

## 0 Generelt

### 01 Innhold

Dette bladet behandler akustisk prosjektering av rom med tilhørere, f.eks. konsert- og teaterlokaler, auditorier og flerformålssaler. Én av de viktigste faktorene i akustisk prosjektering er etterklangstiden. Lyden blir dels absorbert i, dels reflektert fra rommets overflater, og noe forsvinner ut åpne dører, vinduer o.l. Etterklangstiden er derfor avhengig av størrelse og form på rom, inventar, antall tilhørere og materialene på overflatene i rommet. Den produserte lyden skal gi optimale mottakerforhold for alle tilhørere. Dette bladet bygger på Byggdetaljer 527.300 Romakustikk.

### 02 Målgruppe

Målgruppen er arkitekter og ingeniører. For rom/saler med høye krav til akustikk kan dette bladet kun vise noen hovedprinsipper, og en spesialist i akustikk bør tas med i prosjekteringen så tidlig som mulig.

### 03 Definisjoner

Grunnbegreper og begreper brukt i forskrifter og ved prosjektering i forbindelse med støy, romakustikk og lydisolering er gitt i Byggdetaljer 421.402 og 421.403.

- 031 *Diffust lydfelt* er et refleksjonslydfelt der lydtryknivået er uavhengig av sted, og lyden brer seg med like stor sannsynlighet i alle retninger.
- 032 *Direkte lydfelt* er lydfeltet fra en lydkilde uten bidrag fra rommets refleksjoner; det samme som fritt felt.
- 033 *Refleksjonslydfeltet* er lydfeltet i et rom hvor lydtryknivået er bestemt av reflektert lyd.
- 034 *Etterklangstiden, T (s)*, er den tiden det tar for et gjennomsnittlig lydtryknivå å falle 60 dB etter lydkilden i rommet er avbrutt. Etterklangstiden er frekvensavhengig pga. at absorpsjonsfaktoren er det.

### 04 Henvisninger

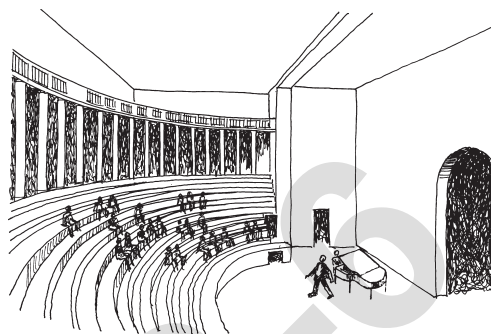
Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (pbl) med veiledning

Standarder:

- NS 8175 Lydforhold i bygninger. Lydklasser for ulike bygningstyper
- ISO 2969 Cinematography. B-chain electro-acoustic response of motion-picture control rooms and indoor theatres. Specifications and measurements (1987)

Byggdetaljer:

- 341.706 Idrettsanlegg. Flerbrukshaller
- 421.401 Bygningsakustikk og støy. Generelle grunnbegreper
- 421.402 Støy, romakustikk, lydisolering. Grunnbegreper



- 421.403 Støy, romakustikk, lydisolering. Begreper brukt i forskrifter og ved prosjektering
- 527.300 Romakustikk. Del I og II
- 527.303 Lydregulering og støyreduksjon i idretts- og svømmehaller
- 527.305 Lydforhold i skoler, fritidshjem og barnehager
- 543.414 Lydabsorberende egenskaper til materialer og konstruksjoner
- 543.434 Lydreflekterende flater

## 1 Krav og anbefalinger

### 11 Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven

111 *Generelt*. Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven angir funksjonskrav bl.a. for luftlydisolasjon, trinnlydnivå, lydtryknivå og etterklangstid/lydabsorpsjon i rom. Veiledningen til forskriften viser til NS 8175, som gir grenseverdier for lydtekniske egenskaper. Hvis man legger veiledningen til grunn for dokumentasjon, kan forskriftskravene anses å være oppfylt når grenseverdiene i klasse C etter NS 8175 er oppfylt.

NS 8175 omfatter ikke f.eks. forsamlingslokaler, idrettsbygg og aulaer i skoler, dvs. rom som blir behandlet i dette bladet. Disse lokalene må imidlertid oppfylle forskriftens overordnede krav til støybeskyttelse overfor andre brukeroråder.

Det viktigste funksjonskravet for rom med tilhørere er at lydabsorpsjonen gir etterklangsforhold som ikke gjør det vanskelig å oppfatte tale, musikk e.l.

Lydregulering og støyreduksjon i idretts- og svømmehaller er behandlet i Byggdetaljer 527.303. Lydforhold i skoler m.m. er behandlet i Byggdetaljer 527.305.

112 *Etterklangstid*. Tabell 112 gir maksimum etterklangstid i hver lydklasse for gymnastikksaler til undervisningsbruk. Grenseverdiene gjelder rommidlet etterklangstid i oktavbåndene 125, 250, 500, 1 000 og 2 000 Hz. Rommidlet etterklangstid vil si gjennomsnitt av etterklangs-tidene i et antall måleposisjoner i rommet.

Tabell 112  
Høyeste etterklangstid i gymnastikksaler med volum opp til 3 000 m<sup>3</sup> (fra NS 8175)

Lydklasse	Etterklangstid, s
A	1,0
B	1,2
C	1,5
D	2,0

Ifølge NS 8175 må etterklangstiden for større auditorier/saler og andre undervisnings- og oppholdsrom fastlegges særskilt. Auditorier og større saler krever spesiell akustisk regulering for å få tilfredsstillende taleforståelse eller andre ønskede egenskaper. Grenseverdier for etterklangstid avhenger derfor av bruksformålet, og etterklangstiden alene er ikke en tilstrekkelig beskrivende egenskap.

113 *Lydtryknivå, lydreduksjonstall og trinnlydnivå.* For skoler og andre bygninger som brukes til undervisning, angir NS 8175 grenseverdier for maksimalt lydtryknivå fra tekniske installasjoner og utendørs lydilder. I tillegg gir standarden grenseverdier for lydisolasjonen og trinnlydnivået i forhold til andre rom i bygningen.

