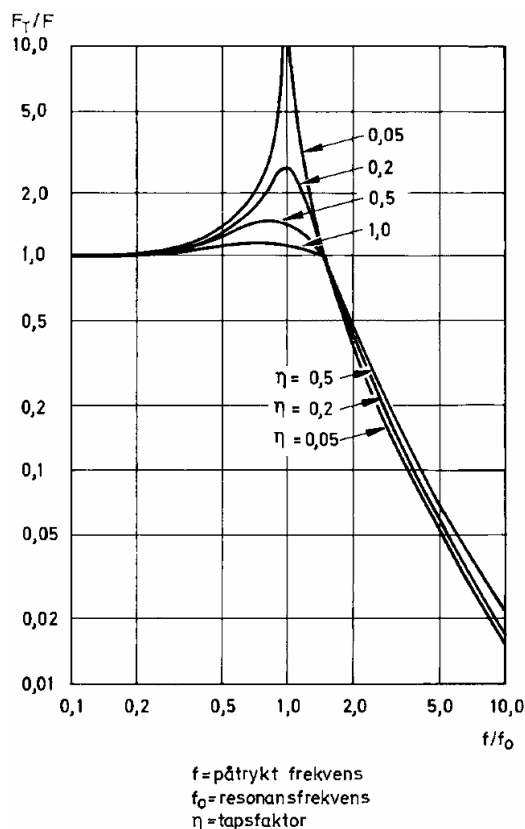
Vibrasjoner i gulv kan gå opp i vegger og avstråles mer effektivt derfra.

Det gjelder derfor å bryte vibrasjonsutbredelsen før den når kritiske områder.

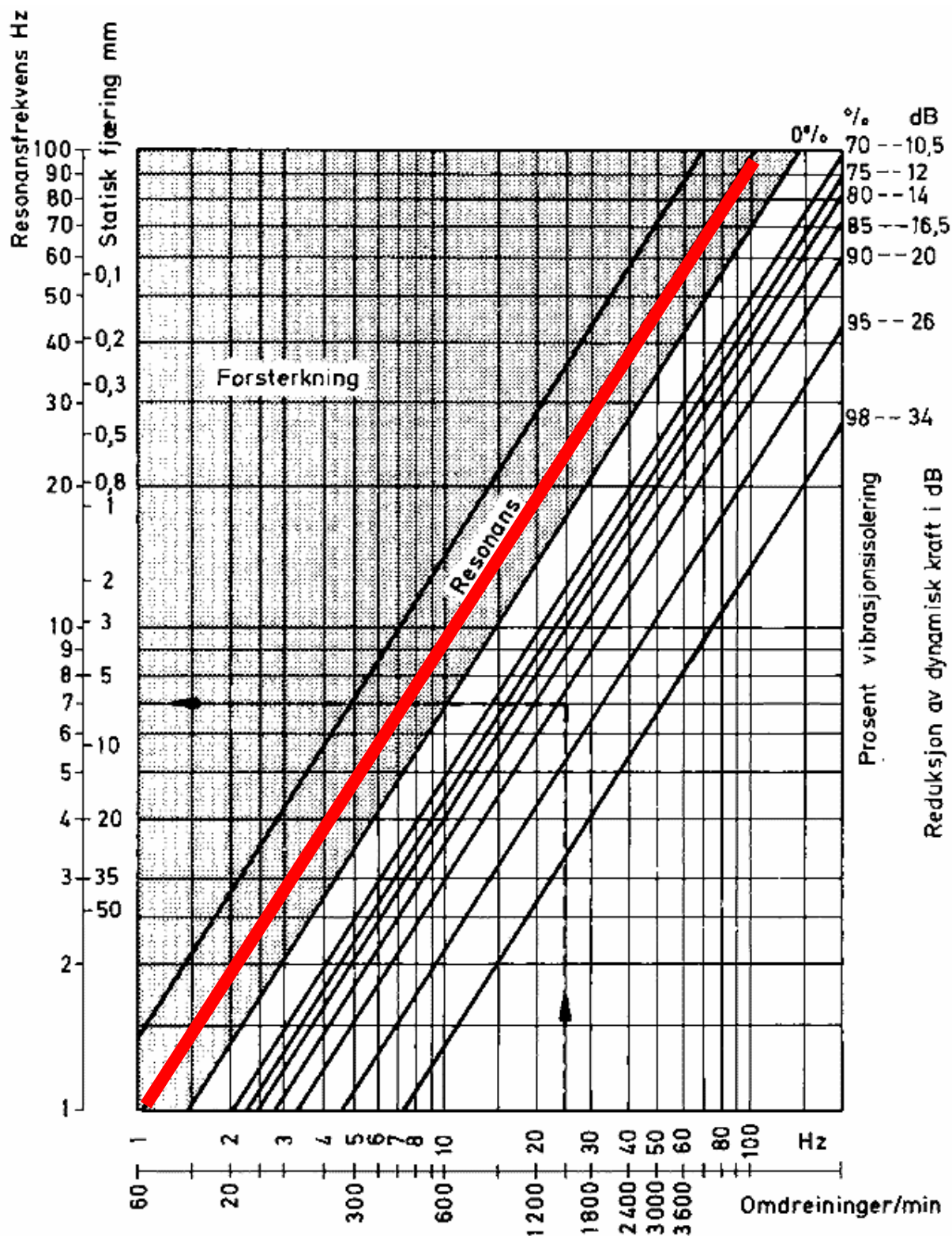
Vibrasjonsisolering krever avstemte elastiske forbindelser. Ved uheldig dimensjonering kan opphengets resonansfrekvens (egensvingning) komme i nærheten av vibrasjonsfrekvensen, og da fås forsterkning av vibrasjonene. Figur 4.14 viser vibrasjonskraft-overføringen som funksjon av forholdet mellom vibrasjonsfrekvens og resonansfrekvens for et ideelt fjærende oppheng. Et virkelig oppheng kan ha flere resonanstopper. Det fremgår av figuren at vibrasjonsfrekvensen må være høyere enn 1.5 ganger resonansfrekvensen for at det skal oppnås noe vibrasjonsdempning.

