

△ SBI-publ.

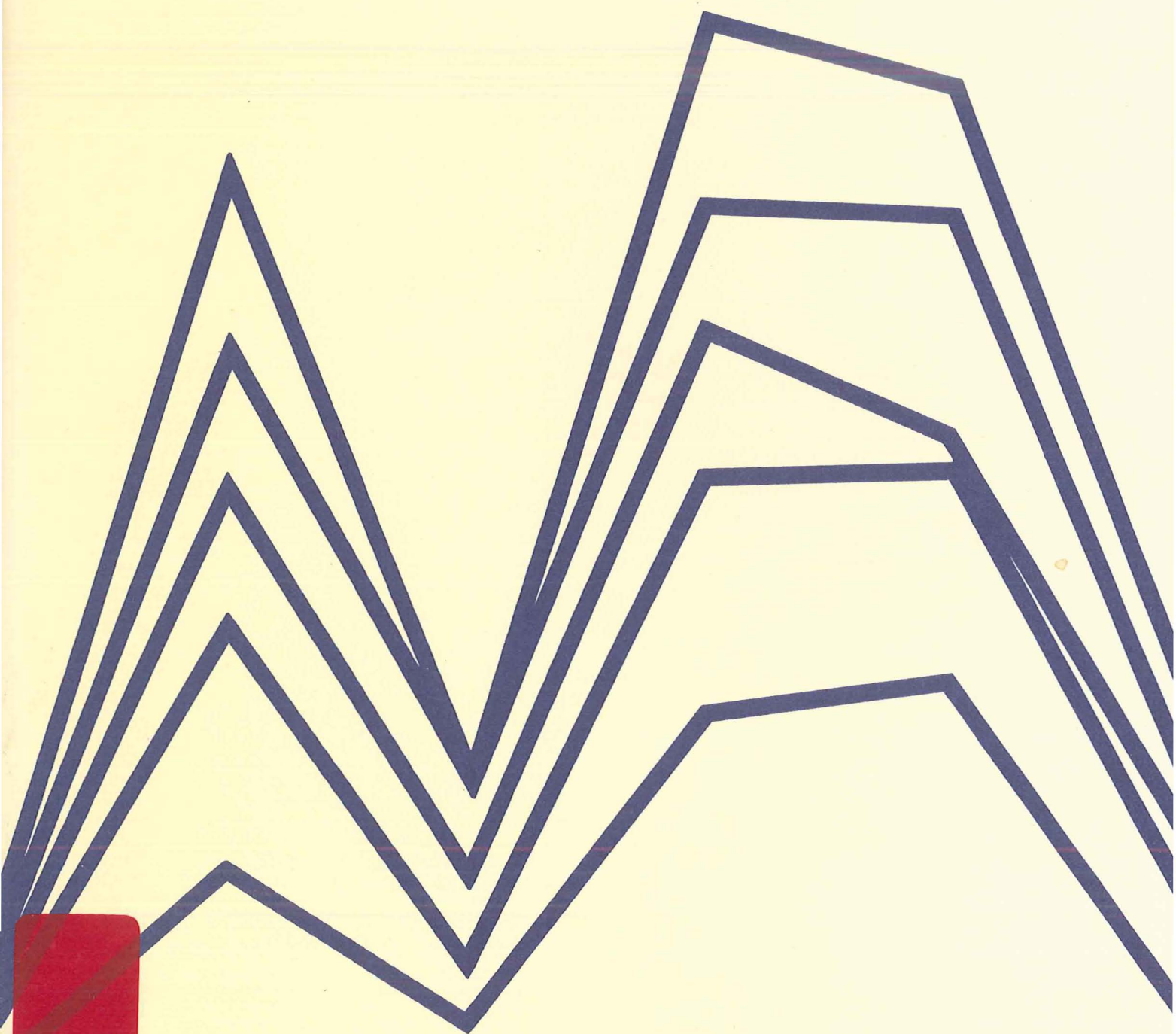
Undersøgelse af installationsstøj i boligbyggeri



Investigation of noise
from domestic installations

Jørgen Kristensen

SBI-RAPPORT 95 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · HØRSBOLM 1975



Noise from
installations in dwellings JØRGEN KRISTENSEN

01060P
27. AUG. 1975 *ex-2*

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

Oplag 1000
ISBN 87 563 0214 2
IBM 72, Elite 12 pitch, 100 pct
Renskrivning Aase Petersen
Tryk Bjørvig Offset, København
Publikationen er i kommission hos Teknisk Forlag
Skelbækgade 4, 1717 København V. Telefon 01-216801

Eftertryk tilladt, men kun med kildeangivelsen:
"SBI-rapport 95: Undersøgelse af installationsstøj
i boligbyggeri"

SBI: Dr. Neergaards Vej 15
Postadresse: SBI, Postbox 119, 2970 Hørsholm
Telefon: 02-865533

| | |
|------------------|--------|
| Forord | side 5 |
| Indledning | 5 |

Litteraturstudier side 7

| | |
|--|----|
| Lyddbredelse i væskesøjler | 7 |
| Lyddæmpning i vand | 9 |
| Lyddæmpning i rørvægge | 11 |
| Lydfrembringelse i lige rør | 12 |
| Lydfrembringelse i rør med bøjninger | 14 |
| Lydfrembringelse i faste enkeltmodstande | 16 |
| Lydfrembringelse i ventiler | 16 |
| Kavitationsstøj | 19 |
| Trykstød | 21 |
| Metoder til nedsættelse af støjniveauet | 22 |
| Erfaringer fra laboratorium og praksis | 27 |
| Reduktion af vandtryk, 27 | |
| Reduktion af vandmængde, 27 | |
| Elastisk røropsætning og lyddæmpning i rør, 28 | |
| Væggens indvirkning på lydudstråling, 30 | |
| Planløsning, 31 | |
| Ventiler, 31 | |
| Støjniveau i bygninger, 33 | |

Måling af støj side 36

| | |
|---|----|
| Støj i vandinstallationer | 36 |
| Analyse af støj | 37 |
| Støjmåling i dB(A), 37 | |
| Beregning af dB(A), 38 | |
| Måling i bygninger | 40 |
| Standard støjkilde | 40 |
| Måling af støj i laboratorier | 42 |
| Driftserfaringer, 44 | |
| Metodens begrænsninger, 45 | |
| Måling med støjnormal, 46 | |
| Måling med støjnormal i bygninger | 49 |
| Vaske- og opvaskemaskiner | 51 |
| Installationers indvirkning på lydisolation | 53 |
| Lydtransmission gennem utætheder, 53 | |
| Lydtransmission gennem centralvarmeanlæg, 55 | |
| Lydtransmission gennem rør- og kanalvægge, 55 | |
| Støj fra ventilationsanlæg | 56 |
| Ventilatorer, 56 | |
| Støj fra luftens bevægelser, 56 | |
| Dæmningsforanstaltninger, 56 | |
| Støj fra centralvarmeanlæg | 57 |
| Afløbsanlæg | 59 |
| Afløbsinstallationer kontra vandforsyningsanlæg, 59 | |

| | |
|---|----|
| Støjniveau i relation til kravene i BR | 62 |
| Beskrivelse af bygninger, hvori støjniveauet er målt med støjnormal | 65 |
| Bygning I. Montagebyggeri i 4 etager, | 65 |
| Bygning II. Montagebyggeri i 3 etager, | 66 |
| Bygning III. Montagebyggeri i 4 etager, | 67 |
| Bygning IV. Montagebyggeri i 8 etager, | 68 |
| Bygning V. Montagebyggeri i 3 etager, | 69 |
| Bygning VI. Montagebyggeri i 3 etager, | 69 |
| Bygning VII. Montagebyggeri i 4 etager, | 70 |
| Bygning VIII. Montagebyggeri i 8 etager, | 70 |
| Bygning IX. Pladsstøbt betonbyggeri i 3 etager, | 71 |
| Bygning X. Muret byggeri i 3 etager, | 71 |
| Bygning XI. Muret byggeri i 3 etager, | 72 |
| Indledende målinger | 73 |
| Måleresultater fra udvalgte byggerier | 75 |
| Bygning I, | 81 |
| Bygning II, | 83 |
| Bygning III, | 84 |
| Bygning IV, | 84 |
| Bygning V, | 85 |
| Bygning VI, | 87 |
| Bygning VII, | 87 |
| Bygning VIII, | 88 |
| Bygning IX, | 89 |
| Bygning X, | 89 |
| Bygning XI, | 90 |
| | |
| Konklusion | 91 |
| Litteraturfortegnelse | 92 |
| English summary | 97 |

Forord

Ved oprettelsen af Byggeriets Akustiske Målestation i 1967 vedtog det for målestationens ledelse ansvarlige udvalg, at målestationen som en af sine første forskningsopgaver skulle undersøge forholdene vedrørende støj fra installationer i boligbyggeri. Det lå allerede ved projektets start klart, at der var tale om en langtidsopgave, fordi arbejdet på opgaven ikke måtte nedsætte målestationens mulighed for at udføre rekvirerede undersøgelser. På grund af disse arbejdsbetingelser er en del undersøgelsesresultater og en del resultater fra litteraturstudier publiceret som SBI-notater, særtryk og anvisning, før afslutning af rapporten. Med den form en undersøgelse under de givne betingelser måtte få, var sigtet med undersøgelsen at klarlægge, hvordan støjforholdene er, for derigennem at bane vej til anvisninger på, hvorledes bygningsreglementets krav kan opfyldes. Rapporten viser ikke en klar løsning på dette problem, men peger videre mod en vej til løsning af problemet.

Indledning

Rapporten er delt i tre hovedafsnit, hvori det tilstræbes at præsentere indholdet i en relativt anvendelsesrettet form. En dybere teoretisk behandling af problemerne er ikke forsøgt, og kun i få tilfælde er der anført formeludtryk, som ligger uden for de helt elementære akustikkursers rammer.

Rapportens første afsnit indeholder i det væsentlige kommenterede bidrag fra en stor del af den anførte litteratur. Afsnittet er underopdelt i en række afsnit, som efter forfatterens opfattelse giver en naturlig ind-

føring i de mange faktorer, som har indvirkning på det resulterende støjniveau. Flere af de i litteraturafsnittet benyttede figurer findes ikke i den viste form hos den citerede kilde, men er resultatet af bearbejdning af resultater fra den citerede kilde.

Rapportens andet afsnit omhandler måling af støj. Det er forsøgt at begrænse indholdet mest muligt på områder, som beskrives i almindelige akustikkurser, men helt har det ikke kunnet undgås. Flere af underafsnittene indeholder sammenfatninger af tidligere publicerede resultater fra afgrænsede undersøgelser.

Rapportens tredje afsnit indeholder resultater fra målinger af støjniveauet i danske bygninger. I det væsentligste er der tale om måling af støj fra vandinstallationer. I den første del af afsnittet gives en byggeteknisk beskrivelse af de bygninger, hvori der er udført målinger af støjniveauer frembragt dels af den monterede tapventil, dels af støjniveauet frembragt af en medbragt støjnormal, der monteres på tapventilens plads. I den sidste del af afsnittet beskrives resultaterne fra de enkelte bygninger.

Rapporten afsluttes med en kort konklusion og en litteraturfortegnelse.

I litteraturen har emnet støj fra vandinstallationer været behandlet i mange artikler i tiden fra ca. 1925 til i dag. Der er kun i få tilfælde givet samlede oversigter over emnet, hvilket kan skyldes, at en teoretisk behandling af støjens opståen og udbredelse i et forgrenet system er meget vanskelig. Ved at opspalte emnet og behandle de til de afgrænsede emner knyttede problemer, er det imidlertid muligt at finde en lang række oplysninger i litteraturen.

Lydudbredelse i væskesøjler

Udbredelsesbetingelserne for lyd i et uendeligt medium bestående af væske er i teoretisk henseende de samme, som er gældende for et uendeligt medium bestående af luft, blot må der regnes med ændrede værdier for de fysiske størrelser, som indgår i de fra lydteorien kendte udtryk. Medens et medium af luft kan betragtes som værende i en-faset tilstand, er dette ikke altid tilfældet for en væske. I praksis er vand ikke en idealvæske, den kan under forskellige forhold bestå af blandinger af luftarter og væske. I vand kan luft absorberes og absorberes i meget forskellige mængder, desuden kan der i væsker, som strømmer med stor hastighed, forekomme hydrostatisk tryk, som er lavere end væskens damptryk, hvorved der dannes dampfyldte hulrum. Denne tilstand betegnes kavitation. I vandværksvand med normalt luftindhold vil der ske en hulrumsdannelse ved tryk, som er højere end damptrykket. Fysisk set svarer denne tilstand nøje til den omtalte kavitationstilstand, blot består indholdet i hulrummet af luft og vanddamp. Undertiden betegnes denne tilstand uægte kavitation. I

Idealvæske

Kavitation =
hulrumsdannelse

Lydens udbredelseshastighed

det følgende vil der ikke blive skelnet mellem de to kavitationsformer, idet begge betegnes som kavitation.

En af de karakteristiske størrelser for et stof er lydens udbredelseshastighed - lydhastigheden - i stoffet. I luft er lydhastigheden ca. 330 m/s ved 0° C. Hastigheden vokser ca. 20 % ved en temperaturstigning på 100° C. I ferskvand er lydhastigheden ca. 1410 m/s, i saltvand noget større. Hastighedsforøgelsen i vand ved en temperaturstigning på 10° C er omkring 2 %.

Lydhastigheden i en blanding af gas og væske afhænger af fordelingen af gas og væske, således at hastighedens største værdi svarer til hastigheden i den rene væske. Ved lyds udbredelse i væske i fyldte rør indvirker rørvæggens elasticitet på udbredelseshastigheden, således at den formindskes i forhold til udbredelseshastigheden i et udstrakt medium. Antages røret at være sammensat af ringelementer, som kan udføre af hinanden uafhængige pulsationssvingninger, kan der jævnfør Ganitta opstilles følgende udtryk for lydhastigheden for væsken i det fyldte rør.

$$c_r = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \frac{2\rho c_0^2 D}{(1 - \frac{5a}{6D})aE}}} \quad (1)$$

hvor c_0 er lydhastigheden i et udstrakt medium af væske, E rørmaterialets elasticitetsmodul, ρ væskens massefylde, a rørvæggens tykkelse og D rørets indvendige diameter.