## 12 Ønsket etterklangstid for ulike aktiviteter

I et rom med tilhørere er det spesielt viktig at etterklangstiden er tilpasset aktiviteten rommet skal brukes til. For at tale skal kunne høres og forstås høyt og tydelig nok, må rommet ha etterklangstid omkring ett sekund, litt kortere i mindre rom og litt lengre i større rom, se også pkt. 112. Til musikk med akustiske instrumenter eller til korsang er optimal etterklangstid noe lengre, gjerne omkring to sekunder, for at musikken skal klinge godt i rommet og de enkelte tonene kan smelte sammen i passende grad. Dreier det seg om konserter med elektrisk forsterket musikk eller janitsjarorkester, må etterklangstiden være vesentlig kortere, gjerne under ett sekund. For disse formålene kan for mye romklang virke direkte ubehagelig og bidra til et altfor høyt lydnivå. Regulering av etterklangstiden er behandlet i pkt. 4.

Orienterende verdier av ønsket etterklangstid for ulike aktiviteter er vist i tabell 12, se også Byggetaljer 527.300. Verdiene gjelder i mellomfrekvensområdet, dvs. i oktavgbåndene ved 500 og 1 000 Hz. Som hovedregel bør etterklangstiden ikke variere mer enn ± 20 % ved andre frekvenser i oktavgbånd mellom 125 og 4 000 Hz. For musikkaler bør etterklangstiden øke mot lavere frekvenser slik at verdien av  $T_{125\text{ Hz}}$  er ca.  $1,4 \cdot T_{1\,000\text{ Hz}}$ .

## 13 Spesielle krav til kinosaler

På kino er det spesielt viktig å høre hvor lyden kommer fra, dvs. at direktelyden fra høyttalerne må dominere over refleksjonslyden. Moderne kinosaler som gjengir flerkanals lyd, må ha noe kortere etterklangstid enn

Tabell 12  
Ønskede etterklangstider i rom med tilhørere. Ulike aktiviteter

Aktivitet	Etterklangstid (s)	Nødvendigheten av god akustikk
Orkesterkonsert	1,5 – 2,2	Meget vesentlig
Kammermusikk	1,2 – 1,6	Vesentlig
Korkonsert	1,7 – 2,5	
Popkonsert	1,2 – 1,4	
Janitsjarorkester	1,0 – 1,2	
Rockekonsert	0,8 – 1,1	
Opera	1,3 – 1,7	
Ballett	1,3 – 2,0	
Teater	1,0 – 1,2	
Revyteater	1,0 – 1,4	
Foredrag	0,8 – 1,2	
Møter	0,6 – 1,0	
Dans	1,0 – 1,4	Mindre vesentlig
Sport, idrett	1,0 – 1,2	
Kino (vanlig)	0,4 – 1,0	
Utstilling	0,6 – 1,0	
Servering	0,6 – 1,0	

det som tidligere har vært nødvendig i tradisjonelle kinosaler. Det amerikanske selskapet LucasFilm [628] har utviklet en såkalt THX-sertifisering av kinosaler. Sertifiseringen garanterer at lyden er balansert og lik på alle seteradene. Noen av de viktigste kriteriene for å få en THX-godkjenning er gitt nedenfor:

- Etterklangstiden ved 500 Hz skal ligge innenfor et intervall som avhenger av rommets volum, se fig. 13.
- Ved andre frekvenser enn 500 Hz må etterklangstiden maksimalt avvike fra verdien ved 500 Hz med de faktorene som er vist i tabell 13.
- Høyttalerne bak lerretet må plasseres i en baffelvegg (stenderverk med 2 – 3 lag gipsplater og et lyddempende materiale) for å forbedre tydelighet og retningsbestemmelse ytterligere.
- Man må unngå bakgrunnsstøy (f.eks. fra ventilasjonsanlegg, nabokinoer, vestibyle og utendørs støy).
- Det er krav til forholdet mellom seteradene, høyttalere og lerretet i forhold til størrelsen og formen på lokalet. Colosseum kino i Oslo er for tiden den største og mest avanserte THX-kinoen i verden.

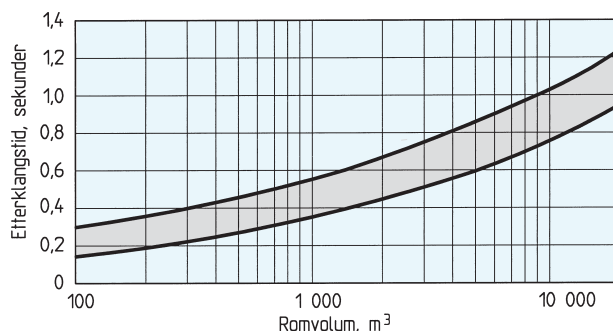


Fig. 13  
I kinosaler med THX-godkjenning skal etterklangstiden ved 500 Hz ligge i intervallet mellom de to kurvene.

Tabell 13  
Tillatt intervall for etterklangstid i forhold til verdien ved 500 Hz i kinosaler med THX-godkjenning

	Frekvens, Hz									
	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000
Maks. faktor	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Min. faktor	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

## 14 Bakgrunnstøy

I rom som blir benyttet til møter, teater, sang, musikk, konserter o.l., er det viktig at det ikke er forstyrrende støy fra tekniske installasjoner eller utendørs støykilder. I saler o.l. i skoler gjelder NS 8175, som angir høyeste lydtryknivå fra tekniske installasjoner til 25 dB(A) i lydklasse C, 22 dB(A) i lydklasse B og 20 dB(A) i lydklasse A.

Bortsett fra i skoler er det ikke noen krav til støy i rom med tilhørere, så det er viktig å fastlegge grenseverdier for det enkelte byggeprosjektet. anbefalte grenser for ulike typer rom er gitt i tabell 14. Man kan enten velge en grenseverdi i dB(A) eller en NCB-verdi. NCB står for «Balanced Noise Criteria». I et tillegg til NS 8175 er det definert NCB-kurver til å vurdere støy på grunnlag av målinger i oktavbånd. Ut fra NCB-kurvene kan man vurdere støyen med hensyn til taleforståelse i rommet og om støyens spektrum inneholder forstyrrende komponenter ved lave eller høye frekvenser.