Opphengets resonansfrekvens avhenger av opphengets statiske nedfjæring, og for å oppnå vibrasjonsdempning må den statiske nedfjæringen være over en minimumsverdi som avhenger av vibrasjonsfrekvensen. Slike dimensjoneringsregler inngår vanligvis i kataloger for vibrasjonsdempere. Ved bruk av veldig myke oppheng kan det være nødvendig med spesielle dempede utsvingsbegrensere for å unngå for store utsving når opphengets resonansfrekvens passerer ved start og stopp av utstyret.

Det finnes mange typer vibrasjonsisolerende maskinsko, røroppheng, rørkoplinger, akselkoplinger, o.s.v. på markedet. Figur 4.15 viser et eksempel på dimensjoneringsregler for maskinsko.



Figur 4.14 Kraftoverføring ved vibrasjonsisolering. Kraft ut i forhold til påtrykt kraft, F_T/F , som funksjon av påtrykt frekvens i forhold til resonansfrekvens, f/f_0 , og tapsfaktor η .



Figur 4.15. Dimensjonering av vibrasjonsisolerende maskinsko.
(Byggforskserien 550.501)

EKSEMPEL: For å oppnå 90% (20 dB) demping av vibrasjoner fra en maskin med turtall 1500 o/min (25 Hz), må maskinopphengene dimensjoneres slik at statisk nedfjøring for maskinens vekt blir minst 7 mm. Opphengets resonansfrekvens blir da 7 Hz.

5 LYDKILDER OG STØYDEMPING I SMÅKRAFTVERK

På bakgrunn av befaringer ved noen få småkraftverk er funnet at de mest dominerende støykildene er:

- Selve aggregatet, bestående av turbin, kraftoverføring (gir eller reim) og generator, som avstråler lyd inne i maskinrommet og overfører vibrasjoner via fundament til andre flater som kan avstråle lyd.
- Turbinen kan også avstråle lyd ut gjennom avløpstunnelen
- Vannstrømmen i rørgaten kan generere vibrasjoner som avstråler lyd.
- Vannstrømmen i og fra avløpstunnelen kan avstråle lyd.
- Ventilasjonsanlegg kan både slippe ut lyd og generere egen lyd.
- Trafo kan avstråle lyd.

I separat Notat finnes en befaringsrapport fra noen typiske småkraftverk.

Normalt vil selve maskineriet være anskaffet som ”hylleware” og det er derfor lite som kan gjøres med selve konstruksjonen. Ved anskaffelse av nytt utstyr bør det imidlertid tas hensyn til støydata. Det er da viktig at disse er oppgitt i henhold til standard målemetoder, slik at det er mulig å sammenligne data fra ulike produsenter. Vanligvis vil man kunne få opplyst lydeffektnivået, L_w , det vil si hvor mye samlet lydeffekt som utstyret stråler ut. Dette kan ikke sammenlignes direkte med lydtryknivå, L_p , som bare gjelder på en gitt avstand i gitte omgivelser.