Udtrykket (1) viser, at udbredelseshastigheden i en vandsøjle i rør af samme materiale aftager med voksende værdier af $\frac{D}{a}$, og at udbredelseshastigheden i en vandsøjle i rør med konstant værdi af $\frac{D}{a}$ aftager med faldende værdier af vægmaterialets elasticitetsmodul. Lydhastigheden i 10 mm vandsøjler indesluttet i kobberør og stålør med forholdet D/a ca. 10 er henholdsvis ca. 85 % og 90 % af lydhastigheden i et udstrakt medium. I en gummislange med 10 mm diameter og vægtykkelse svarende til stålørrets væg vil lydhastigheden kun være 5-20 % af lydhastigheden i et udstrakt medium.

Lydhastigheden i væsken er mindre i et gummør end i et stålør

Lyddæmpning i vand

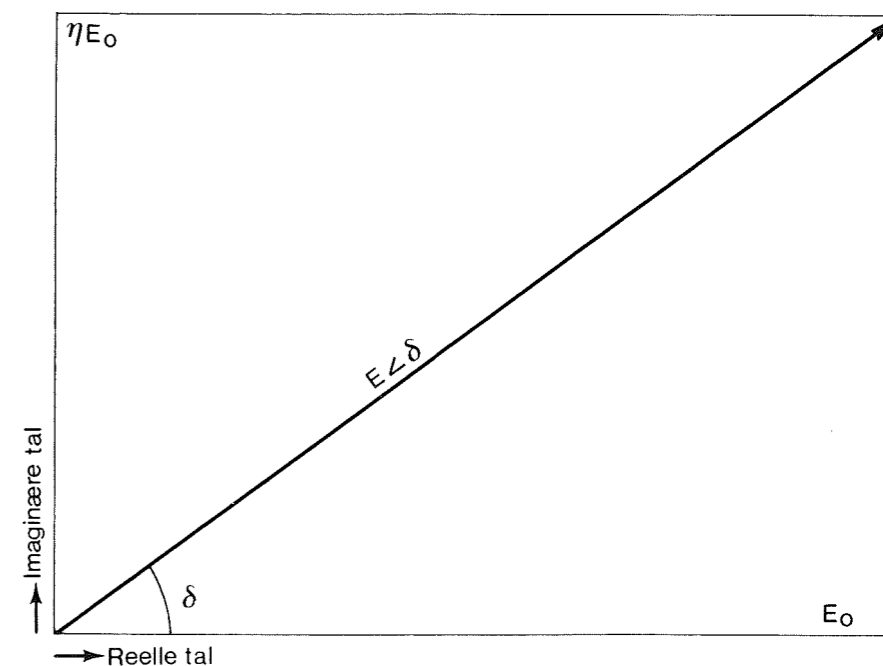
Ved lyds udbredelse i såvel gas som væske sker der på grund af molekylefriktion en vis dæmpning; den er dog uhyre beskeden og uden praktisk betydning for støj i installationer. For rent vand er den molekulære dæmpning ved 300 Hz ca. 1 dB pr. 100 km, den indre dæmpning er derfor helt uden betydning ved målinger i rør. Friktion mellem medium og rørvæg medfører en dæmpning, som er større end ved udbredelse i et udstrakt medium. I et 10 mm rør er dæmpningen dog stadig beskeden ved 1000 Hz ca. 1 dB pr. 20 m. En del af lydenergien afgives til at sætte rørvæggen i svingninger. Forudsættes svingningerne at være sinusformede, kan elasticitetsmodulet opfattes som en kompleks størrelse

$$E = E_0 (1 + j\eta)$$

Denne afbildes ofte i en kompleks plan, hvor η er den såkaldte tabsfaktor, der er lig med tangens til vinklen bestemt af størrelsens reelle og imaginære del. Mellem η , som er frekvensafhængig, og det logaritmiske dekrement Λ , d.v.s. den naturlige logaritme til for-

Lyddæmpningen i vand er ringe

Logaritmisk dekrement



Figur 1. Elasticitetsmodulet angivet som radius vector i en kompleks plan. Modulets reelle del E_0 ligger i abscisseaksen og den imaginære del i ordinataksen. Tangens til vinklen δ mellem radius vector og abscisseaksen er bestemmende for, hvor stor en del af svingningsenergien, der omsættes til varme.

holdet mellem amplituderne på to hinanden følgende svingninger, består følgende relation

$$\pi\eta = \Lambda.$$

Ved at indføre den komplekse elasticitetsmodul i (1) kan der efter en del regning findes et udtryk for dæmpningsparameteren β , idet lydtryk i røret kan beskrives ved amplituden A , faseparameteren α , frekvensen ω , tiden t , bølgetallet k , vejlængden x , samt dæmpningsparameteren β :

$$P(x) = A e^{\pi j(\omega t - kx + \alpha)} \cdot e^{-\beta x}.$$

For β findes følgende:

$$\beta \approx \omega \eta \frac{1}{E} c_r \frac{\rho D}{(1 \div \frac{5}{6} \cdot \frac{a}{D}) a}$$

hvoraf det direkte fremgår, at dæmpningen er proportional med frekvensen og tabsfaktoren. Ved nogen regning med størrelsesforhold viser det sig, at dæmpningen i forekommende rørtyper også er omvendt proportional med elasticitetsmodulet.

Forsøg med gummislanger har vist, at de målte værdier for β er mindre end beregnet, men at der i øvrigt er god overensstemmelse mellem teori og praksis, når der ses bort fra de laveste frekvenser. Slanger med diameter på 4" og 2" kan give dæmpninger på 15-20 dB pr. meter ved ca. 1000 Hz. i 2" stålør er dæmpningen beskedent, ca. 1 dB pr. 50 m ved 1000 Hz. Overensstemmelse mellem målte og beregnede dæmpninger for stålør er god, hvilket er overraskende i betragtning af det relativt simple udtryk (1). De angivne værdier for dæmpning i vand gælder for vand uden indhold af fri luft. Forsøg med iblandet luft viser, at dæmpningen tilsyneladende vokser betydeligt med luftindholdet, det gør måleusikkerheden imidlertid også, hvorfor der i realiteten ikke kan siges noget om dæmpningens størrelse.

Lyddæmpning i rørvægge

Af udtrykket for dæmpningsparameteren fremgår det, at dæmpningen i vandsøjlen også påvirkes af det anvendte rør. Det vil sige, at en del af lydenergien fra væsken overføres til rørvæggen. I modsætning til luft og væsker, hvori lydsvingninger sker i lydets udbredelsesretning, kan lydsvingninger i fast stof i princippet have to former, en analog med udbredelse i væsker og en anden med udsvingningsretningen vinkelret på lydudbredelsesretningen. Disse svingningsformer betegnes henholdsvis longitudinal- og transversalsvingninger. Den sidste form svarer ved lydtransmission langs med røret til en bølgebevægelse i overfladen af rørvæggen. Undersøgelser af lydsvingninger i vandfyldte rør viser, at et betydeligt antal egenfrekvenser i væskesøjlen falder sammen med rørets egenfrekvenser. Betingelserne for næsten tabsfri overføring af lydenergi fra væske til rør eller omvendt er særdeles gode. Denne tilstand betegnes hyppigt som en god kobling mellem rør og væske. Lyddæmpningen i et stålør er betydelig mindre end i en væskesøjle. Undersøgelser af de to forskellige svingningsformer longitudinal- og transversalsvingninger viser, at dæmpningen for transversalsvingninger er mere end ti gange så stor som for longitudinalsvingninger.

Det følger af den gode kobling mellem vandsøjle og rør samt af den ringe dæmpning i såvel væskesøjle som i rørvæg, at en effektiv støjdæmpning vil kræve en dæmpning af eller isolation mod både rør- og væsketransmitteret støj.

Lyddæmpningen større i kobberrør end i stålør

I kobberrør er lyddæmpningen i rørvæggen større end i stålør, men alligevel er transmission i rørvæggen væsentlig for lydudbredelsen. I plastrør er lyddæmpningen endnu større end i kobberrør. Der foreligger i øjeblikket nogle måleresultater, der viser fordelingen mellem longitudinal- og transversalsvingninger. Det må forventes, at longitudinalsvingningernes bidrag til lydtransmissionen i det betragtede frekvensområde både for kobber- og plastrør er mindre end for stålør. Årsagen hertil skal søges i anvendelse af tyndere rørvægge i kobberrør end i stålør og i en større dæmpning af longitudinalbølgers amplituder i plastmaterialer end i stål.

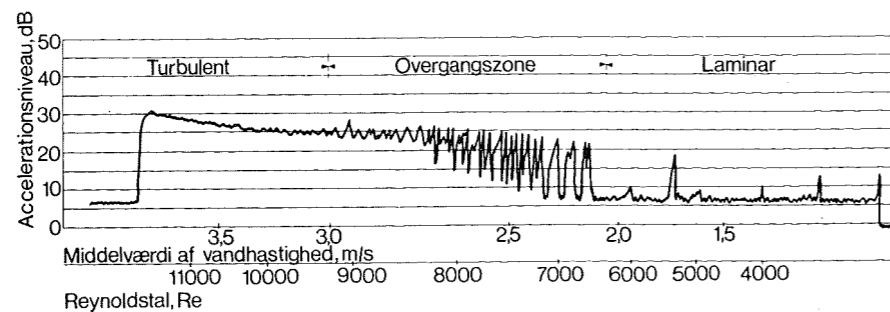
Lydfrembringelse i lige rør

Støjfrembringelse i rør er bortset fra ydre påvirkninger f.eks. slag på rørvæg, knyttet til energiomsætningen i røret, d.v.s. i første række afhængig af væskeføring og trykdifferens pr. længdeenhed. Ved strømning langs en væg opstår der på grund af den indre gnidning et grænselag, ved hvis ene side strømningshastigheden er nul. I en laminar strømning i et rør bevæger alle væskepartikler sig stort set i lineære baner. Der kan forekomme ændringer i hastighed, men grænselaget er kun i ringe grad påvirket af tidsafhængige svingninger. Denne tilstand findes ved lave værdier af Reynolds tal Re:

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

hvor ν er væskehastigheden, d rørdiameteren og ν væskens kinematiske viskositet (for vand $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ved 20°C) Reynolds tal Re vokser med stigende hastighed.

Der findes et relativt stort interval, hvis yderpunkter angiver værdier af Re, hvor der er henholdsvis en laminar og en fuldt udviklet turbulent strømningstilstand. Den turbulente strømningstilstand er karakteriseret ved, at væskestrømmen har varierende retninger i forhold til hovedretningen, og at hastigheden i et givet punkt ikke er konstant. I overgangsområdet mellem laminar og turbulent strømning kan der forekomme instabile tilstande, hvor der uregelmæssigt, kortvarigt optræder turbulens, som atter forsvinder, såkaldte intermitterende turbulensstilstande. Lydteknisk er denne tilstand karakteriseret ved fremkomst af såkaldte "noise shot", kortvarige



Figur 2. Accelerationsniveauet målt på væggen af et glasrør ved aftagende vandhastighed. Længden af røret er 1,5 m og rørets indvendige diameter er 3,5 mm. Efter Dinckelacker, Meyer und Tamm.

impulser, der optræder med større hyppighed, desto nærmere tilstanden er ved den fuldt udviklede turbulente tilstand. I overgangszonen kan forekomme svingninger med mere regelmæssig karakter. Det er udelukkende den turbulente tilstand, som har interesse set ud fra et støjsynspunkt. Når hastigheden i et givet punkt ændres tilfældigt, følger tilsvarende trykændringer, der i grænselaget viser sig at være proportional med kvadratet på strømningshastigheden. Dette gælder såvel ved strømninger i luft som i vand. Effektivværdien af det frembragte tryk i et givet punkt - integreret over hele frekvensområdet - er ca. to gange forskydningsspændingen. Størrelsen af trykket kan antydes ved

$$p \approx 2\tau$$

hvor τ er forskydningsspændingen. Udtrykkes denne ved gnidningskoefficienten som for værdier af Re liggende mellem ca. 10^6 og $5 \cdot 10^7$ tilnærmet er 0,003 fås

$$p \approx 6 \cdot 10^{-3} (\frac{1}{2} \rho v^2).$$

Ved en hastighed på 5m/s fås et tryk på ca. $75 \text{ Pa}^{(x)}$. Ved forsøg er fundet værdier for trykket, som svarer til denne størrelsesorden. De frembragte turbulente trykssvingninger har stort set konstant energi ved frekvenser lavere end $f = 1,4 v/\delta$. Ved frekvenser over denne grænse formindskes energiindholdet væsentligt med stigende frekvens. I udtrykket for f angiver δ grænselagets tykkelse, som er afhængig af Reynolds tal. Korrelationsmålinger i turbulente strømninger viser, at trykssvingninger vandrer i strømretningen med hastigheder mellem 60 % og 80 % af hastigheden i den frie strømning og med aftagende styrke. Tidsforløbet af grænselagssvingningerne kan derfor opfattes således. De opbyggede hvirvler følger strømmen, men de har på grund af væggen nærhed lavere hastighed end strømmens middelhastighed. Under udbredelsen nedbrydes hvirvlerne, men nye opbygges. Størrelsen af hvirvlerne svarer

^(x) (1 Pa (Pascal) = $1 \text{ N}/\text{m}^2 = 0,1 \text{ mm H}_2\text{O}$).

i reglen til grænselagets tykkelse. Den gennemsnitlige levetid for en hvirvel svarer til den tid, det tager hvirvlen at tilbagelægge en afstand på 10-30 gange grænselagstykkelsen. Rørvæggens beskaffenhed, d.v.s. ruhed og elasticitet, har sammen med trykgradienten indvirkning på det turbulente grænselag. Målinger af støj frembragt ved strømning gennem rør viser, at det heldigvis - formodentlig på grund af rørets store stivhed - kun er en mindre del af den i grænselaget dannede svingningsenergi, der overføres til rørvæg og udsendes som lydenergi. Indlæg af elastiske koblinger i rørvæggen vil derfor være nytteløse som støjbekæmpelsesmiddel, hvis den frembragte støjs styrke er bestemt af svingningsenergien i grænselaget.

Forholdet mellem svingningsenergien i den laminare tilstand og svingningsenergien ved den hastighed, hvor den turbulente strømning er indtrådt, er mere end 30 dB.