Tabell 14  
Anbefalte grenser for bakgrunnstøy i rom. NCB-verdier er definert i NS 8175, tillegg A.

Rom	Maks. lydtryknivå	
	A-veid, dB(A)	NCB
Opptaksstudioer Konsertsaler o.l.	20 – 25	10 – 15
Store auditorier Teatersaler Undervisningsrom Møterom	25 – 30	15 – 20
Mindre auditorier Flerbrukssaler Konferanserom	30 – 35	20 – 25

## 2 Prosjektering av rom og tilhørerplasser

### 21 Romstørrelse

Antall tilhørere til de ulike aktivitetene har betydning når man skal bestemme rommets volum. Ut fra ønsket antall personer i rommet kan nødvendig volum anslås omtrentlig, se tabell 21. Hvis romvolumet er for lite, kan det bli umulig å oppnå tilstrekkelig lang etterklangstid. Er romvolumet for stort, kreves ekstra absorpsjonsmateriale for å regulere etterklangstiden, og lyden blir svakere. For flerformålssaler må størrelsen på rommet fastlegges etter den aktiviteten som krever størst volum.

Tabell 21  
Nødvendig og maksimalt romvolum ved ulike aktiviteter i rom

Bruk av rom	Nødvendig volum m <sup>3</sup> per person	Maksimalt romvolum m <sup>3</sup>
Teater, kino, auditorium	3 – 5	5 000
Rom for tale og musikk (kompromiss)	4 – 7	8 000
Musikkteater, opera	5 – 8	15 000
Kammermusikk	6 – 10	10 000
Symfonisk musikk	8 – 12	25 000
Korkonsert, orgel	10 – 14	30 000

### 22 Romform – overordnede hensyn

Romformen bestemmer fordelingen av egenfrekvenser og styringen av lydrefleksjoner, se Byggetaljer 527.300. Jevn fordeling av egenfrekvenser og lydrefleksjoner vil gi gode lydforhold for tilhørerne både ved tale og musikk. Flerbruksrom må være fleksible med gode muligheter til å plassere tilhørerne forskjellig, avhengig av aktivitet, se pkt. 23 og 24. I små rom det viktig at rommets lengde, bredde og høyde er forskjellig. Helt kvadratiske rom bør unngås, og det bør være minst 15 – 20 % forskjell på målene. Man bør unngå parallelle vegger, som er sterkt lydreflekterende; en vinkel på 2 – 5° kan være tilstrekkelig for å forebygge flutterekko. Sirkulære og kuppelformede rom gir store problemer med fokusering av lydrefleksjoner, og jo større rommene er, jo vanskeligere kan det være å finne akustisk gode løsninger, se Byggetaljer 527.300.

### 23 Plassering av tilhørere i små rom

I små rom med plass til mindre enn ca. 300 tilhørere kan man med enkle midler oppnå stor fleksibilitet i plasseringen av tilhørere, avhengig av aktivitet, se fig. 23.

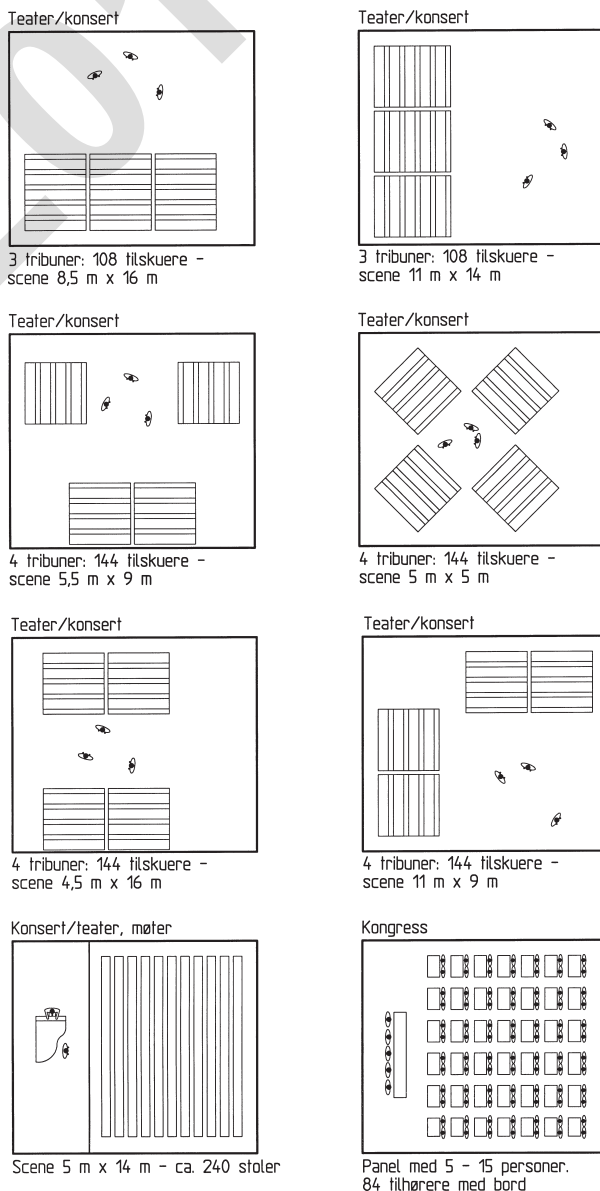


Fig. 23  
Eksempler på stor fleksibilitet i et lite rom (14 m x 16 m). I de fleste eksemplene er tilhørerne plassert på fire mobile teleskoptribuner.