Det er viktig at utstyret monteres i følge produsentens anvisninger, spesielt gjelder dette eventuelle innkapslinger og vibrasjonsisolerende konstruksjoner. Det anbefales ikke å foreta egne innbygninger/innkapslinger uten at dette er faglig vurdert, blant annet med hensyn på kjøling.

Vanligvis ville man anta at støyeffekten står i forhold til samlet effekt for kraftverket, og at støyen øker proporsjonalt med belastningen. På grunn av store forskjeller i konstruksjon og oppbygning er det imidlertid vanskelig å bruke nominell effekt som utgangspunkt for å beregne støyforholdene.

De kraftverkene vi har målt, har hatt et støynivå inne i maskinrommet på omkring 90 dBA. En vanlig solid vegg i bindingsverk med plateledning og isolasjon vil ha en demping på omkring 40 dB. En vegg i pusset Leca eller lettbetong eller en solid tømret vegg vil ha omtrent samme lydisolasjon.

Dette burde normalt gi utendørsnivåer som ikke vil medføre noen støyproblem.

Svake punkter med hensyn på lydisolering pleier imidlertid å være dører, vinduer og ventilåpninger samt utløpstunnelen. Ofte ser man også at taket er av dårligere lydmessig standard enn resten av huset.

Lydisolasjon er først og fremst avhengig av vekt og tetting. Generelt kan man si at hvis bygget som huser turbin og generator, er bygget etter ”vanlig boligstandard”, vil hensynet til utvendig støy være ivaretatt. Oversikten i kapittel 4.4 viser imidlertid hvor viktig det er at de bygningstekniske detaljene er riktig utført. For å dempe vibrasjonsoverføring fra aggregatet via fundamentet til veggkonstruksjonen kan det være fordelaktig å legge elastiske fugebånd under veggsvill. Det må brukes godt lydisolerende dører og vinduer, og de må være omhyggelig montert når det gjelder retthet, tettlistfunksjon, dytting og fugging. Hasper og låser må være utført slik at tetningslister o.l. fungerer etter hensikten.

Bygget må være ”så tett som mulig”, og nødvendige åpninger for ventilasjon o.l. må være utstyrt med lydfeller. Det finnes gode klaffventiler med innvendig absorpsjon. Dersom det er behov for større åpninger for ventilasjon, vil man kunne oppnå tilstrekkelig god lydisolasjon ved å utstyre

åpningene på både innløp og utløp med vanlige ventilasjonslydfeller. Lydfellene kan også bygges på plassen. Se Kap. 4.5 og Figur 5.1.

Ventilasjonsvifter må selvsagt være tilstrekkelig stillegående og plasseres innenfor lydfellene slik at de ikke selv bidrar til det totale støynivået ute. Viften bør monteres elastisk slik at en unngår vibrasjonsoverføring, og det bør være god avstand fra vifteblad til ventilgitter, kanalbend o.a. som forstyrrer luftstrømningen.