Foruden strømningsformen har luftindholdet i væsken betydning for det frembragte støjniveau. Undersøgelsen viser, at samme luftindhold i vand i fabriksnye rør af forskellige materialer, kobber, aluminium, glas, messing og rustfrit stål, ikke giver samme støjniveau. Det højeste støjniveau findes i messingrør og det laveste i glasrør. Det viser sig, at luftindholdets indvirkning på støjniveauet aftager med tiden. Det må antages, at en del luft bindes - adsorberes - til ujævnheder i overfladen og først forsvinder efter nogen tids gennemstrømning, og at adsorptionen er materialeafhængig. I to rør med forskellig grad af ruhed, frembringer vand med samme luftindhold under ens betingelser mest støj i rør med stor ruhed.

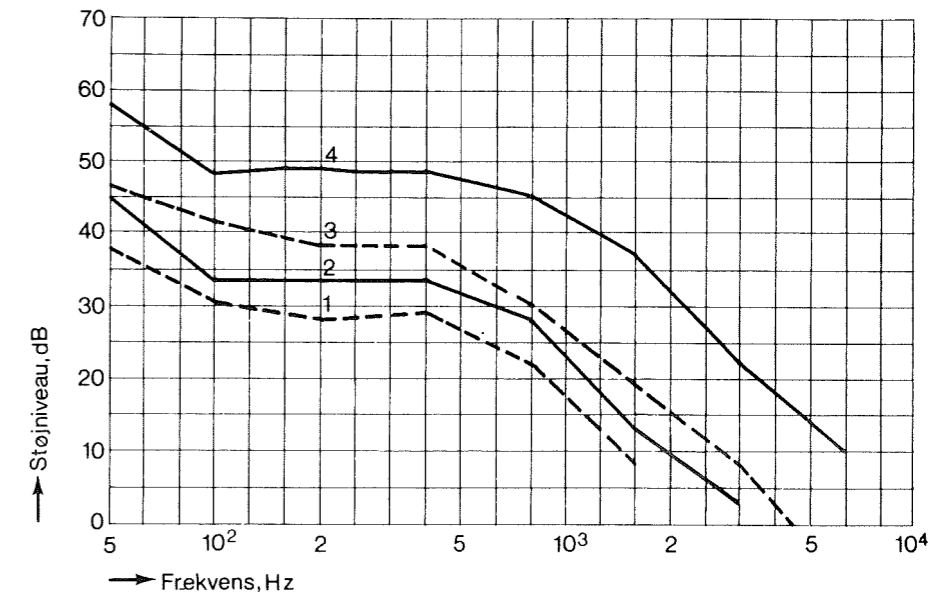
Lydfrembringelse i rør med bøjninger

I rørbøjninger omsættes en større hydrodynamisk energi end i lige rør med tilsvarende længde. I rørberegninger ækvivaleres bøjninger og vinkler med enkeltmodstande. Hvor der i et rør optræder enkeltmodstande, vokser det af strømmingen frembragte vekselsestryk tilnærmelsesvis $p = 0,1 \Delta p \alpha$, hvor α er arealforholdet før og efter indløb og Δp er energitabet i modstande. Det fremgår umiddelbart heraf, at rørbøjninger er mindre støj frem-

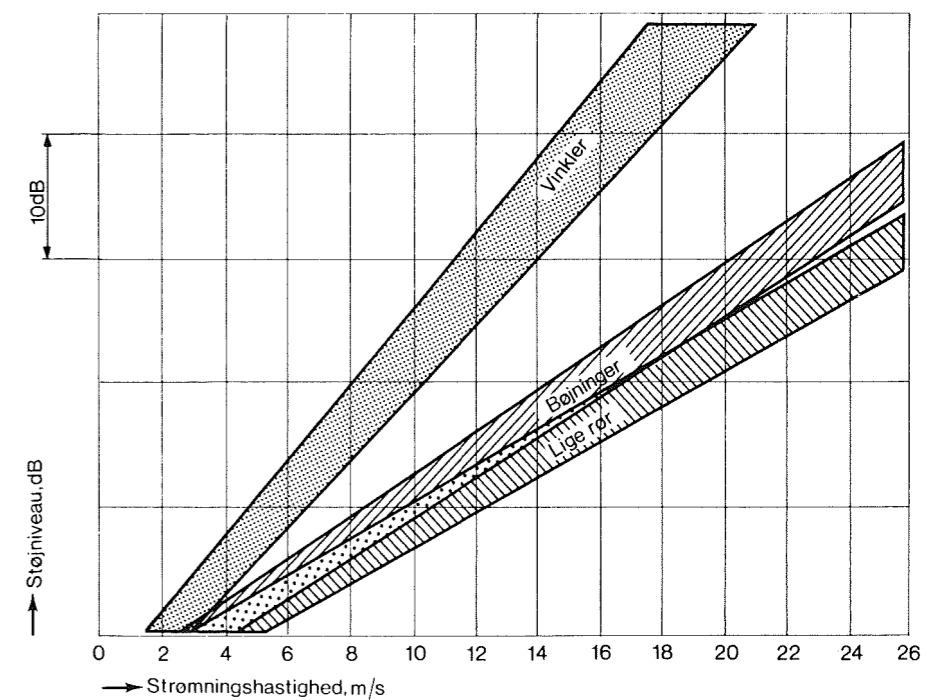
Bøjninger fremfor vinkler

bringende end vinkler. Der bør altid anvendes bøjninger i rør med små dimensioner.

Den fra en given rørlængde udstrålede støj vokser adskillige dB, når en del af et lige rør erstattes med vinkler eller bøjninger. Derimod synes støjens spektrale fordeling ikke at ændre sig væsentligt. Forskellen mel-



Figur 3. Støjtrykkniveau pr. oktav som funktion af frekvensen for 1'' stålør. Strømning i lige rørstreng med hastighederne 1,7 m/s og 2,9 m/s, henholdsvis kurverne 1 og 2. Strømning i rørstreng med 4 vinkler ved tilsvarende hastigheder henholdsvis kurverne 3 og 4.



Figur 4. Lydtrykkniveau målt ved vands strømning i 3/8'' kobberør opsat uden bøjninger, med afrundede bøjninger og med vinkler. Bøjningsradius i bøjningerne er større end fem gange rørdiameteren. Antallet af bøjninger, henholdsvis vinkler, varierer fra 1 til 4. Efter Bing-Jacobsen.

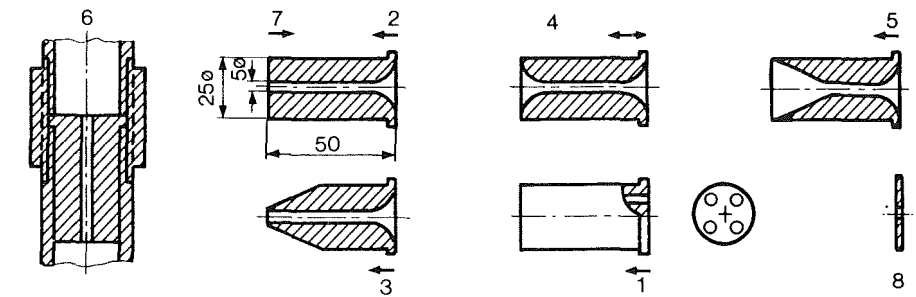
lem støjmissionen fra lige rør og rør med vinkler vokser med vandhastigheden jvf. figur 4. Det fremgår af figuren, at antallet af bøjninger er af mindre betydning i forhold til bøjningernes udførelse.

Lydfrembringelse i faste enkeltmodstande

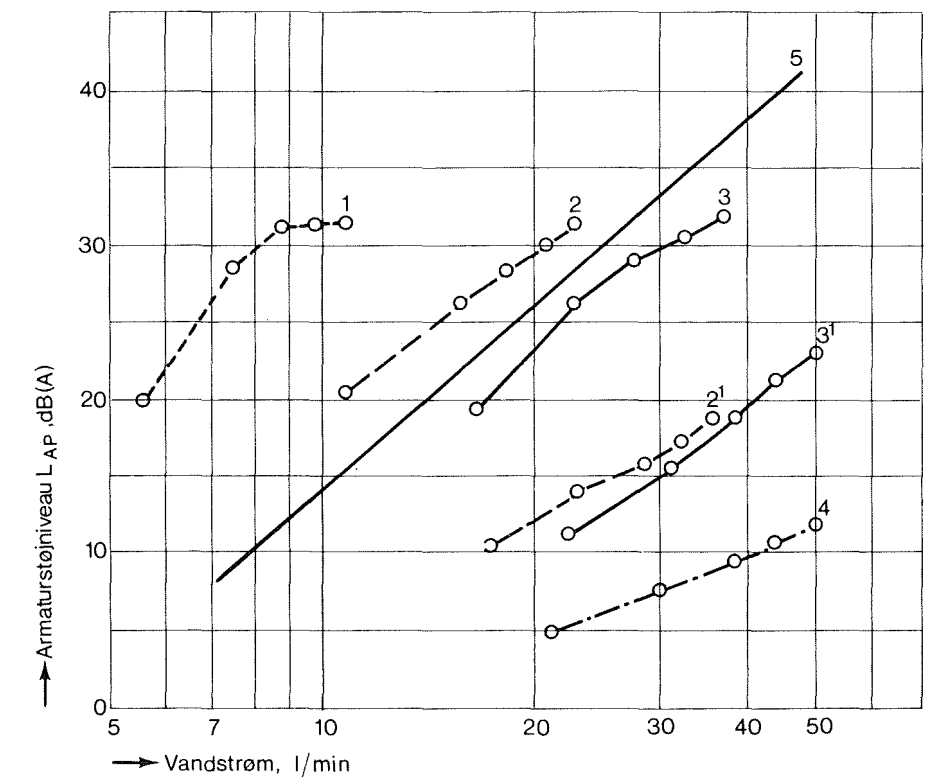
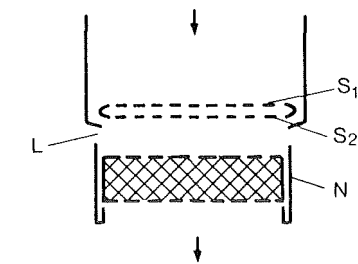
Strømning gennem indsnævrede tværsnit medfører en forøget støj, som gennem væske og rørvæg transmitteres til omliggende bygningsdele. Da energiomsætningen i enkeltmodstande i reglen er meget større end i den jævnt fordelte friktionsmodstand, virker enkeltmodstanden som en lydkilde. Enkeltmodstandens lydmission ligger i reglen mange dB over lydmission fra strømmingen i lige rør. Enkeltmodstandens form er af afgørende betydning for lydmissionen. Det har tilbage omkring 1930 været kendt, at modstande bestående af parallelle rør med lille diameter og stor længde i forhold til diameteren udgør støjsvage modstande. I figur 5 er angivet en række forskelligt udformede modstande. På grundlag af de måleresultater, som findes i litteraturen, er de opført i række efter støjsvagthed eller stigende akustisk virkningsgrad, hvorved forstås forholdet mellem frembragt lydeffekt i relation til omsat mekanisk effekt. Hyppigt anvendte modstande er de såkaldte luftblandere, der - uanset deres reduktion af støjniveauet - kan have en god akustisk virkningsgrad, d.v.s. være relativt støjende. I figur 6 er vist resultater fra nogle målinger af støjniveau fra luftblandere.

Lydfrembringelse i ventiler

I vandforsyningsanlæg omsættes de største energimængder i ventiler ved regulering og aftapning, det vil sige, at den største lydeffekt omsættes i ventilerne. Set fra et lydteknisk synspunkt udgør en ventil et relativt kompliceret system. Tænkes en ventil opdelt i enheder som bøjninger, faste enkeltmodstande og en variabel modstand, kan et billede af en ventil fx svare til figur 7. Ventilkeglen kan virke som selvstændig støjgenerator, og hulrummet kan i nogle ventiler virke som Helmholtz resonator. Ventiler indeholder ikke i alle



Figur 5. Forskellige hydrauliske modstande ordnet efter størrelsen af den frembragte støj. Konfigurationerne 1-3 er støjmæssig næsten ens, hvilket også gælder 4 og 5. Efter Gösele og Valko.



Figur 6. a snit i luftblander. Støjniveauet som funktion af vandmængden målt i dB(A) for tre luftblandere. Kurverne 1, 2 og 3. Luftblandere. 1: ø 14 mm, 2: ø 20 mm og 3: ø 24 mm. Kurverne 2', 3'. Som 2 og 3, dog er hulskiven S udtaget. Kurve 4. Tre parallelle rør med 4 mm diameter og længde på 163 mm. Kurve 5. Resultater fra en række armaturer. Efter Gösele og Voigtsberger.