**24 Plassering av tilhørere i store rom**

- 241 *Generelt.* I rom for mer enn ca. 500 tilhørere er det viktig med en romform/publikumsplassering som bidrar til at flest mulig tilhørere ser og hører best mulig. Noen hovedalternativer er vist i tabell 241. Samtlige har både fordele og ulemper, og det er vanskelig å forene gode synsforhold med gode akustiske forhold. Man må derfor velge ut fra en prioritering av hva som er hovedaktiviteten i rommet.
- 242 *Orkester- og korkonsserter.* Det visuelle inntrykk er ikke hovedsaken ved kor- og orkesterframføringer, men god akustikk har svært høy prioritet, og etterklangstiden skal være relativt lang. Mange lydrefleksjoner fra sideretningene er viktig. Relativt smale, høye rom er gunstig, gjerne med rektangulær form og gjerne med balkonger på sidene. I tabell 241 er type 4 og 6 de mest egnede, men de andre typene er også aktuelle hvis man sørger for passende tiltak for å imøtekomme de akustiske problemene. Filharmonien i Berlin er et eksempel på en konsertsal hvor orkesteret er plassert omtrent i midten av rommet, og tross det har salen god akustikk.
- 243 *Pop-, rock- og jazzkonsserter.* Til slike konserter spiller det visuelle inntrykk en viss rolle. Siden det som regel blir brukt høyttaleranlegg, skal rommets refleksjoner være dempede. Gunstige romformer kan være brede, ev. vifteformede eller halvsirkelformede som type 1 eller 5 i tabell 241.
- 244 *Teater.* God taleforståelse og gode visuelle forhold er viktig. For å oppnå kort avstand mellom scene og publikum er brede romformer gunstige. Taket er den viktigste flaten for å rette lydrefleksjoner ut mot tilhørerne. Til visse teaterformer kan det være ønskelig å plassere publikum på to eller flere sider av scenen som i en arena. Se tabell 241 type 1, 2, 3 og 5.
- 245 *Auditorium.* God taleforståelse og gode visuelle forhold er viktig. Rektangulær eller vifteformet romform egner seg best. Utforming av taket er avgjørende for å rette lydrefleksjoner ut mot tilhørerne så de får god taleforstå-

else. For at tilhørerne på første rekke ikke skal komme for langt ut til siden bør avstandsforholdet  $e_1/e_2 \leq 2/3$ , se fig. 245.

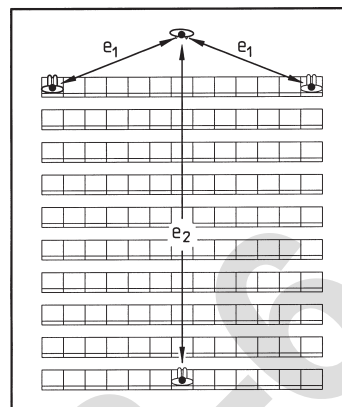


Fig. 245  
I et auditorium bør  $e_1/e_2 \leq 2/3$  av hensyn til den retningsbestemte lydutsendelsen fra en talende person.

**25 Golvkurve**

- 251 *Nødvendig overhøyde.* Direktelyden dempes når den spres ut over tilhørerne. For å unngå demping og samtidig oppnå bedre synsforhold kan tilhørerne plasseres på et hellende golv. Golvets forløp i et lengdesnitt kalles golvkurven. Hvis siktelinjene tegnes fra lydkilden til tilhørernes øyne eller ører, skal disse linjene passere fritt over hodet på de som sitter foran. Overhøyden  $h$  (høyden mellom siktelinjene) må da være tilstrekkelig stor, se fig. 251 a.
- Dempningen av direktelyden er ubetydelig hvis overhøyden er minst 120 mm. Det er mulig å oppnå akseptable synsforhold med en overhøyde på kun 80 mm hvis tilhørerrekkene plasseres vannrett forskjøvet en halv plass, men det er ikke tilstrekkelig for å unngå at lyden blir dempet. Med samme overhøyde for alle tilhører-

Tabell 241  
Eksempler på romformer med ulik plassering av tilhørere i store rom. Scenen er vist i mørk farge.

Type	Planskisse	Beskrivelse	Fordeler	Ulemper
1		Amfiteater: Steil golvkurve i halvsirkel	Mange tilhørere i forholdsvis kort avstand fra scenen	Ev. fokusert ekko
2		Arena: Steil golvkurve i hele omkretsen	Mange tilhørere i forholdsvis kort avstand fra scenen	Lydmessig dårlige plasser bak scenen, ved retningsbestemte lydkilder
3		Hestesko: Mange etasjer, ev. med losjer	Mange tilhørere i forholdsvis kort avstand fra scenen	Ujevn lydfordeling på golvet
4		Rektangel: Ev. balkong bak og på sidene	God romvirkning pga. side-refleksjoner	Stor avstand fra scene til tilhørere, ev. fluttrekko
5		Vifte: Ev. balkong eller terrasse	Forholdsvis kort avstand og gode synsforhold til scenen	Dårlig romvirkning pga. manglende siderefleksjoner, ev. ekko
6		Modifisert vifte: Ev. balkong eller terrasse	God romvirkning pga. side-refleksjoner	Stor avstand fra scene til tilhørere



rekkene blir resultatet en krum golvkurve hvor helningen stiger med avstanden fra lydkilden, se eksempel i fig. 251 b.

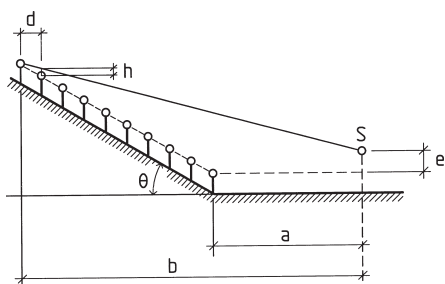


Fig. 251 a  
Golvkurve som en rett linje med helning  $\theta$  i forhold til vannrett. Lydkilden S er hevet høyden e over ørehøyden på første tilhørerrekke, a og b er de vannrette avstandene til første og siste rekke. h er overhøyden for den bakerste tilhøreren, og d er den horisontale avstanden mellom stolrekkene.