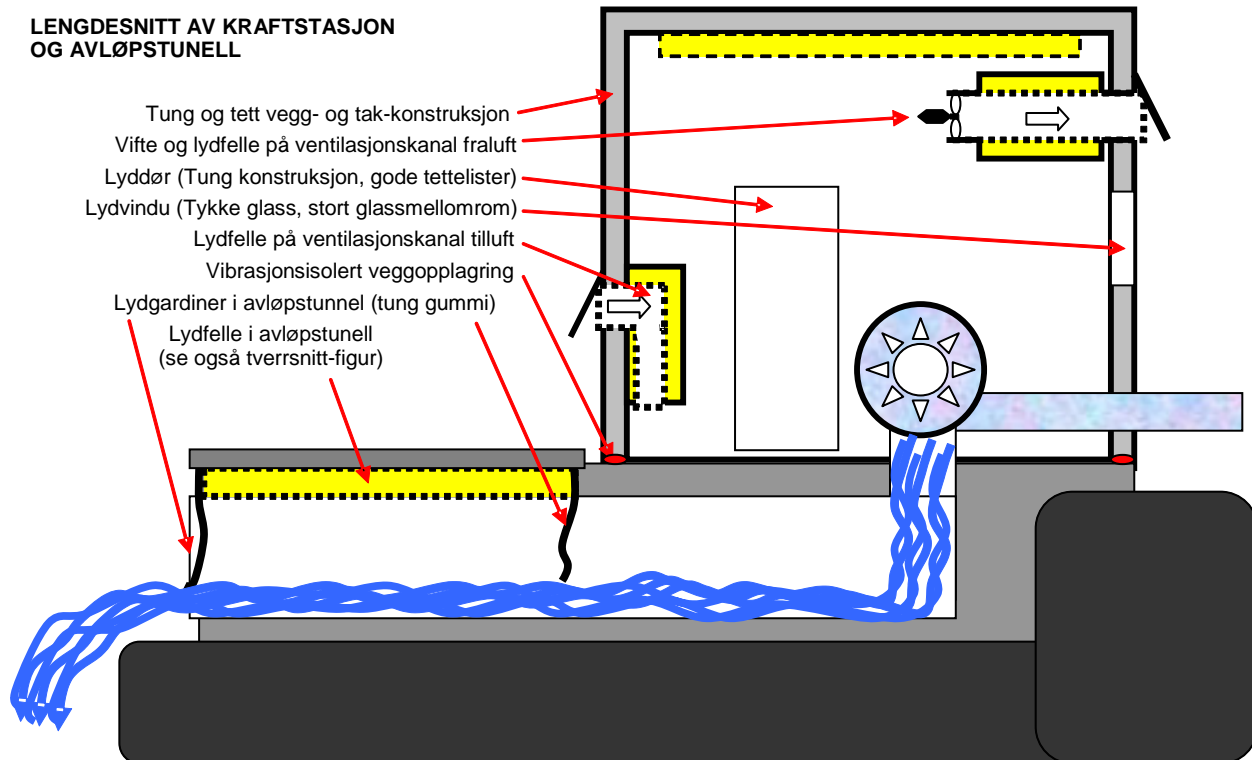
Nødvendige ventilasjonsåpninger bør dessuten så langt det er mulig, plasseres på flater som vender bort fra naboer slik at lyden stråles i en ukritisk retning.

Avløpstunnelen kan også være en viktig støykilde. Her vil turbinstøyen kunne stråle direkte mot friluft. Spesielt for peltonturbiner kan denne støyen ha tydelige rentoner fra skovlpasingene. Ideelt sett bør utløpet skje under vann, men det vil i de fleste tilfellene ikke være praktisk mulig. Det bør vurderes om avløpstunnelen kan få lydfelleeffekt ved å legge lydabsorberende kledning i tunneltaket. Det kan f. eks. være 10 cm mineralullplater eller treullsementplater lagt på strekkgitter e.l. som skissert i Figur 5.1. Tverrsnittet i utløpstunnelen bør ikke være større enn nødvendig. Det kan også sørges for skjerming av luftlyd ved hjelp av nedhengende "gardiner" av kraftig plast eller gummi med god tetting mot veggene. Det kan gjerne benyttes flere sett "gardiner" etter hverandre. Dersom utløpstunnelen er av noe lengde utenfor bygget, må tak og vegger i kanalen lages tilstrekkelig lydisolerende, f. eks. 50-75 mm betong.

Innvendig lydabsorberende kledning i maskinhuset vil gi litt lavere innvendig støynivå og tilsvarende lavere utendørsnivå. Ekstra lydabsorpsjon kan man oppnå ved å bruke minst 5 cm mineralullabsorbenter i felter på innsiden av tak og vegger. Upusset Lecablokk gir også brukbar lydabsorpsjon. En slik vegg må imidlertid være pusset ordentlig utvendig for at man skal få god lydisolasjon.

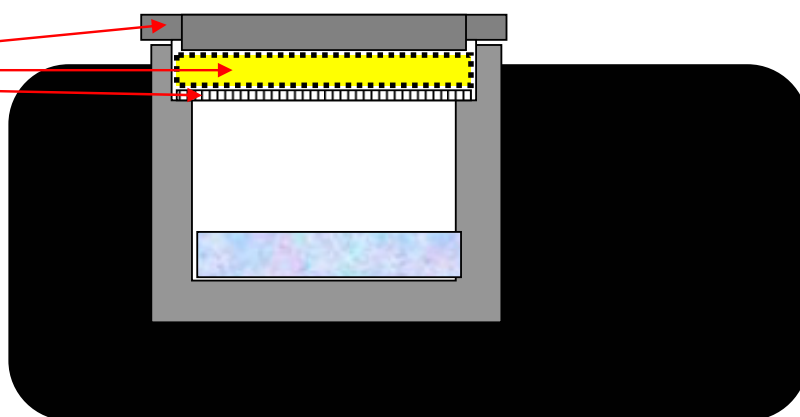
Figur 5.1 viser en oversikt over aktuelle lyddempende tiltak på småkraftverk. De viktigste tiltakene er vanligvis følgende:

- **Tung tett bygningskonstruksjon i både vegger og tak.**
Gjerne minst 2 lag gips- eller spon-plate på innside av bindingsverk og tak, og gipsplate under utvendig veggpanel og taktro på tak. Ren tømmervegg må være tung og tettes godt.
- **Tung tett dør-konstruksjon med gode tettelisten og god tilpasning.**
Fortrinnsvis dør lydklasse minst 35 dB. Eller to gode dører utenpå hverandre.
- **Vinduer med tykke glass med stort glassmellomrom og god tetting.**
Fortrinnsvis lydklasse minst 35 dB.
- **All ventilasjon må skje via gode lydfeller, både på innløp og utløp.**
Lydfeller er lange kanaler innvendig kledd med minst 5 cm mineralullplate, f.eks. Glava eller Rockwool lydfelleplate med glassfiberduk. Vanlige ventilasjonslydfeller kan brukes. Vifte må sitte på maskinromsiden av lydfellen, og ha god klaring mellom vifteblad og gitter o.l. Se Figur 5.2.
- **Avløpstunnel forsynes med tunge gummigardiner ned mot vannet og/eller lydabsorbent i tunneltaket.** Lydabsorbenten kan f.eks. være 10 cm Glava eller Rockwool lydfelleplate eller treullsementplate lagt på strekkgitter, og med tett tungt lokk over.