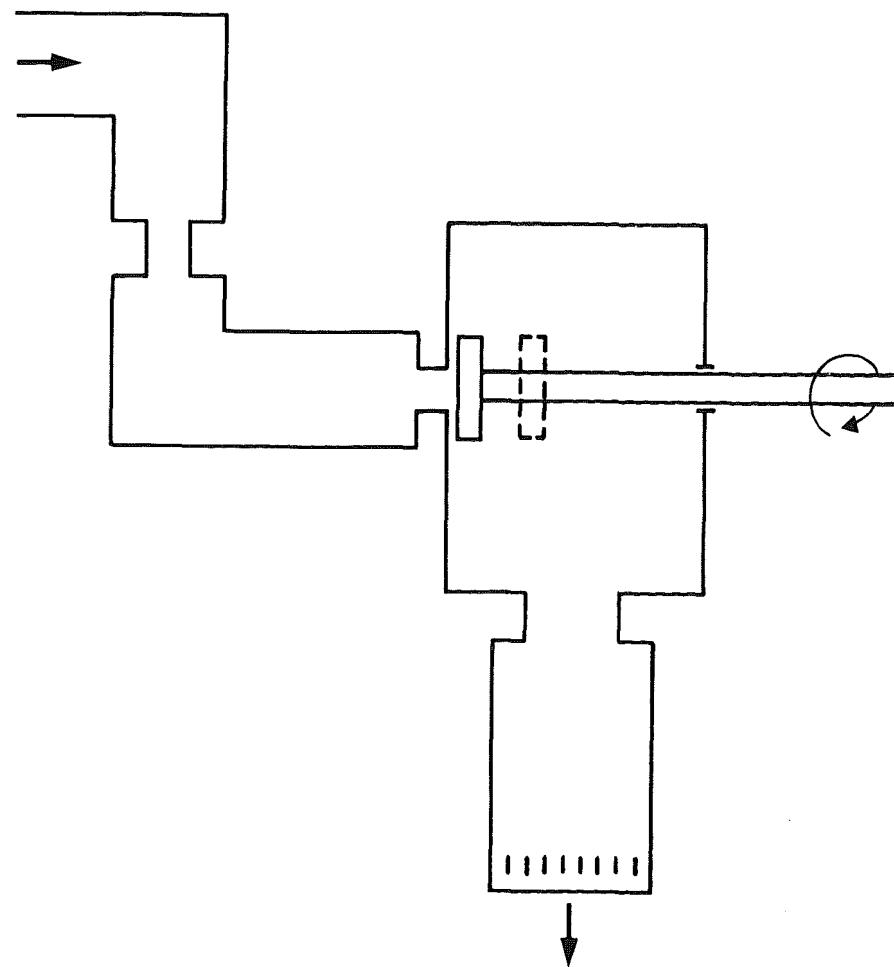
Enkeltmodstandes form

Akustisk virkningsgrad

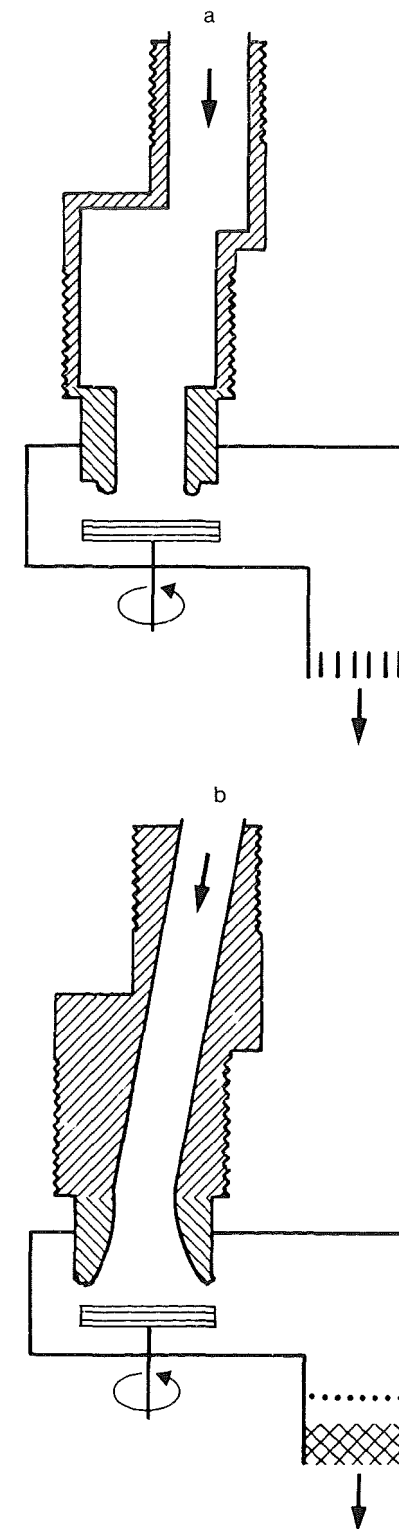
Helmholtz resonator

tilfælde de viste elementer eller har dem anbragt i den viste rækkefølge. Skitsen tjener alene til at klargøre, hvorfor det er vanskeligt at forudsige en given ventils lydmission. Indeholder en ventil elementer, som de er skitseret i figur 7, vil modstandene før og efter ventilsædet virke som begrænsere af ventilens vandføring. En ventils reguleringsområde udgøres normalt af en brøkdel af ventilkeglens samlede vandringslængde, hvorved ventilkeglen efterlades som et fremmed element midt i strømmen. Strømvejen bør rettes ud, således at de mange bøjninger undgås. Modstandene før og efter ventilsædet, hvilket også gælder en eventuel luftblander, skal være støjsvage. Hvis luftfyldte hulrum ligger før ventilsædet, kan de, så længe de er luftfyldte, formindske lydmissionen. Fin-des hulrum efter ventilsædet, vides endnu ikke, hvilken betydning de har. Det er imidlertid givet, at hulrum vil indvirke på trykforholdene og dermed på kavitationsdannelsen. Talrige forsøg på forbedring af venti-

Luftfyldte hulrum



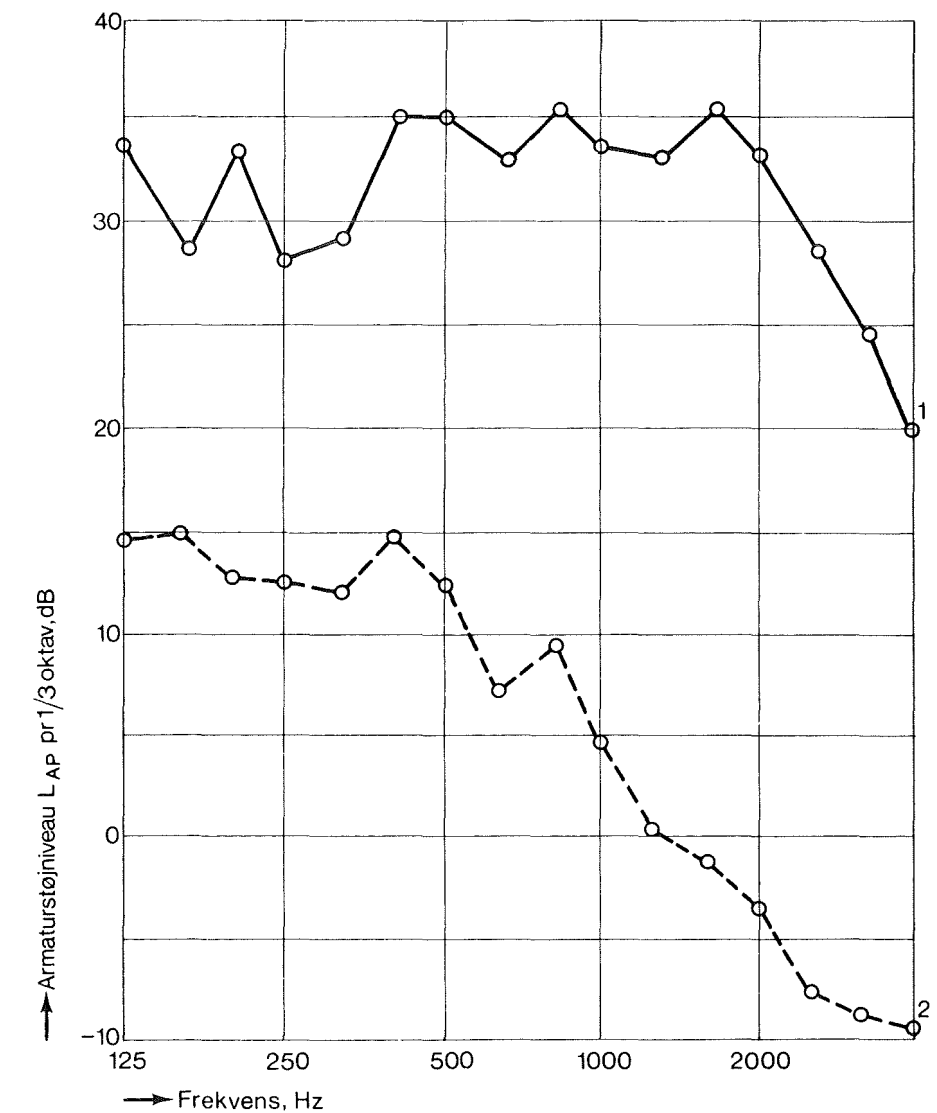
Figur 7. Skematisk angivelse af strømningsbetingelserne i en ventil.



ler er med vekslende held udført i de senere år. Et eksempel på et laboratoriums forbedring af en ventil ses i figur 8. Selvom der med forbedringen er sket en formindskelse af vandmængden og dermed den omsatte energi, så er den opnåede støjmæssige forbedring væsentlig større end svarende til ændringen i energiomsætningen.

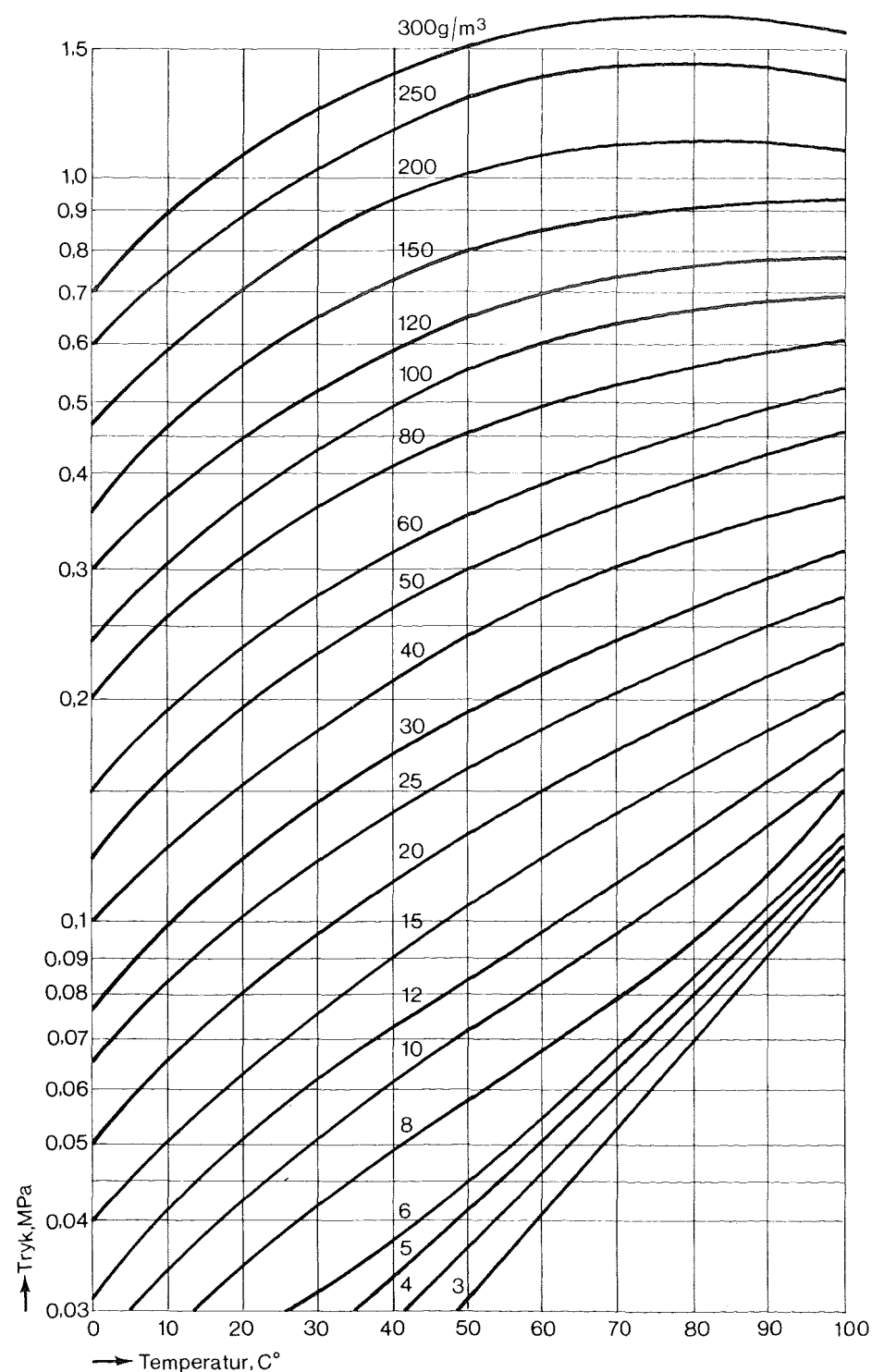
Kavitationsstøj

Under visse forhold opstår der hulrumsdannelser i væske, indholdet i hulrummet er en blanding af damp og luft. I



Figur 8. Støjniveauet som funktion af frekvensen målt i en oprindelig og forbedret udførelse af et armatur. Skitse a. Oprindelig armatur. Skitse b. Ændret armatur. Kurve 1. Oprindelig tilstand, $Q = 49$ l/min. Kurve 2. Ændret tilstand, $Q = 35$ l/min. Efter Gösele og Voigtsberger.

sjældne tilfælde består indholdet af væske i dampfase. I vand findes i almindelighed et relativt stort indhold af luft, både i fri tilstand og i absorberet tilstand. Vandets evne til at absorbere luft stiger med trykket, men aftager med voksende temperatur, som vist på figur 9. Når strømningshastigheden i et partielt område vokser, aftager det hydrostatiske tryk, hvis trykket bliver så lavt, at den absorberede luftmængde er for stor i for-



Figur 9. Luftabsorption i vand målt $\text{kg/m}^3 \cdot 10^{-3}$.

Kavitationsstøj

hold til trykket, vil den overskydende luftmængde optræde som fri luft i form af bobler - kavitationstilstanden indtræder. Denne proces er ikke særlig støjfrembringende. Når luftboblerne - eller dampboblerne - kommer frem til et område, hvor det hydrostatiske tryk igen vokser, vil boblerne på et eller andet tidspunkt komme i en ustabil tilstand, og de vil klappe sammen, kollapse eller implodere. Denne proces kan være meget støjende. Når en boble kollapser, frembringes et kortvarigt knald. Når utallige bobler kollapser formentlig fordelt efter en gaussisk fordelingskurve, frembringes en kontinuert støj. Frekvensfordelingen af lyden fra den enkelte bobles kollaps afhænger i hovedsagen af boblens størrelse, trykket i boblen, dens acceleration og det hydrostatiske tryk. Undersøgelser af kavitationsstøj frembragt ved strømning gennem et indsnævret tværsnit viser, at kavitationen indtræffer umiddelbart efter strømningens kontraherede tværsnit, og den ophører kort efter udstrømningen, afhængig af trykket i ledningen efter indsnævringen - modstanden. Ved at hæve trykket efter modstanden, kan kavitationen undertrykkes. En regel for, hvorledes kavitation undgås, kan ikke angives. Det kan derimod siges, at i vandforsyningsanlæg, vil betingelserne for kavitation være opfyldt.

Målinger af kavitationsstøj viser, at støjen kan opstå momentant, at vandtrykket ved kavitationens påbegyndelse kan være højere end ved dens ophør, d.v.s. at kavitation indebærer et hystereseffænomen. Lydudbredelsen i væsken er bedre i strømrretningen end imod strømrretningen, hvilket svarer til, at lydudbredelsen er bedre i væske end i en blanding af luft og væske. Når resultaterne fra målinger i praksis ikke bekræfter dette resultat skyldes det, at lydtransmissionen først og fremmest sker i rørvæggen.