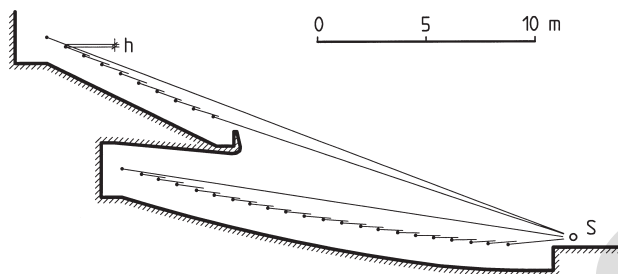


Fig. 251 b  
Eksempel på golvkurve med samme overhøyde h for alle tilhørerne

252 **Formler for en rettlinjett golvkurve.** Ofte blir en rettlinjett golvkurve foretrukket. Med symbolene i fig. 251 a kan golvkurvens vinkel  $\theta$  beregnes av følgende formel:

$$\tan \theta = \frac{h \cdot b}{d \cdot a} - \frac{e}{a}$$

Hvis golvkurvens vinkel er fastlagt, kan avstanden til den siste tilhøreren beregnes av:

$$b = \frac{d}{h} \cdot (e + a \cdot \tan \theta)$$

Tilhørere som sitter i lengre avstand enn b fra kilden, vil verken se eller høre kilden tilfredsstillende dersom helningen av golvet er den samme.

253 **Eksempel.** Anta at en taler står på en 0,6 m høy scene. Munnen er 1,6 m over scenegolvet og tilhørernes ører er 1,2 m over golvet. Det gir  $e = 1,6 + 0,6 - 1,2 = 1,0$  m. Golvet er vannrett ( $\theta = 0^\circ$ ), og avstanden mellom stolrekkene er  $d = 0,9$  m. Med en overhøyde på  $h = 0,12$  m finner man avstanden til siste tilhører:  $b = d \cdot e/h = 0,9 \cdot 1,0 / 0,12 = 7,5$  m. Tilhørere lenger unna enn 7,5 m bør plasseres på en hellende golvkurve i dette eksemplet.

**26 Veiledende verdier ved prosjektering av tilhørerplasser**

Balkonger medvirker til å skape frie siktelinjer, og dermed unngår man at direktelyden blir dempet. Med tilhørere under en balkong må det være rikelig fri høyde under balkongen. I tabell 26 fins noen veiledende verdier for størrelser som har betydning ved prosjektering av tilhørerplasser.

Tabell 26  
Veiledende verdier til bruk ved prosjektering av tilhørerplasser

Størrelse	Veiledende verdi
Avstand mellom stolrekk, d	0,80 – 0,90 m
Stolbredde	0,55 – 0,65 m
Min. overhøyde uten forskjvne stolrekk, h	0,12 m
Min. overhøyde med forskjvne stolrekk, h	0,08 m
Maks. helning av golv uten trapper, $\theta$	6°
Maks. helning av golv med trapper, $\theta$	35°
Maks. høyde av scene over golv	0,90 – 1,05 m
Min. takhøyde under balkong	3,00 m
Gjennomsnittlig ørehøyde for sittende person	1,20 m

**3 Overflater i rommet**

**31 Lydabsorberende flater**

Lydabsorbenter benyttes hovedsakelig for å regulere etterklangstiden og for å oppnå god lydfordeling. I rom med tilhørere er tilhørerflaten ofte den viktigste lydabsorberende flaten. Ytterligere lydabsorberende materiale kan med fordel plasseres på bakveggen og i de delene av takflaten som ikke gir viktige lydrefleksjoner. Den sentrale delen av taket bør vanligvis ikke brukes til lydabsorpsjon. I rom til musikk har refleksjoner fra sideveggene mye å si, dvs. at heller ikke sideveggene egner seg særlig godt som lydabsorberende flater. Ved endret bruk av rommet fra musikk til tale eller andre funksjoner kan sideveggene endres fra reflekterende til absorberende flater, se pkt. 43. Lydabsorberende egenskaper til materialer og konstruksjoner er behandlet i Byggetaljer 543.414.

**32 Lydreflekterende flater**

321 **Generelt.** Lydreflektorer benyttes for å oppnå gode lydforhold på alle tilhørerplassene, se Byggetaljer 543.434. For eksempel blir reflektoren plassert slik at den forsterker direktelyden på tilhørerplassene lengst fra kilden.

322 **Lydreflektor for teater- og konsertbruk.** Figur 322 a og b viser et heisbart takreflektorarrangement for teaterforestillinger og konserter i en idrettshall. Figur 322 c antyder også at sidereflektorer kan gi en større andel av utsendt lydeffekt i retning tilhørerne. Reflektorer med flatemasse helt ned til 1 kg/m<sup>2</sup> har vist seg å være velegnet som provisoriske takreflektorer nær orkester.

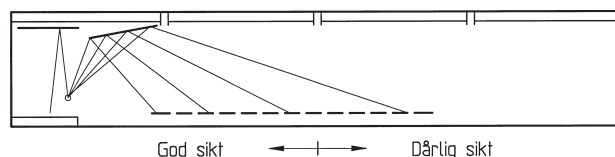


Fig. 322 a  
Takreflektor ved teaterforestilling (ev. kulisser over podiet). Lengdesnitt av hall  
Helningsvinkel: 6 – 8° med horisontalplanet  
Reflektoren gir vesentlig bidrag av tidlig reflektert lyd. Uten reflektor ville lyden blitt absorbert i taket. Den delen av publikum som har dårlig sikt mot scenen, får lite direktelyd. Reflektoren bidrar til å bedre lydforholdene.

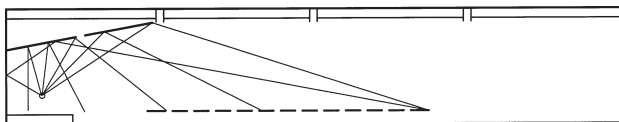


Fig. 322 b  
Takreflektor ved konsert. Lengdesnitt av hall  
Helningsvinkel:  $5 - 10^\circ$  med horisontalplanet  
Reflektoren bidrar til å bringe lyden ut i salen med større styrke.  
Ved største helning vil en stor del av lydenergien ikke absorberes  
av publikumsflaten og følgelig forlenge etterklangstiden.