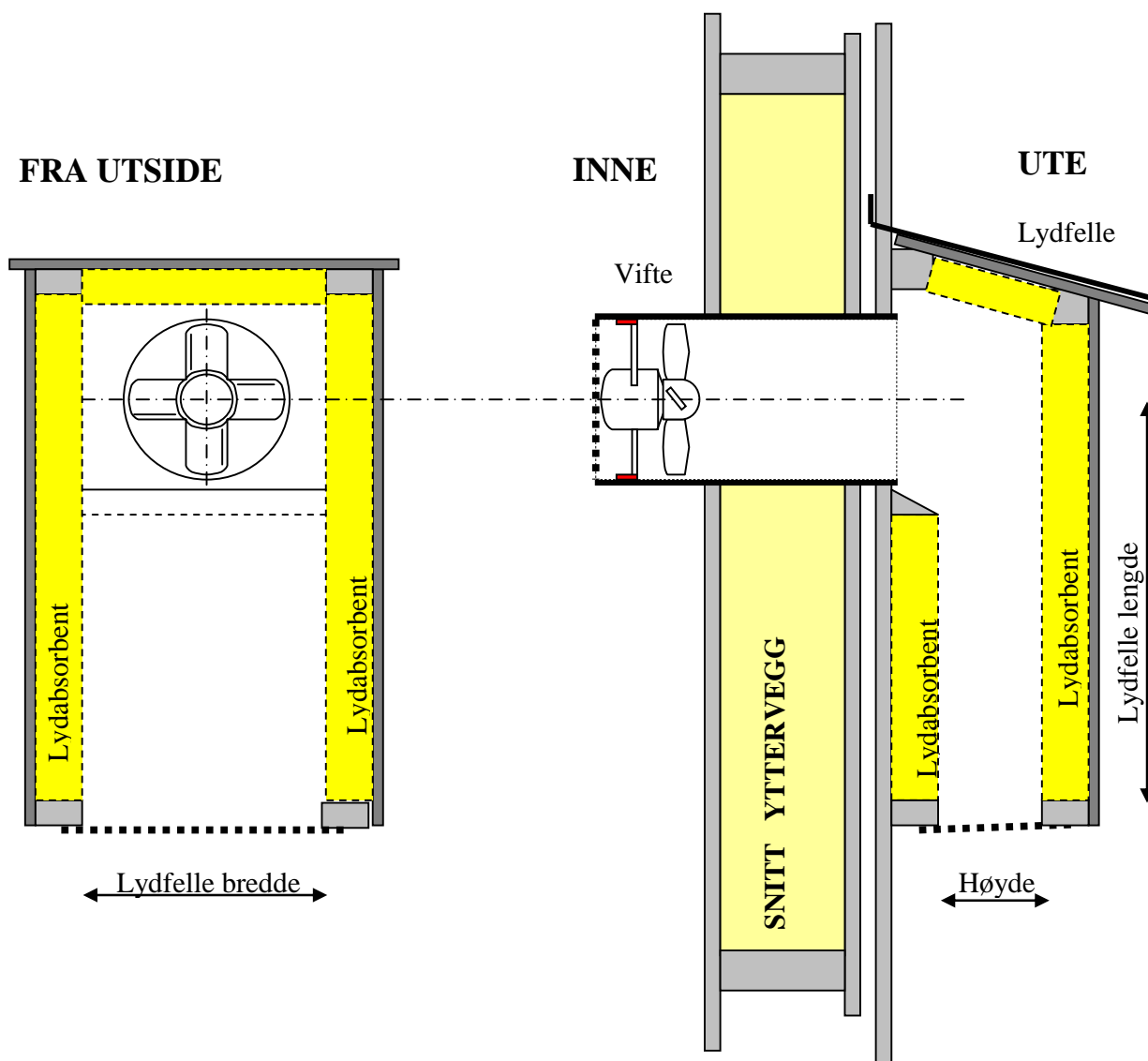


TVERRSNIITT AV AVLØPSTUNELL

- Lokk
- Lydabsorbent, minst 10 cm tykk
- Gitterrist, minst 30 % åpen



Figur 5.1 Prinsippskisser av støydempingstiltak på småkraftverk. Se også Figur 5.2.



Figur 5.2 Prinsippskisse av en mulig utførelse av lydfelle på fraluftventil (med vifte).

Tilsvarende prinsipp kan også brukes på tilluftventil. Se også Figur 5.1.

- Viften bør være elastisk opphengt for å dempe vibrasjonsutbredelse.
- Det bør være god avstand fra propell til vifteoppheng, gitter og luftretnings-forandring for å unngå ekstra lydgenerering.
- Kanal-tverrsnittsarealet i lydfella må være større enn vifte-tverrsnittsarealet, men bør være avlangt (mindre høyde enn bredde). Høyden bør ikke være over 10 cm.
- Lydfellelengden bør være minst 1 m.
- Lydabsorbenten i lydfella bør være minst 5 cm tykk mineralullplate med glassfiberdukoverflate, f.eks. Glava eller Rockwool lydfelleplate eller lignende.

6 VIRKNINGER AV STØY, GRENSEVERDIER

Støy fra små kraftverk må vurderes ut fra to forskjellige forhold. Yrkeshygieniske krav og hensyn må gjøres gjeldende for personer som arbeider ved kraftverket, det vil si de som oppholder seg i og omkring selve huset der kraftverket er plassert. Dessuten må støyen fra kraftverket ses i forhold til naboer. Kraftverket med bygg og installasjoner må da betraktes som en ekstern støykilde hvor retningslinjer for industristøy vil være aktuelle.

6.1 Støy på arbeidsplassen

Forskriften om støy på arbeidsplassen, forskrift 456 fra Arbeidstilsynet (26.4.2006), gjelder strengt tatt bare for virksomheter som går inn under arbeidsmiljøloven. Et privat kraftverk der bare eier(e) har adgang, må derfor sies å ligge utenfor forskriftens virkeområde. Det kan likevel være grunn til å følge dette regelverket for å forebygge mulig hørselsskade.

Maksimal støybelastning for å være rimelig sikret mot hørselsskade er et ekvivalentnivå på 85 dBA (normert til en 8 timers dag). Arbeidstilsynet anbefaler imidlertid en grense på 75 dBA.

I de aller fleste tilfelle må man anta at det vil være nødvendig med hørselsvern inne i bygget der turbin og generator er montert. Inngangsdører bør derfor merkes med varselskilt og anbefaling om å bruke hørselsvern. Man må kunne anta at det ikke er aktuelt med permanent opphold i slike kraftverk under drift. Ut fra yrkeshygieniske hensyn er det derfor ikke påkrevd å utføre ombygninger eller bygningstekniske installasjoner for å redusere støyen. Påbudt/anbefalt bruk av hørselsvern er en akseptabel løsning for kortvarige opphold. Det kan likevel tenkes at det er aktuelt å redusere støyen inne i maskinrom og liknende av hensyn til støyen utenfor.

6.2 Ytre støy

Det vil vanligvis være hensynet til naboer som er det største støyproblemet ved små kraftverk. Slik støy er regulert av egne "Retningslinjer for arealplanlegging", T-1442 (26.01.05) fra miljøverndepartementet.