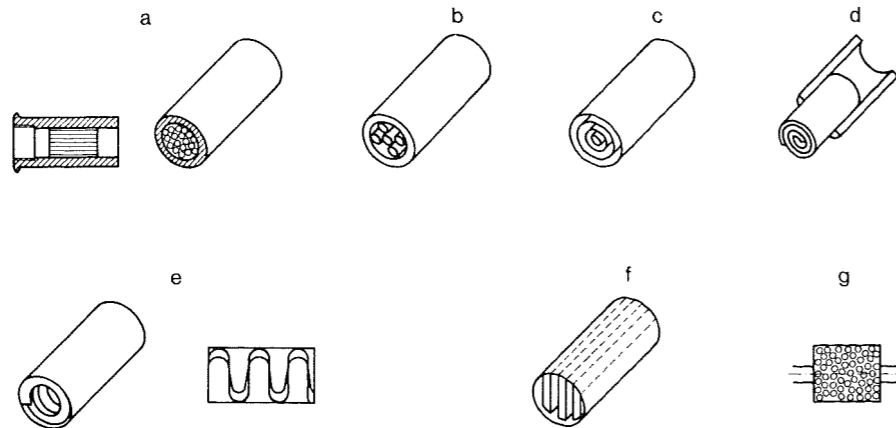
Trykstød

Hurtigt lukkende ventiler skaber kortvarige overtryk, der som bølger bevæger sig ud i rørsystemet. Når en trykbølge rammer en hård afslutning frembringer det en støj, der minder om lyden af slag, hvilket formentlig er årsag til, at fænomenet også betegnes Wasserschläge og Water-Hammer. Påvirkningen af trykstød i installa-

tioner kan nedsættes ved, at der i systemet anbringes en vindkedel eller et gasfyldt hulrum adskilt fra væsken med en elastisk membran eller et forskydeligt stempel. For år tilbage, hvor det var påbudt at anvende selvlukkende fjederbelastede ventiler, hvis lukning hyppigt frembragte trykstød, var det almindeligt at anvende en blind, luftfyldt rørstreng over øverste tapsted. Ved anvendelse af ventiler med forholdsvis lang lukke- og åbningstid vil trykstødet ikke frembringe noget støjproblem. Trykstødet frembringes hyppigt af stempelpumper, magnetventiler og reduktionsventiler. Ved meget kortvarige lukketider kan trykstødet momentant stige til 0,5 - 1,0 MPa (5-10 bar). I magnetventiler opstår hyppigt støj ved ventilens slag mod sædet. Denne støj må ikke forveksles med trykstød.

Metoder til nedsættelse af støjniveaue

Allerede i tyverne begyndte støjproblemer at interessere enkelte forskere og teknikere, og i ældre tidsskrifter kan findes mange illustrationer, som udmærket kunne være frembragt i dag. Man var også den gang klar over, at støjefrembringelsen havde forbindelse med tryktabet i



Figur 10. Forskellige forslag til udformning af støjssvage, hydrauliske modstande. Princippet er stort set ens i a-f, nemlig frembringelse af en række strømmer med dimensioner, som giver håb om en laminar strømningstilstand. I udformning g er gennemstrømningsforholdene afhængige af den benyttede kuglestørrelse.

- Parallele strømmer.
- Parallele, cirkulære cylinderstykker.
- Parallele rør og cirkulære cylindere.
- Spiralformet, sammenrullet plade.
- Spiralformet indlæg.
- Cylinder med parallelle slidser.
- Hulrum udfyldt med kugler.

ventiler og at en formindskelse af støjniveaue kunne ske ved indsætning af støjssvage modstande i ledningsnettet, umiddelbart før ventilen. Svømmende opsætning af rørstrengene var sammen med rørføringer i specielle rørske også dengang midler til bekæmpelse af støjen. Forslag til anvendelse af tunge masser som dæpende elementer i et rørsystem findes fremsat i begyndelsen af trediverne. Også anvendelse af planløsningsmidler som middel til støjbekæmpelse var kendt. Når støjbekæmpelsen ikke har været særlig vellykket i årene frem til halvtredserne, hvor støjproblemet igen er taget op til behandling, skyldes det utvivlsomt mere økonomiske end tekniske årsager.

Støjssvage modstande

I figur 10 vises forskellige udformninger af modstande. Modstandene er oprindeligt tænkt anbragt lige foran ventilen. Her i landet har modstande svarende til udførelsen tidligere været lidt anvendt, men det var i reglen efter nogen tids forløb nødvendigt at foretage en udskiftning, fordi modstanden blev tilstoppet dels ved kalkaf sætning, dels af urenheder i vandet. Til trods for disse dårlige erfaringer er der alligevel i de senere år fremstillet klosetter med støjreducerende indlæg, hvis udformning i princippet bygger på anvendelse af flere tynde rør.

Svømmende rørop-hængning

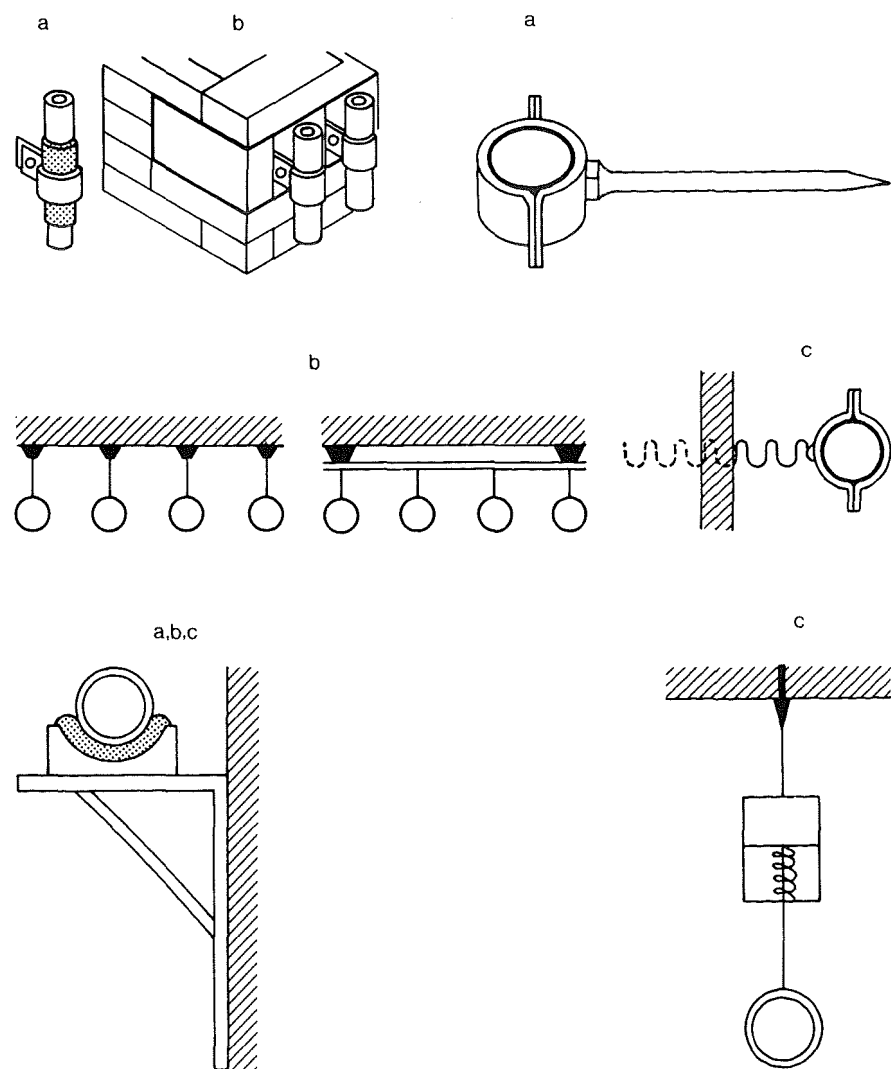
I figur 11 vises forskellige rørbærere med elastisk mellemlag. Rør kan opsættes i rørbærere med elastiske foringer eller i elastisk opsatte rørbærere. En lang række forsøg har i praksis bekræftet, at de nævnte opsætninger ikke virker som forventet. Det skyldes primært lydtransmissionen i rørvæggene, som medfører, at blot en enkelt mekanisk stiv forbindelse mellem rør og væg ødelægger en svømmende opsætning. En stiv forbindelse findes næsten altid og i hvert fald ved rørledningernes tilslutning til forsyningsledninger. Herigenem kan lydudbredelse ske til andre stigeledninger.

Lyddæmpning i rør

I figur 12 vises principper for lyddæmpning i rør. Princippet a må anses for at være det mest effektive til stålør eller andre rør med stor bøjningsstivhed. I rør med relativ stor indre dæmpning må princippet b anses for det mest effektive. I rør med meget tynde, men nogenlunde stive vægge vil princippet c være fordelagtigt.

I figur 13 vises nogle ældre eksempler på rørføringer i kanaler og i vægges hulrum. De skitserede løsninger er fra omkring 1930, og de afviger ikke meget fra nutidens løsninger.

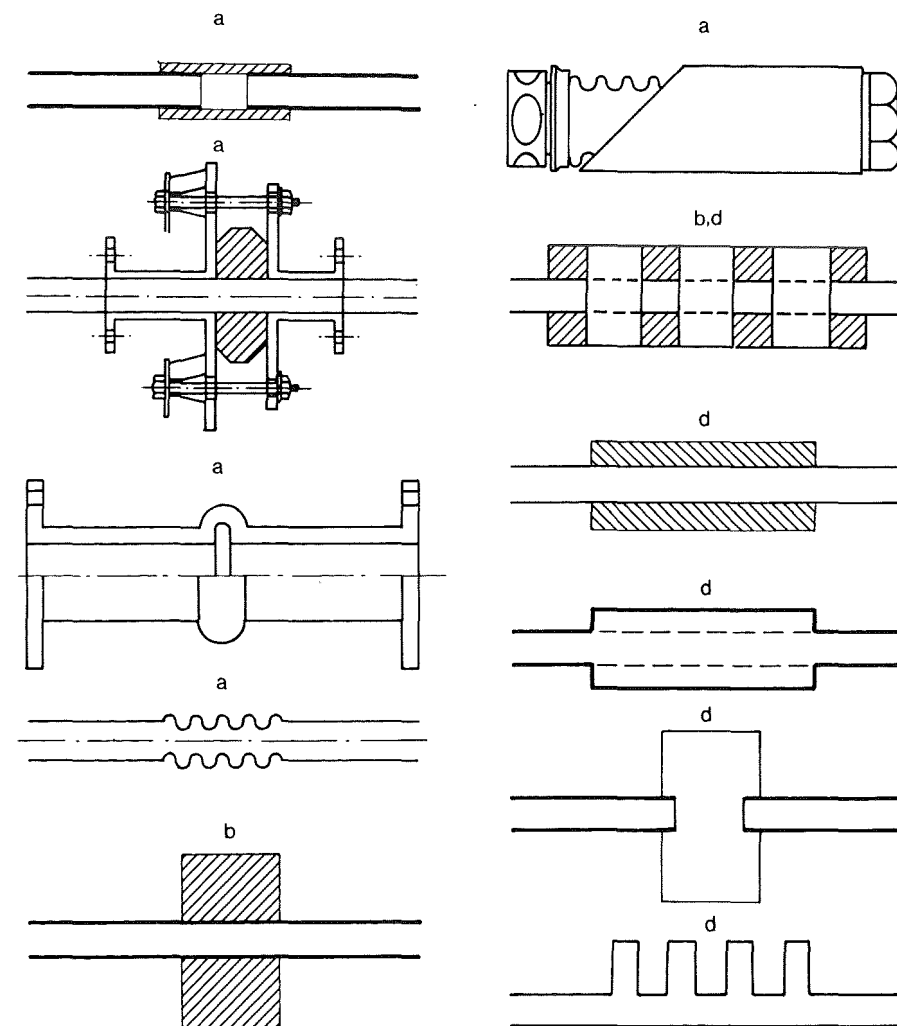
Ved løsninger med skakt vil der i dag utvivlsomt blive krævet udstøbte etageadskillelser eller anden brandsikker adskillelse. Ved fremføring af vandledninger kan opsætning i elastiske ophæng eller bærere være støjmæs-



Figur 11. Forskellige forslag til elastisk fastgørelse af rør. Princippet er enten at have et elastisk lag mellem rør og bærer eller mellem bærer og væg. Anvendelseseksempler findes såvel i ældre som i patenterede nyere systemer.

- Mellem rør og bærer er anvendt lag af gummi eller kork i såvel normale bæringer som i pendulbæringer, hængselstifter, flangerørbærere og konsoller.
- Mellem bæreren og væggen er anvendt gummidæmpere i enten enkelt ophæng eller fælles ophæng.
- En del af bæreren udgøres af et elastisk element, i reglen udført af gummi eller af en stålfjeder.

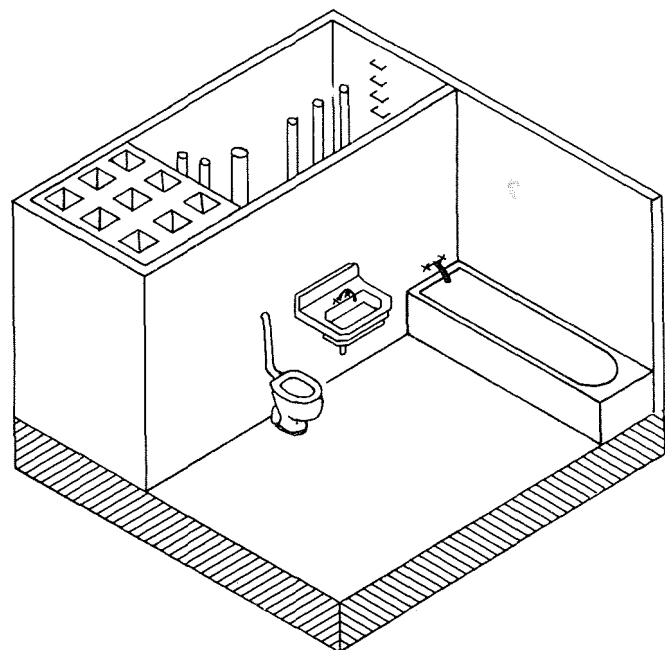
sig fordelagtigt, men for at få nogen nytte af ophængningen, skal rørsystemet akustisk set bestå af afgrænsede systemer, der indbyrdes forbindes via elastiske koblinger. Adskillelsen mellem skakt og bolig kan være en let væg med ringe transmissionsegenskaber overfor bygningslyd. Indstøbning af rør bør ikke finde sted, ligesom rørgennemføringer bør være tætte, men rørene ikke faststøbte.