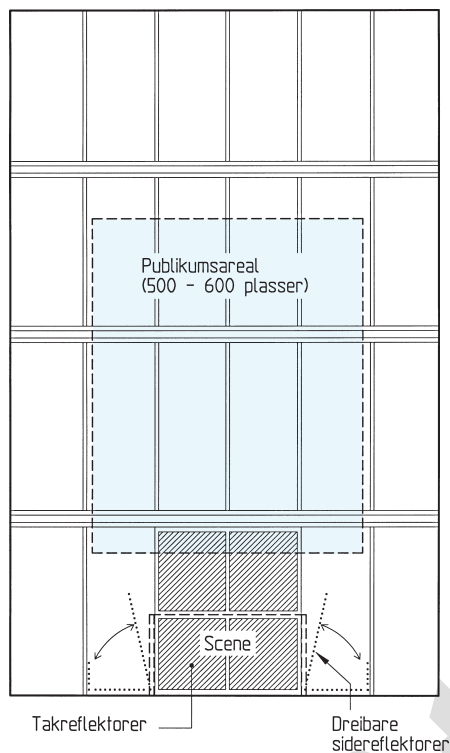


Fig. 322 c  
Reflektorer. Plan av hall  
Plassering av tak- og sidereflektorer er tegnet inn. En hevescene  
vil også være gunstig med hensyn til lydforholdene.

### 33 Lydsprende flater

Lydsprende flater er veldig viktig for å oppnå diffusitet av lyden i rommet. I rom til musikk er god diffusitet noe som betyr mest for at akustikken skal være tilfredsstillende. I rektangulære saler er det spesielt viktig at sideveggene er lydsprende, mens i vifteformede saler er det viktigst at taket er lydsprende. Lydsprende flater kan brukes som alternativ til lydabsorberende flater for å unngå ekko eller flutterekko.

## 4 Regulering av etterklangstiden

### 41 Beregning av etterklangstid

Som et overslag i forbindelse med valg av materialer til rommets overflater kan etterklangstiden beregnes ved Sabines formel, se Byggetal 527.300. Men som regel har rommet ikke tilstrekkelig diffust lydfelt til at Sa-

binnes formel er gyldig. Det kan derfor bli ganske store avvik mellom beregnet og virkelig etterklangstid. Til prosjektering av rom/saler hvor akustikken er viktig, bør etterklangstiden beregnes med et romakustisk beregningsprogram som kan simulere lydforholdene i rommet.

### 42 Varierbar akustikk

Det er en viktig avgjørelse å bestemme om rommet skal ha mulighet til å tilpasse etterklangstiden til ulike aktiviteter, eller om etterklangstiden skal legges fast som et kompromiss basert på de mest prioriterte aktivitetene. Jo større rommet er, jo vanskeligere kan det være å akseptere en fast etterklangstid.

I lokaler med mulighet for varierbar akustikk er det viktig at driftspersonalet har tilstrekkelig informasjon og veiledning til å regulere etterklangstiden etter hensikten.

### 43 Flater med mulighet for å endre lydabsorpsjon

Regulering av absorpsjonsarealet kan gjøres med mekaniske systemer på vegger eller i tak. Det kan være lydabsorberende materialer, f.eks. gardiner som trekkes foran en hard, lydreflekterende flate. Eller det kan være luker e.l. som åpner eller lukker for bakenforliggende lydabsorberende materiale. Noen eksempler er vist i fig. 43 a og b. Et eksempel på et rom med regulerbart akustikk er vist i fig. 43 c.

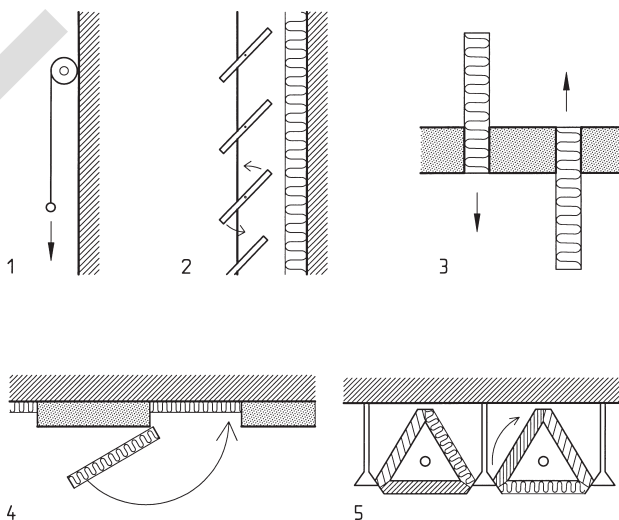


Fig. 43 a  
Eksempler på mekaniske systemer som kan variere lydabsorpsjon  
1) gardin  
2) sjalusiluker  
3) senkbare mineralullsbafler i tak  
4) luker med lydabsorberende innside  
5) dreibare veggelementer med tre forskjellige materialer

I store rom med tilstrekkelig stor romhøyde er det mulig å øke absorpsjonen med tekstiler (f.eks. bannere) som kan trekkes fram og henge fritt under taket. Når bannerne ikke er i bruk, bør de trekkes inn i en lukket boks for å hindre lydabsorpsjon. Typiske absorpsjonsverdier som man kan oppnå med passende tette, porøse bannere, er gjengitt i tabell 43. Ved lave frekvenser er absorpsjonen beskjeden, mens den er ganske høy ved middels og høye frekvenser.

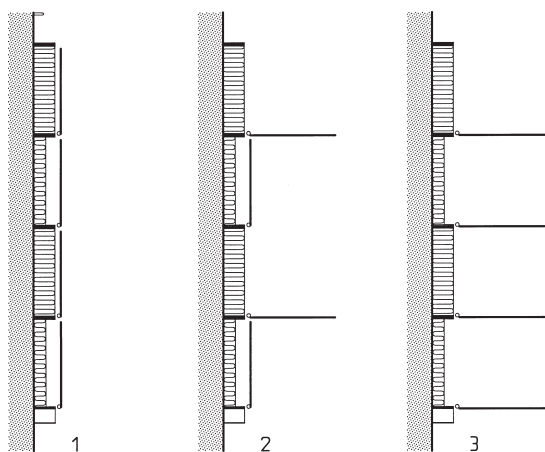


Fig. 43 b  
Regulerbar absorpsjon med vannrett hengslede luker på veggen [622]