For industristøy finnes to grenser. Den laveste grensen skal benyttes der støyen har impulspreget eller inneholder typiske rentonekomponenter. Vi må anta at støyen fra et lite kraftverk er av rentonetype. For støy fra kraftverk gjelder derfor en grense på $L_{den} = 50$ dBA.

Grensen er ikke absolutt, det vil si at det er mulig å bygge boliger i områder som har inntil 10 dB høyere støynivå, men det må da i tilfelle godtgjøres at det er tatt spesielle hensyn f.eks. i form av ekstra fasadedemping etc. Normalt vil man imidlertid unngå boliger i områder med industristøy over $L_{den} = 50$ dBA for at man skal være rimelig sikker på å unngå støykonflikter i form av naboklager.

L_{den} er et døgnveid årsmiddel der støy om kvelden og natten gis et straffetillegg på henholdsvis 5 dB og 10 dB. Ved konstant, døgnkontinuerlig drift, vil et lydnivå på 43.6 dBA tilsvare et døgnveid nivå $L_{den} = 50$ dB. Dersom kraftverket er i drift i mindre enn halve året, kan grensen økes med 3 dB, altså 46.6 dBA ved døgnkontinuerlig drift.

Det skal bemerkes at et kontinuerlig støynivå på 43.6 dBA er svært lavt. I de aller fleste tilfelle vil det derfor være bakgrunnsstøyen som dominerer. Støy som er generert av vær og vind, støy fra fjerntliggende veier og støy fra rennende vann i bekker og små stryk vil normalt gi et høyere lydnivå, gjerne omkring 45 – 50 dBA.

Til sammenligning er Arbeidstilsynets anbefalte støygrense for et kontor for konsentrasjonskrevende arbeid 45 dBA.

6.3 Enkel lydutbredelse

Utendørs vil lyden avta etter hvert som avstanden fra kilden øker, se kapitel 3.2.

Hvor raskt lyden dempes i åpent lende, er avhengig av en rekke forhold som vær og vind, bakkens beskaffenhet, vegetasjon osv. I tillegg får man innvirkningen av topografi. Dersom det ikke er fri sikt mellom kilde og mottaker, kan man få mer eller mindre skjerming.

For å gjøre enkle, konservative overslag kan man anta at i noe avstand (utenfor en til to ganger dimensjonene på bygget) vil et lite kraftverk fungere som en "punktkilde", og lyden vil avta med 6 dB pr dobling av avstanden i åpent lende.

Måles det f.eks. et lydnivå på 62 dBA i avstanden 10 meter, vil man altså få 56 dBA på 20 meter, 50 dBA på 40 meter og 44 dBA på 80 meter, osv. I dette tilfelle ville man altså måtte ha mer enn 80 meter til nærmeste bolig for at industristøykravet skulle være oppfylt.

7 REFERANSER

- SINTEF NOTAT 90-NO060126 (A. Ustad 2006-09-04) "Støy i småkraftverk – Befaringer".
- Norconsult/NVE Veileder nr 2/2003 "Veileder i planlegging, bygging og drift av små kraftverk".
- T-1442 (26.01.05), "Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging", Miljøverndepartementet.
- Fjerdingstad, Ottesen, Heidem, "Lyd & støy", NKI-forlaget 1979.
- Wilhelm Løchstøer, "Lyd eller ulyd", NTNf STØY 10, TAPIR 1976.
- Hans Fjerdingstad, "Praktisk støy reduksjon,", NTNf STØY 11, TAPIR 1977.
- Ingemanson, Elvhammar, "Bullerbekämpfung, prinsipper och tillämpning", Arbetarskyddsfonden 1977.
- Ole B. Stampe, "Lyd i VVS-anlæg", Skarland Press AS, 1998.
- J.A. Austnes, B.S. Seland, "Innkapsling av støykilder – Praktiske retningslinjer", NTNf STØY 8, TAPIR.
- ELAB rapport STF44 A81032, K.H. Liasjø, S.Å. Storeheier, " Støydemping av låvetørkeanlegg for høy og korn", SINTEF 1981.
- K.B. Ginn, "Architectural Acoustics" BRÜEL & KJÆR 1978.
- Faulkner, "Handbook of industrial noise control", Industrial Press Inc. 1976.
- ISO/TR 11690 (1997), Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise workplaces containing machinery,
part 1: Noise control strategies.
Part 2: Noise control measures.
Part 3: Sound propagation and noise prediction in workrooms.
- ISO 15667 (2000) Acoustics – Guidelines for noise control by enclosures and cabins.
- ISO 140 (1995) Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements,
Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.
- NS 8175 Lydforhold i bygninger. Lydklassifisering av ulike bygningstyper. 1997.
- Byggforsk Håndbok 47, Isolering mot utendørs støy, Beregningsmetode og datasamling.
- Byggforsk Håndbok 28, Lydisolerende konstruksjoner, Datasamling og beregningsmetode.
- Byggforskserien, Byggdetaljer, f.eks.:
 - G 421.401 Bygningsakustikk og støy, Generelle grunnbegreper.
 - G 421.402 Støy, romakustikk, lydisolering. Grunnbegreper.
 - G 421.403 Støy, romakustikk,. Begreper brukt i forskrifter og ved prosjektering.
 - G 421.420 Beregning av lydisolasjon mellom to rom.
 - G 421.421 Støy i rom. Krav og anbefalte grenseverdier
 - G 421.423 Innendørs skjermer mot støy.
 - G 421.424 Innbygging av støykilder