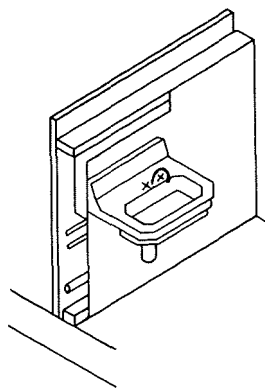
Figur 12. Forskellige principforslag for lyddæmpning i rør og rørvæg.

- Erstatning af kort del af rørvæggen med et elastisk materiale, f.eks. gummi. Herved nedsættes transmissionen i rørvæggen.
- Rør forsynet med en tung masse. Herved nedsættes rørets udsvingningsamplituder.
- Rør forsynet med en ydre kappe af materiale med stor indre dæmpning. Herved nedsættes udsvingningsamplituden på tynde rør.
- Rør forsynet med hulrumsresonatorer. Herved dæmpes lydtransmissionen i vandet.

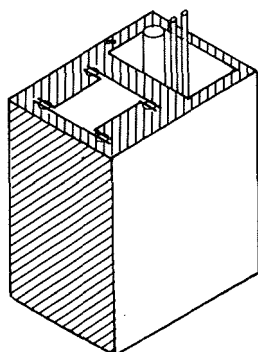
Skakt mellem baderum



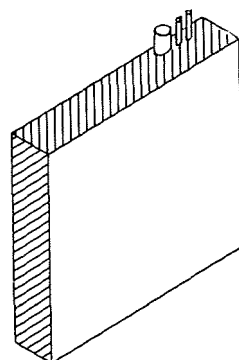
Horisontal kanal med forsatsbeklædning



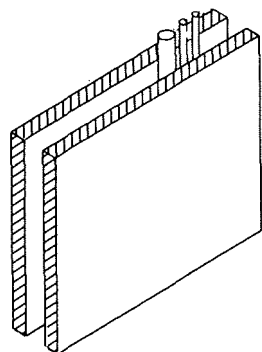
Skakt i søjle



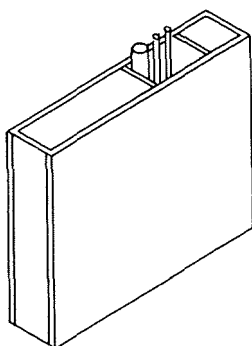
Indstøbt



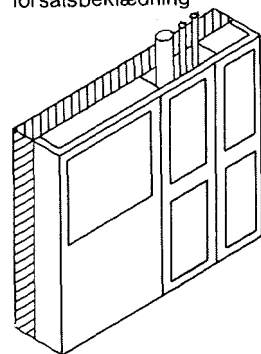
Hulmur mellem vægge



Skakt i væg



Vertikal skakt med forsatsbeklædning



Figur 13. Forskellige eksempler på rørfremføring i skakte, nogle fra omkring 1930, som i mere eller mindre modificeret stand kunne anvendes i dagens byggeri.

Erfaringer fra laboratorium og praksis

Der er i årene fra 1950 frem til i dag foretaget en række forsøg på forbedring af installationers støjforhold. Resultaterne findes publiceret i talrige tidsskrifter og rapporter samt i nogle firmaers reklamemateriale. Problemet ved de mange resultater er imidlertid, at der sjældent i tilstrækkelig grad er gjort rede for de hydrauliske parametre, hvoraf de væsentligste er tryk, vandstrøm og modstand. I en given modstand er vandstrømmen en funktion af trykket. Fastholdes en parameter vil ændring af en anden nødvendigvis føre til ændring af den tredje. Disse forhold komplicerer en analyse af undersøgelsesresultaterne, og det er hyppigt således, at undersøgelser er udført ved blot at kontrollere tryk eller vandstrøm. De følgende afsnit om reduktion af henholdsvis vandtryk og vandstrøm kan derfor i nogen grad virke absurde, idet reduktion af tryk i reglen fører til ændret vandstrøm og omvendt. Imidlertid er det alligevel hensigtsmæssigt at fastholde betegnelser, som angiver, hvorledes der aktivt gribes ind i en installation.

Reduktion af vandtryk

Sænkning af vandtrykket i en større del af rørsystemet kan ske ved anvendelse af reduktionsventiler, forudsat at vandmængderne og trykkene ved tapstederne før trykreduktionen er større end absolut nødvendig. Denne metode er anvendt i flere lande. Et dansk forsøg med anvendelse af reduktionsventil i en beboelsesbygning gav det - i forhold til tryksænkningen - forventede fald i støjniveauet. Der forekom ikke i den tremåneders periode, hvori ventilen var monteret, nogle problemer med anlægget, som kunne tilskrives tilstedeværelsen af reduktionsventilen. En reduktion af vandtrykket fra omkring 0,45 MPa til 0,2 MPa førte til sænkning af støjniveauet på 10-15 dB(A). Ved en sænkning af trykket fra 0,45 MPa til 0,30 MPa opnåedes en forbedring på 5-10 dB(A).

Sænkning af vandtryk og støjniveau

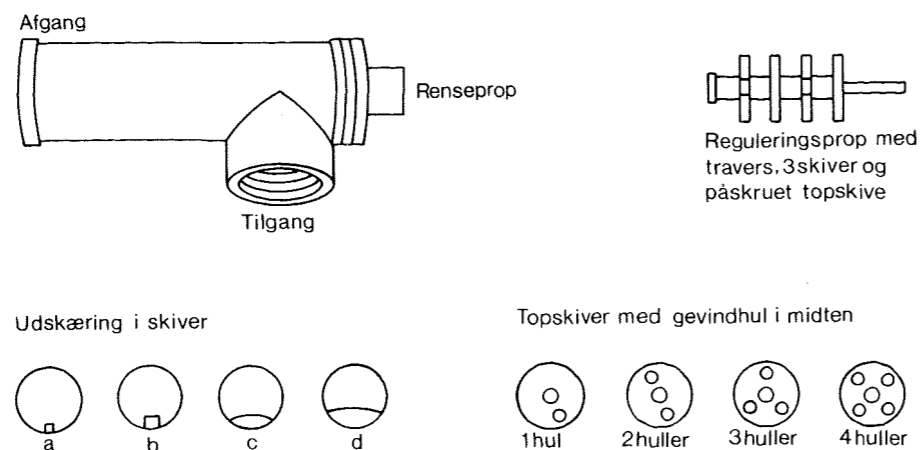
Reduktion af vandmængde

Ved at begrænse vandmængden ved de enkelte tapsteder, kan det frembragte støjniveau nedsættes. Dette kan ske

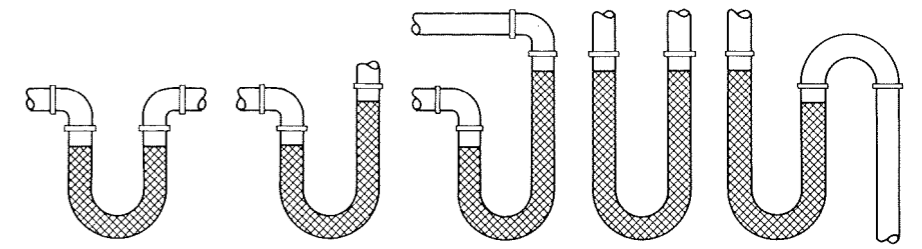
ved brug af enkeltmodstande ved tapsteder f.eks. rør med små diametre og luftblandere. Andre eksempler på enkeltmodstande er vist i figur 10. Gode enkeltmodstande kan medføre nedsættelse af støjniveauet på adskillige dB(A), sålænge modstanden fungerer. Et forsøg på kommerciel udnyttelse af princippet er gjort med den såkaldte "ro" ventil, figur 14, hvori skiver med huller af forskellige størrelser og antal var anbragt i serie. Med denne ventil kunne vandmængden begrænses, idet skivernes modstand forøgede trykket, hvorved støjniveauet fra tapventilen kunne sænkes. Resultaterne svarede imidlertid ikke altid til forventningerne, fordi modstanden - ro ventilen - undertiden frembragte mere støj end tapventilen. Dette skyldes, at modstanden ikke er støjsvag. Princippet i modstanden er senere benyttet i den standardiserede støjnival. Forsøg med anvendelse af ledninger med små dimensioner har givet gunstige resultater, såvel i laboratorium som i praksis. Ved en halvering af vandmængden kan opnås en reduktion af støjniveauet 10-15 dB(A). Metoden forudsætter således, at vandføringen er væsentlig større end nødvendig. I tilfælde, hvor vandmængden på grund af dens ringe størrelse ikke kan reduceres, må forbedring af støjforholdene derfor ske ved at udskifte ventilerne med mere støjsvage ventiltyper, som ikke samtidig forøger modstandene.

Elastisk røropsætning og lyddæmpning i rør

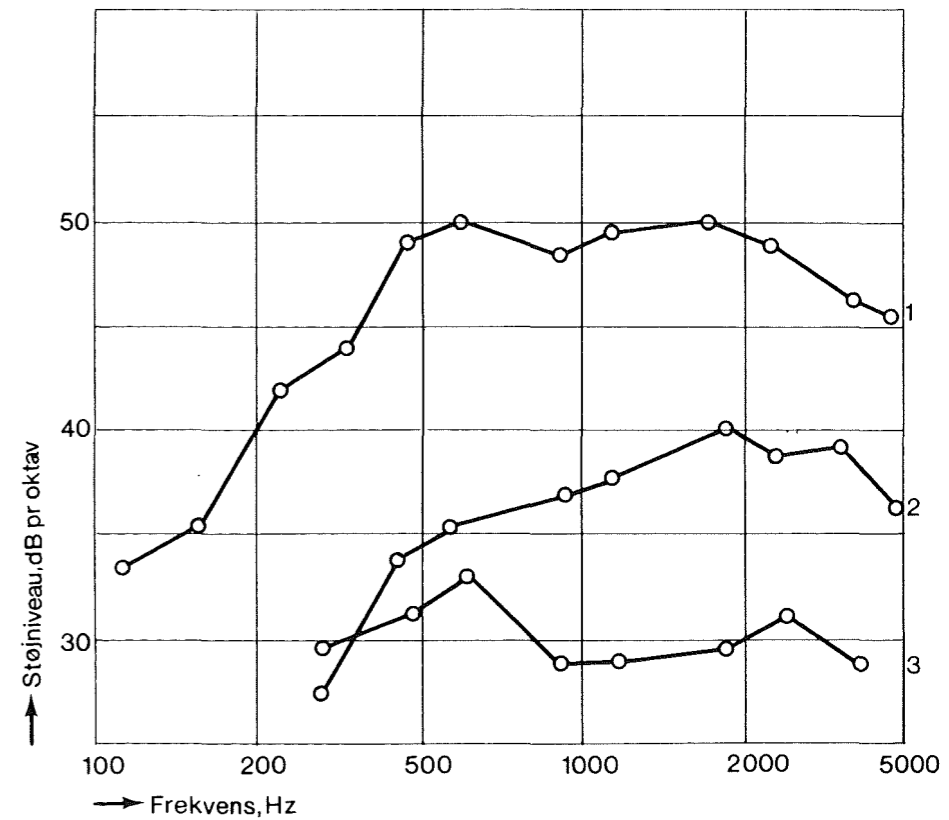
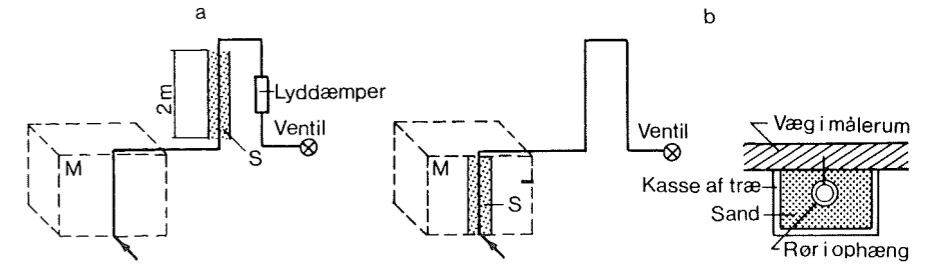
Undersøgelser har før opsætning af armaturer vist forbedringer på nogle dB(A), men i de fleste tilfælde har



Figur 14. "Ro" aftapningsregulator.



Figur 15. Rigtig montage af fleksibel slangeforbindelse.



Figur 16. Måling af støj fra ventiler i laboratorium. Ventilen er monteret uden for målerummet.
a. Skitse af rørforbindelse med dæmpning af rørvibrationer med sand og dæmpning af lyd i vand med en lyd-dæmper. Det tilhørende støjniveau er angivet ved kurve 1.
b. Skitse af rørforbindelse med inddækning og sandfyldning. Røret er monteret inde i målerummet. Det tilhørende støjniveau er angivet ved kurve 2. Kurve 3 viser støjniveauet fra opstillingen uden dæmpningsforanstaltninger. Efter Bach og Gösele.

Svømmende røropsætning forudsætter opdelte rørsystemer

Rør i skakte

Indklædte rum

der ikke kunnet konstateres nogen forbedring, når armaturerne var monteret. Forudsætningen for, at der kan opnås væsentlige fordele ved elastisk røropsætning, er en tilsvarende anvendelse af elastiske rørforbindelser. Udføres disse som slangeforbindelse er det uhyre vigtigt, at montagen er korrekt.

Fremføring af rør i skakte, eventuelt med specielle opsætningsdetaljer, anbefales i en lang række tilfælde, men der foreligger ikke undersøgelsesresultater, som belyser virkningen.

Forsøg i laboratoriet, figur 16, viser, at indklædning og dæmpning kan nedsætte støjniveauet. Det må bemærkes, at den i opstilling a opnåede dæmpning forudsætter både dæmpning af lyd i rør og dæmpning af lyd i vand. Undlades lyddæmperen i opstilling a opnås ingen dæmpning ved brug af en ventil som støjkilde, men en væsentlig dæmpning ved at anvende hammerslag som lydkilde i forbindelse med et rørsystem uden vand.