- 1) lukkede luker – maksimal etterklangstid
- 2) halvparten av lukene åpne – middel etterklangstid og mange tidlige lydrefleksjoner
- 3) alle luker åpne – kort etterklangstid

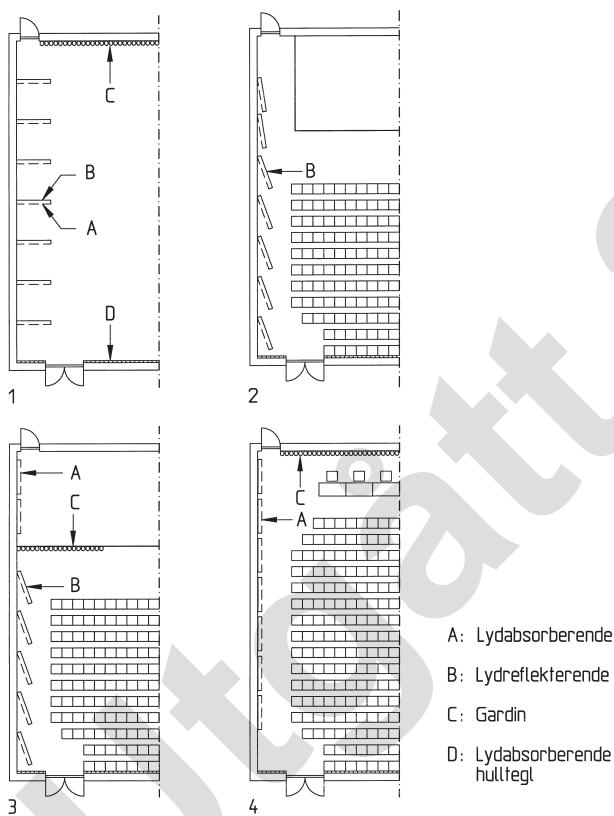


Fig. 43 c  
Eksempel på sal med regulerbar akustikk (Silkeborg høyskole, Danmark). Volumet er ca. 1 700 m<sup>3</sup> og de dreibare veggelementene er 1,8 m x 3,0 m

- 1) Utstilling – kort etterklangstid
- 2) Konsert med 200 tilhørere – lang etterklangstid og mange side-refleksjoner
- 3) Teater med 200 tilhørere – middels etterklangstid
- 4) Foredrag med 300 tilhørere – kort etterklangstid

Tabell 43

Typiske absorpsjonsfaktorer for fritt hengende bannere. Faktorene refererer til arealet på den ene siden av banneret, mens lyden ved høye frekvenser absorberes på begge sider. Dette forklarer at faktoren kan bli større enn 1 [622].

	Frekvens, Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
$\alpha$	0,30	0,45	0,70	0,95	1,15	1,20

#### 44 Regulerbart romvolum

Det er mulig å endre etterklangstiden i et rom bare ved å endre volum istedenfor å endre mengden av lydabsorberende materiale. En fordel ved å endre volumet er at etterklangstiden kan gjøres kortere samtidig med at lydstyrken i rommet økes. Tilførsel av ekstra lydabsorpsjon for å få kortere etterklangstid gir derimot lavere lydstyrke. Derfor er regulerbart romvolum særlig egnet for rom som skal kunne omstilles fra konsert til foredrag. Redusert volum gir større klarhet og lydstyrke og dermed bedre taleforståelse.

For å oppnå ekstra volum over taket må man ha åpninger i taket på minst 40 % av takets areal. Når disse åpningene stenges, minsker romvolumet. Man kan også endre rommets volum hvis det er ulikt antall tilhørere ved ulike aktiviteter. Et eksempel på rom med regulerbart volum er vist i fig. 44 a og b. Prinsippet er brukt i et kulturhus i Esbjerg, bygd i 1997. I dette tilfellet oppnår man variasjon i volumet med senkbare takelementer og mulighet for flatt golv eller hellende plassering av stolrekker på en teleskopoppbygging. Med hevet tak kan det sitte tilhørere på en balkong, og med flatt golv blir romvolum maksimalt og etterklangstiden 1,6 s. Med senket tak og hellende stolrekker blir etterklangstiden 1,3 s.

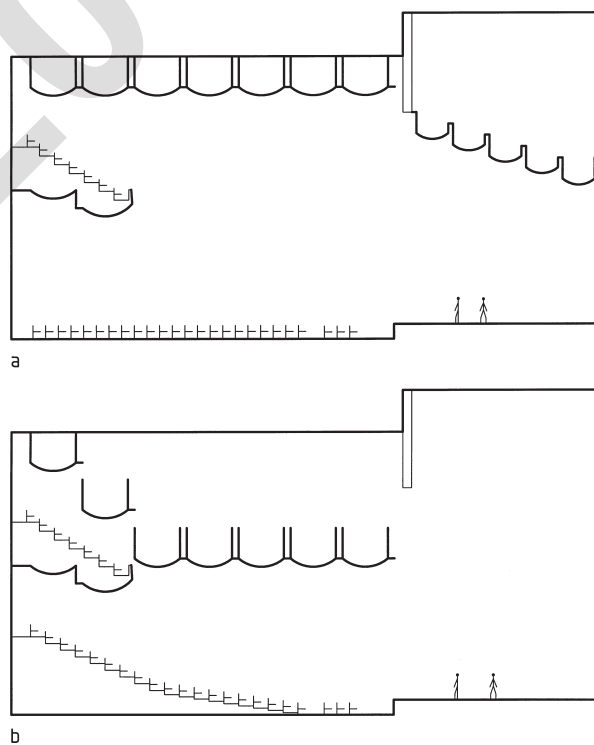


Fig. 44 a og b  
Sal med variabelt volum for å regulere etterklangstid  
a. Konsert, høyt tak, flatt golv, T = 1,6 s  
b. Teater, senket tak, hellende golv, ingen balkong, T = 1,3 s