- G 421.425 Isolering mot utendørs støy. Beregningsmetode.
- A 517.521 Utendørs skjermer mot støy. Prinsipper og beregning
- A 517.522 Utendørs skjermer mot støy. Utførelse og stedstilpasning
- A 520.535 Vibrasjoner i bygninger fra veg og jernbane
- A 522.514 Lydisolerende tunge etasjeskillere. Konstruksjonseksempler.
- A 522.515 Etasjeskiller med lydisolerende, lette, flytende golv.
- A 522.521 Støydempende golvkonstruksjoner i tekniske rom.
- A 523.422 Lydisolasjonsegenskaper til yttervegger
- A 524.304 Lydisolerende platekledd vegg i hus med støpte dekker
- A 524.321 Lydisolasjonsegenskaper til innervegger.
- A 524.331 Lydisolasjonsegenskaper til system- og foldevegger for yrkesbygg.
- A 527.301 Lydisolerte kontroll- og hvilerom
- A 527.302 Lydregulering og støyreduksjon i industrilokaler
- A 527.315 Lydregulering av studioer og kontrollrom/ lytterom
- A 533.109 Lydisolasjonsegenskaper for vinduer
- A 534.141 Lydisolerende egenskaper til dører
- A 536.215 Lydisolasjonsegenskaper for ytterveggventiler
- A 543.414 Lydabsorberende egenskaper til materialer og konstruksjoner
- A 550.501 Vibrasjonsisolering av maskiner og utstyr
- A 552.306 Støy fra ventilasjonsanlegg.
- A 573.420 Materialer og konstruksjonsdata vedr. bygningsakustikk, støy og vibrasjoner
- A 552.306 Støy fra ventilasjonsanlegg
- A 553.181 Støy fra vanntilførselsnett
- A 553.182 Støy fra avløpsinstallasjoner
- A 571.958 Lydisolasjonsegenskaper til ruter.
- A 573.420 Lyddata for materialer og konstruksjoner.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2006

- Nr. 1 Lars A. Roald, Stein Beldring, Torill Engen Skaugen, Eirik J. Førland and Rasmus Benestad: Climate change impacts on streamflow in Norway (74 s.)
- Nr. 2 Nils-Henrik Mørch von der Fehr: Produksjonstilpasningen i kraftmarkedet (s.)
- Nr. 3 Lars-Evan Pettersson: Flommen i Arnevikselva vinteren 2006 (10 s.)
- Nr. 4 Hans Christian Olsen: Bondhusvatn. Sedimenttilførsel før og etter reguleringen (31 s.)
- Nr. 5 Thomas Væringstad: Flomberegning for Emhjellevatnet etter reguleringen (30 s.)
- Nr. 6 Randi Pytte Asvall: Altautbyggingen. Vanntemperatur- og isforhold ved bruk av øvre inntak om vinteren (2005 - 06) (30 s.)
- Nr. 7 Pål Meland, Terje Stamer Wahl, Asle Tjeldflåt: Forbrukerfleksibilitet i det norske kraftmarkedet (48 s.)
- Nr. 8 Beate Sæther: Flomfrekvensanalyse for 137.7 Z Lauvsneselva (23 s.)
- Nr. 9 Gaute Lappegard, Stein Beldring and Lars A. Roald (NVE), Torill Engen-Skaugen and Eirik J. Førland (met.no) Projection of future streamflow in glaciated and non-glaciated catchments in Norway (64 s.)
- Nr. 10 Støy i små vannkraftverk (45 s.)