Væggens indvirkning på lydudstråling

I anvisninger og vejledninger angives almindeligvis, at rørsystemer skal anbringes på tunge vægge, eller at de ikke må anbringes på lette vægge. Det skyldes, at støjniveauet bliver højere, når rør placeres på en let væg. I de seneste år er foretaget en undersøgelse, som viser, at forskellen mellem det frembragte støjniveau ved samme påvirkning af en let og en tung væg kan blive ca. 20 dB(A). De undersøgte vægge havde vægte mellem 70 kg/m², 100 mm porebeton, og 500 kg/m², 240 mm formsten med betonudfyldning. Støjniveauet for den letteste væg var 66 dB(A) og for den tungeste 45 dB(A). Det målte støjniveau fulgte stort set en afhængighed bestemt ved:

$$L = 63 - 20 \log \frac{m}{m_0} \text{ dB(A)} \quad (2)$$

hvor m er væggenes fladevægt og m₀ 100 kg/m². Fastgørelsesmetoden har som allerede tidligere omtalt en væsentlig indvirkning på væggenes lydudstråling. En undersøgelse af indstøbningens betydning for støjniveauet viser, at for en let væg, 100 mm porebeton, er der ingen

forskel på støjniveauet fra indstøbte rør og fra rør med opsætning i rørbærere. Ved indstøbning af rør i en tung væg - 24 cm beton - forøges støjniveauet med ca. 7 dB(A) i forhold til opsætning med rørbærere. Forskellen forekommer ved høje frekvenser.

Lydudstrålingen fra en væg kan nedsættes ved beklædning med en let, lydisolerende forsatsvæg f.eks. en gipspladevæg. Ved beklædning af en let væg kan støjniveauet nedsættes indtil ca. 15 dB(A), medens en tilsvarende beklædning af en tung væg kun vil nedsætte støjniveauet ca. 5 dB(A). Det må imidlertid fremhæves, at de i praksis opnåelige resultater er meget afhængige af, hvorledes forholdene er for udbredelse af bygningslyd.

Planløsning

Planløsningen anvendes ofte som middel til at skabe gode støjforhold. Metoden anvendes i vid udstrækning i dagens byggeri. Fra mange sider anses den konformitet, de relativt bundne løsninger medfører, imidlertid for at være i vejen for udvikling af mere fleksible boliger. Det må imidlertid erkendes, at det er vanskeligt at løse de støjmæssige problemer med traditionelle installationsmetoder uden at benytte planløsningens støjmæssige fordele. I figur 17 er vist et eksempel, som tydeligt illustrerer ændringen i støjniveauet i horisontal og vertikal retning ved afbenyttelse af en ventil i en tilfældig etage.

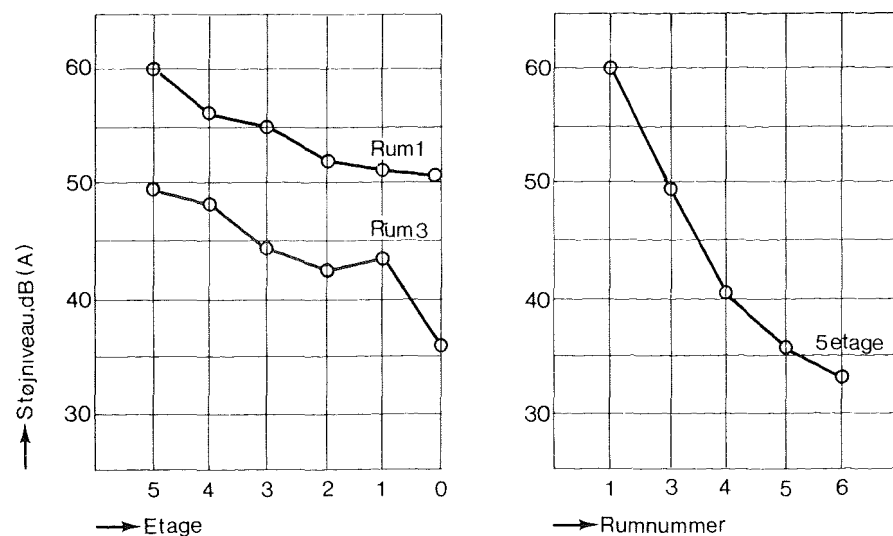
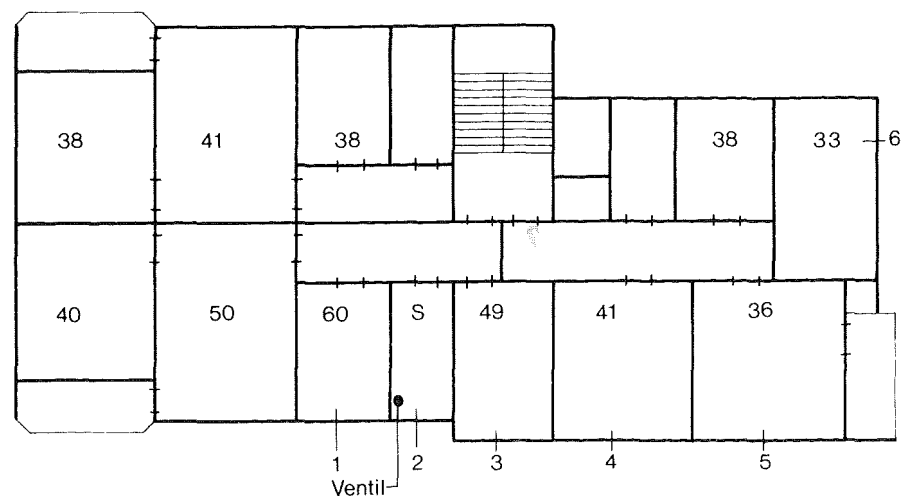
Ventiler

Ventiler udgør som oftest de mest støjfrebringende dele af vandforsyningsanlæg. En lang række af undersøgelser har belyst ventilers støjforhold. Desværre har der ikke været nogen enighed om, hvilke parametre der skal angives ved måling af støj fra ventiler. Mange måleresultater har derfor en relativ beskeden værdi, fordi de enten mangler angivelse af tryk eller af vandmængde. Det må i den forbindelse fremhæves, at også ventilens geometri er af stor betydning for det frembragte støjniveau. Selv om angivelse af alle parametre foreligger, er det vanskeligt at foretage sammenligninger, fordi målerummet og måleopstillingen ligeledes har stor ind-

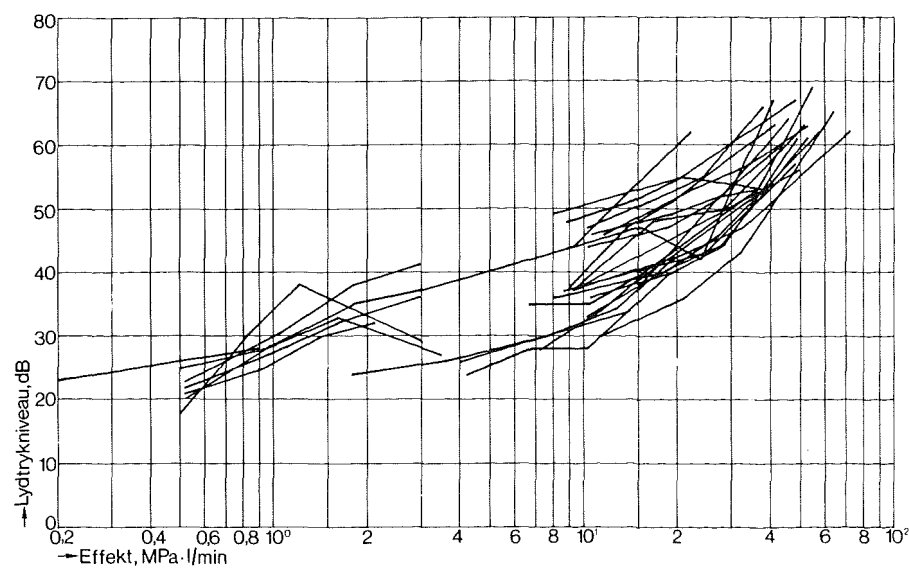
Lydisolerende forsatsvæg

Planløsning som middel til støjbekæmpelse

Ventilens geometri



Figur 17. Støjniveauet målt i en etageplan, hvor støj-kilden er en trykskylleventil i rum 2. Støjniveauet i de enkelte rum er angivet i dB(A). Diagrammerne viser støjniveauerne i horisontal retning og i vertikal retning for to rum. Efter Bach og Gösele.

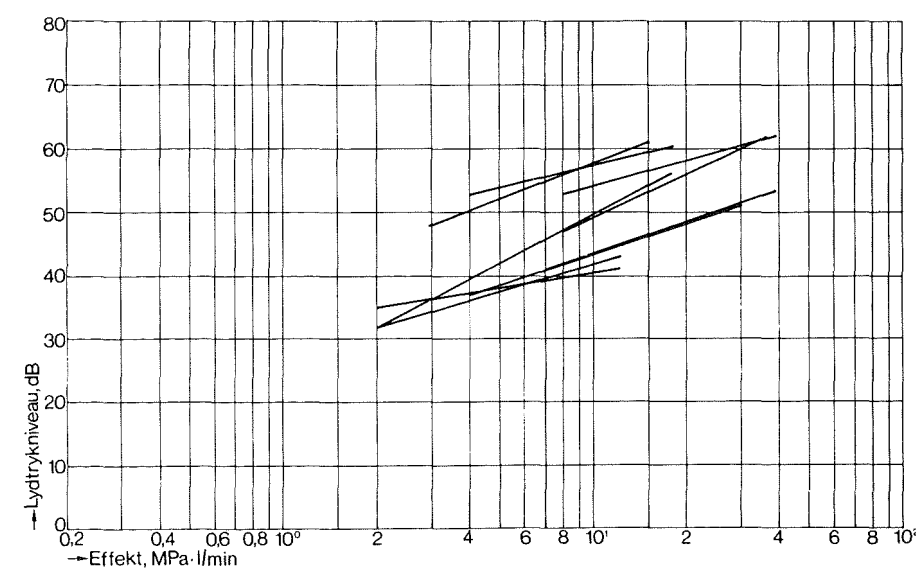


Figur 18. Lydtrykkniveau som funktion af den omsatte effekt angivet for en række forskellige armaturer, målt i Østrig. Efter Bruckmeyer og Lang.

virkning på resultatet. Det er derfor ikke direkte muligt at drage sammenligning mellem måleresultaterne i de forskellige figurer. I figur 18 ses resultater for ca. 30 forskellige ventiler, afbildet som funktion af effekten. Resultaterne viser en ret stor spredning, hvilket naturligt måtte være at vente. Støjniveauet for den enkelte ventil vokser ca. 6 dB ved fordobling af den omsatte effekt for værdier indtil ca. 20 MPa · l/min, over denne værdi synes støjniveauet at vokse mere med den omsatte effekt. Spredningsområdet er ret ensartet, og det udtrykker sandsynligvis indvirkningen fra ventilernes geometriske udformning. I figur 19 er vist resultater fra en række målinger, afbildet som funktion af effekten. Disse resultater synes at bekræfte de gjorte antagelser. En undersøgelse af en række ventilers støjniveau med og uden luftblandere er vist i figur 20. Trykket har under hele forsøget været 0,3 MPa. Støjniveauet fra ventiler uden luftblander ligger gennemgående mindst 4 dB over støjniveauet for ventiler med luftblandere, men forbedringen er i reglen mindre end det kunne forventes på grundlag af den tilsvarende reduktion i vandstrøm.

Støjniveau i bygninger

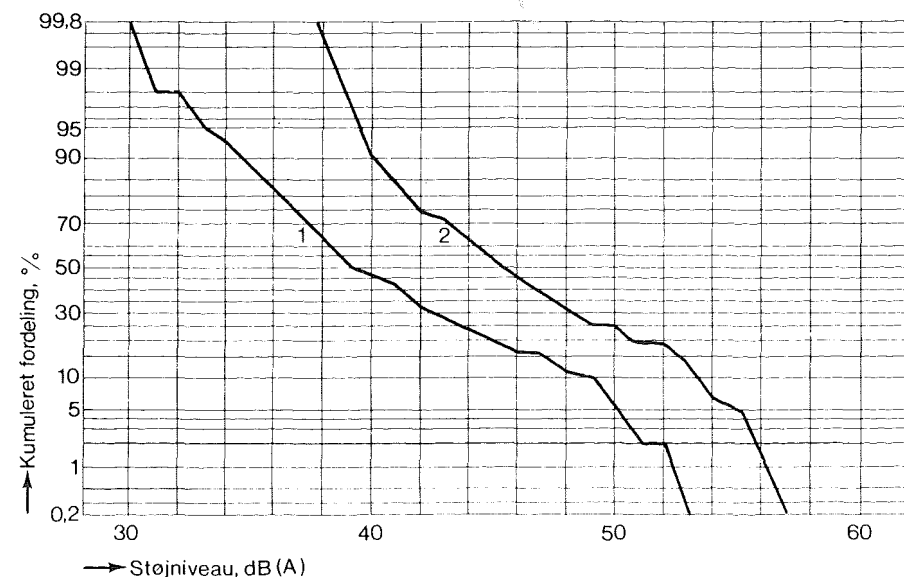
Resultaterne fra en undersøgelse af støjniveau i bygninger frembragt af vandinstallationer vises i figur 21.



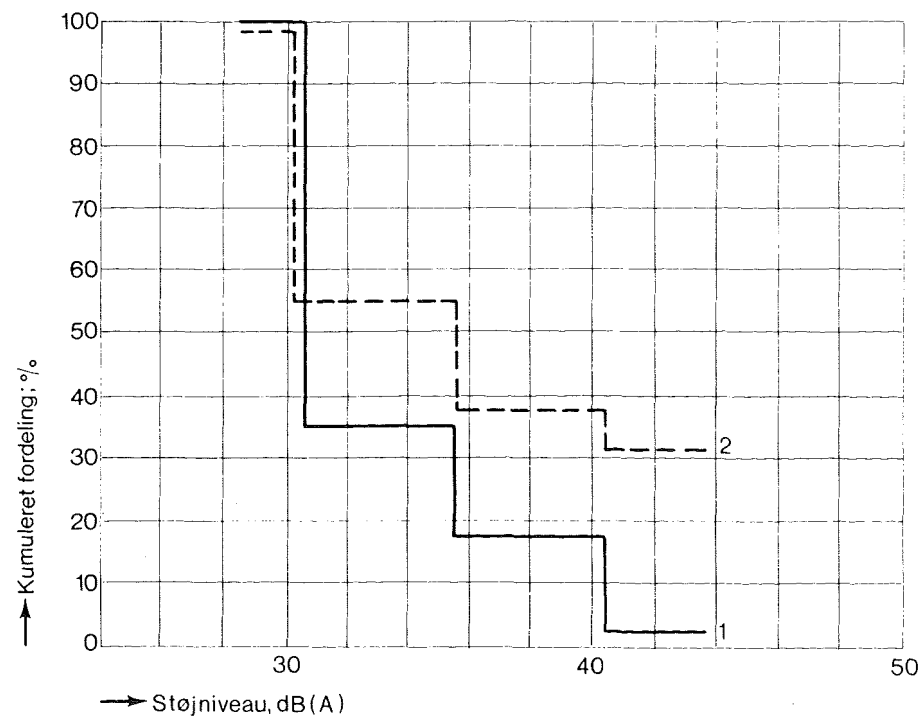
Figur 19. Lydtrykkniveau som funktion af den omsatte effekt angivet for en række armaturer afprøvet i Sverige. Efter Renhäll.