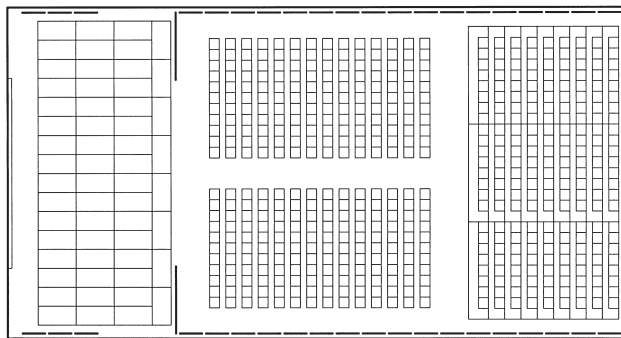
#### 45 Flyttbare veggelementer

En kombinasjon av dreibare veggelementer og mulighet for å endre volumet er vist i fig. 45 a og b. Langs begge sidevegger er veggelementer hengt opp i et skinnesystem i taket. De enkelte elementene er 1,2 m brede og har samme høyde som rommet (7,5 m). Elementene er lydreflekterende på den ene siden og lydabsorberende på den andre siden. De kan vendes slik at etterklangstiden varierer fra ca. 0,5 s til ca. 1,5 s. Noen

av veggelementene kan plasseres på tvers og gi en hel eller delvis oppdeling av rommet som vist i eksemplene fig. 45 a og b.

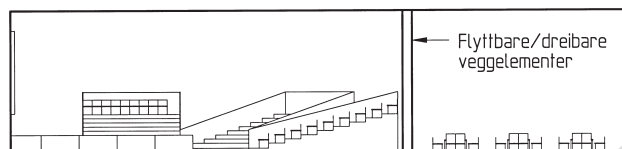


Vertikalsnitt

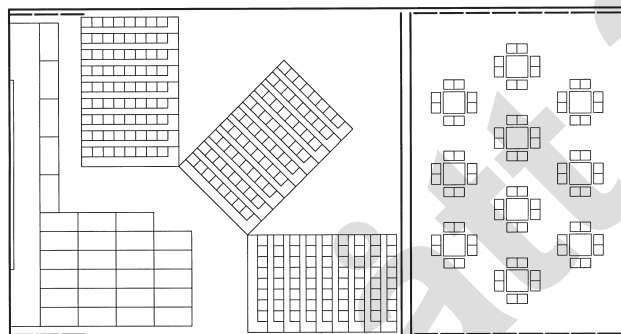


Horizontalsnitt

a



Vertikalsnitt



Horizontalsnitt

b

Fig. 45 a og b  
Sal med flyttbare og dreibare veggelementer. Salen måler 33 m x 18 m x 7,5 m

a. Innredning til teater: noen veggelementer er brukt som prosce-niumramme (rammen rundt scenen)

b. Veggelementene er brukt som lydisolierende dobbeltvegg. Sam-tidige funksjoner her er eksperimentalteater og bridgeturning.

#### 46 Muligheter med spesielle romformer

Som regel er lyden i et rom ikke diffus; dels fordi absorpsjonsmaterialet er ujevnt fordelt på overflatene i rommet og dels fordi flatene ikke er tilstrekkelig lyd-spredende. Hvis tak og vegger er lydreflekterende, kan helningen til sideveggene ha en ganske stor effekt på etterklangstiden, som kan bli opp til to ganger lengre enn beregnet. Maksimal virkning oppnås hvis veggene heller litt utover med omkring 5° vinkel i forhold til loddrett vegg. Omvendt, hvis veggene heller litt innover, blir lyden reflektert ned mot den absorberende publi-kumsflaten, og etterklangstiden kan bli noe kortere enn beregnet. Se også Byggdetaljer 527.300.

#### 47 Muligheter med elektroakustisk regulering

I de senere årene er det skjedd en betydelig utvikling av elektroakustiske anlegg som kan forlenge etterklangs-tiden i et rom. Noen systemer kan gi 50 – 70 % forlengelse, og nye systemer basert på elektroniske etterklangs-enheter kan gi 200 – 300 % forlengelse av et-terklangstiden. Med bruk av slike anlegg må den natur-lige etterklangstiden i rommet være kort, tilsvarende den korteste ønskede etterklangstiden, se [624].

## 5 Høytaleranlegg

I større rom med plass til mer enn 150 tilhørere bør det være et høytaleranlegg til å formidle tale og spille av programlyd fra film. Eventuelt bør anlegget også kunne brukes i forbindelse med sceneopptreden. Høytta-leranlegg bør plasseres slik at det er lett for alle tilhø-rerne å lokalisere den egentlige lydkilden. Prosjektering av høytaleranlegg i rom er nærmere beskrevet i [624] og [626].

## 6 Referanser

### 61 Utarbeidelse

Dette bladet er utarbeidet av Jens Holger Rindel. Saksbehandler har vært Britt Galaasen Brevik. Redak-sjonen ble avsluttet i juni 1999.

### 62 Litteratur

- 621 Appleton, I. Buildings for the performing arts. A design and development guide. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford, 1996
- 622 Barron, M. Auditorium acoustics and architectural design. E & FN Spon. London, 1993
- 623 Fasold, W., Sonntag, E., Winkler og H. Bauphysikalische Entwurfslehre. Bau- und Raumakustik. R. Müller. Köln-Braunsfeld, 1987
- 624 Gade, A.C. Elektroakustiske anlæg i rum. Note nr. 4211. Laboratoriet for Akustik, Danmarks tekniske Universi- tet. Lyngby, 1995
- 625 Rindel, J. H. Anvendt rumakustik. 2. udgave. Note nr. 4201. Laboratoriet for Akustik, Danmarks tekniske Uni- versitet. Lyngby, 1984
- 626 Statsbygg. Rom-akustikk og elektro-akustiske anlegg. Prosjekteringsanvisning PA 5551. Oslo, 1997
- 627 Strøm, S. Romakustisk prosjektering. Prosjekteringsan- visning og datasamling for lydabsorberende materialer og konstruksjoner. Norges byggforskningsinstitutt, An- visning nr. 20. Oslo, 1979
- 628 THX Sound Systems Program, Instruction Manual, Architect's and Engineer's Edition. 3<sup>rd</sup> edition. Lucas- film Ltd. California, USA, 1987