Anvendt viden ved projektering giver lavere støjniveau

Undersøgelsen omfatter ca. 2500 målinger i etageboliger og ca. 250 i rækkehuse. I figuren er resultaterne opdelt i to grupper bestemt ved at byggeledelsen var henholdsvis med og uden kendskab til principper for lydi-



Figur 20. Den kumulerede fordeling af måleresultater som funktion af støjniveauet.
Kurve 1. Armaturer med luftblandere.
Kurve 2. Armaturer uden luftblandere. Efter Renhäll.



Figur 21. Kumuleret fordeling af støjniveauer målt i bygninger.
1. Byggeledelsen har haft kendskab til måleinstituttets principper for lydisolering og lyddæmpning.
2. Byggeledelsen har ikke haft kendskab til disse principper. Efter Hegelmayer og Siepmann.

solering og lyddæmpning af installationer, som de doceres af måleinstitutionen. Den største del af måleresultaterne ca. 2500 findes i gruppe 1, hvor byggeledelsen har haft kendskab til lydisoleringsprincipper. En nærmere analyse af resultaterne viser, at støjniveauer over 40 dB(A) i gruppe 1 skyldes støj frembragt ved vands plasken ned i badekar, i gruppe 2 derimod støj frembragt af toiletskyllventiler. I gruppe 1 overstiger støjniveauet i rækkehuse ikke 30 dB(A), i gruppe 2 ligger ca. 30 % af målingerne i rækkehuse mellem 31 og 40 dB(A). Resultaterne viser, at ukendskab til lydisoleringsprincipper er en hovedårsag til uacceptable støjniveauer fra installationer.

I bygningsreglementets kapitel 9 om lydforhold er angivet de krav, der stilles til støjniveau frembragt af installationer. Kravene fandtes første gang i bygningsreglementet for købstæderne og landet BR-1966, hvor de blev angivet ved et alment krav, som der for tapventilers vedkommende blev givet en række lempelser af. I Bygningsreglementet BR-1972 er kravene skærpet, idet lempelserne med hensyn til støj fra tapventiler udgik. I korthed er kravet nu, at støjniveauet frembragt af vandinstallationer ikke må overstige 30 dB(A) i rum i naboboliger.

Støj i vandinstallationer

Støj i vandforsyningsanlæg frembringes af vandets bevægelse i rørr nettet. Den frembragte støj har såkaldt bredbåndskaraktter, d.v.s. at svingningsenergien fordeles på et meget stort antal frekvenser, men den er dog ikke ligeligt fordelt på alle frekvenser. Frekvensfordelingen i den støj, som måles i luften, er ikke alene bestemt af støj kilden - den turbulente strøm - men også af udbredelsesvejene og de heri indbyggede overgangsdæmpninger. Udbredelsessystemerne - rørstrengene og vægge - tillader bedre transmission af nogle frekvenser end af andre, ligesom overgangene fra rør til vægge kan virke dæmpende på nogle frekvenser og lade andre passere næsten udæmpet. Frekvensspektret af et resulterende støjniveau i et rum vil derfor afvige mere eller mindre fra støj kildens spektrum.

Støj kan imidlertid også frembringes som mekaniske eller akustiske svingninger. I disse tilfælde er den udsendte støj ofte begrænset til et eller flere rela-

Turbulent støj har bredbåndskaraktter

Smalbåndsstøj

Hør lig lyd

Frekvensanalyse

A-vægtet lydtryk-niveau

tivt smalle frekvensbånd, og lyden kan have karakter af fløjtetoner.

Analyse af støj

Det menneskelige øre kan opfatte svingninger inden for frekvensområdet fra ca. 20 Hz til ca. 20.000 Hz. Frekvenser under ca. 20 Hz opfattes som rystelser og ikke som lyd. Ved måling af støj fra vandinstallationer måles i almindelighed kun den del af svingningsenergien, der kan betegnes som hør lig lyd. Støjen kan måles dels ved lydenergien i den enkelte frekvens, dels ved lydenergien i frekvensbånd med større eller mindre bredde. Måling af lydenergi pr. Hz er et både langsommeligt og i de aller fleste tilfælde unødvendigt arbejde. I tilfælde, hvor der i et vandforsyningsanlæg forekommer lydkilder, som udsender lyd ved enkelte frekvenser, kan en analyse af støjniveauet pr. Hz i et mindre frekvensområde muligvis være fordelagtigt, men hyppigere udføres måling af støj i frekvensbånd med konstant relativ båndbredde, f.eks. 1/3 og 1/1 oktavbånd. Støjen kan også måles i fuld båndbredde, hvilket utvivlsomt er den mest anvendte metode i praksis.

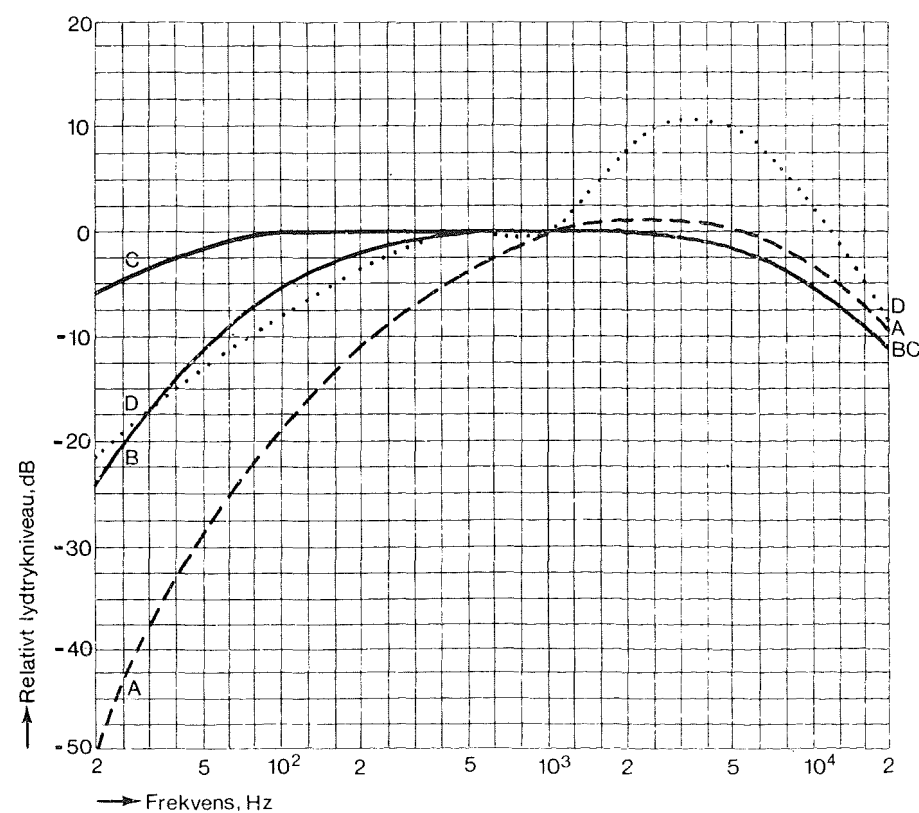
Støj måling i dB(A)

Måling af støj i båndbredde svarende til det hør lige frekvensområde kan ske ved at lade alle frekvenser indgå i måleresultatet med samme vægt - dB(Lin). Det kan imidlertid også ske ved at lade visse frekvenser indgå med større vægt end andre. Den sidstnævnte metode er i dag den almindeligste, idet der hyppigst anvendes en filterkarakteristik kaldet kurve A, som er angivet i figur 22. Denne filterkarakteristik er internationalt standardiseret. Ved at anvende kurve A tages mindre hensyn til lavfrekvent støj, hvilket stort set er i overensstemmelse med ørets opfattelse af lyd, når niveauet ikke er for højt. Der findes flere andre standardiserede filterkarakteristikker end kurve A, men ved måling af støjniveau i bygninger anvendes så godt som altid kurve A. I BR forlanges, at støjniveauet måles midt i rummet. Hvis rummidtpunktet er mere end to meter fra en støj kilde, må støjniveauet, målt to meter fra kilden i retning mod rummidte, ikke overstige det i BR

angivne niveau. Denne bestemmelse har ingen praktisk betydning for vandinstallationer, idet støj fra vandinstallationer ikke måles i det rum, hvori den støjfrembringende installationsdel er monteret. Det målte støjniveau skal ifølge BR korrigeres med $10 \log \frac{0,5}{t}$, hvor t er efterklangstiden ved 500 Hz. Det betyder i praksis, hvor der måles i uindflyttede boliger, at korrektionen bliver negativ, og at det målte niveau kan være 3-5 dB højere end det i BR angivne niveau.

Beregning af dB(A)

Forudsætningerne for at kunne foretage sammenligninger mellem støjudsendelsen fra forskellige lydkilder målt i dB(A) er, at støjspektrene er nogenlunde ens, og at målerummets efterklangstid er den samme ved alle målinger. I de fleste tilfælde vil der i en bolig ske en ændring af efterklangstiden, når boligen møbleres, hvilket vil sige, at der også vil ske en ændring i støjniveauet målt i dB(A). Dette forsøges imødekommet med den førnævnte efterklangstidskorrektion. Imidlertid er ændrin-



Figur 22. Forskellige frekvenskarakteristikker A, B og C findes i de fleste lydtrykmålere. D-kurven vil formentlig blive anvendt i fremtidige lydtrykmålere. Støjniveauet målt med denne kurve betegnes dB(D).

Efterklangstidskorrektion

gen i efterklangstiden ikke ens ved alle frekvenser, d.v.s. at måleresultater fra det umøblerede rum, der korrigeres med den i BR angivne korrektion, så godt som aldrig vil give samme resultat som ved måling i møblerede rum.

En bedre overensstemmelse mellem måleresultater fra tomme og møblerede rum kan fås ved at udføre en frekvensanalyse af støjen i 1/3 eller 1/1 oktavbånd. De målte støjniveauer pr. 1/3 oktav eller 1/1 oktav korrigeres med $10 \log \frac{0,5}{t}$, hvor t er efterklangstiden i de respektive frekvensbånd. På grundlag af frekvenskarakteristikken (A) og de korrigerede støjniveauer udregnes et totalstøjniveau i dB(A). I figur 23 er givet oplysninger om de frekvensbånd 1/3 og 1/1 oktav, der ligger inden for det frekvensområde fra 100 Hz til 3150 Hz, som anvendes ved bygningsakustiske målinger.

| Frekvensbånd i 1/3 og 1/1 oktavfiltre | | Centerfrekvens for 1/3 og 1/1 oktavfiltre |
|--|---------------|--|
| 1/3 oktav | 1/1 oktav | |
| 45 - 56 | | 50 |
| 56 - 71 | 45 - 90 | <u>63</u> |
| 71 - 90 | | 80 |
| 90 - 112 | | 100 |
| 112 - 140 | 90 - 180 | <u>125</u> |
| 140 - 180 | | 160 |
| 180 - 225 | | 200 |
| 225 - 280 | 180 - 355 | <u>250</u> |
| 280 - 355 | | 315 |
| 355 - 450 | | 400 |
| 450 - 560 | 355 - 710 | <u>500</u> |
| 560 - 710 | | 630 |
| 710 - 900 | | 800 |
| 900 - 1.120 | 710 - 1.400 | <u>1.000</u> |
| 1.120 - 1.400 | | 1.250 |
| 1.400 - 1.800 | | 1.600 |
| 1.800 - 2.240 | 1.400 - 2.800 | <u>2.000</u> |
| 2.240 - 2.800 | | 2.500 |
| 2.800 - 3.550 | | 3.200 |
| 3.550 - 4.500 | 2.800 - 5.600 | <u>4.000</u> |
| 4.500 - 5.600 | | 5.000 |

Figur 23. Standardiserede centerfrekvenser for 1/3 oktavfiltre og oktavfiltre (kun de understregede). I venstre kolonne er de tilhørende båndbredder angivet.

Måling i bygninger

Måling af installationer sker i bygninger i praksis ved at måle en lyd kilde ad gangen. Støjkilden kan i et brugsvandsanlæg være en ventil over en håndvask, en køk-kenvask, et badekar eller en cisterneventil. Der gøres normalt ikke forsøg på at adskille støjen fra ventilen fra anden frembragt støj i forbindelse med ventilens benyttelse. Støjen måles i omliggende rum i dB(A) i overensstemmelse med de i BR angivne regler. Det målte støjniveau afhænger af afstanden fra støjkilden, men afstandsafhængigheden kan i øjeblikket ikke forudberegnes, den varierer i øvrigt fra bygning til bygning. I praksis varierer trykfaldet over en ventil kun lidt. Måleresultater for sammenhørende værdier af vandstrøm og trykfald i den pågældende ventil udgør en række punkter hørende til forskellig modstandsværdier for ventilen. Det fremgår af det forrige afsnit, at der ingen sammenhæng er mellem disse værdier ved en afbildning som funktion af vandstrømmen. Hvis trykfaldet ved de forskellige vandstrømme er kendt, kan støjniveauet afbildes som funktion af den omsatte effekt, og i denne afbildningsform vil resultaterne ligge inden for det til ventilen hørende spredningsområde, se figur 24. Det absolutte niveau vil derimod afvige fra det i laboratoriet målte. En sammenligning mellem støjniveauer målt i forskellige rum - d.v.s. i forskellige afstande fra kilden - vil ved afbildning som funktion af den omsatte effekt føre til en række kurver, hvorimellem forskellen alene ville være en niveauforskydning.

En måde til at komme ud over disse vanskeligheder vil være at have en fast modstand, hvis støjniveau er kendt som funktion af tryk og vandmængde. Ved at måle støjniveauet i bygningen med en fast modstand og vurdere det målte niveau i relation til kravene i BR, kan det umiddelbart afgøres, hvor mange dB(A) bedre eller dårligere det anvendte armatur skal være i forhold til støjniveauet fra den anvendte modstand.

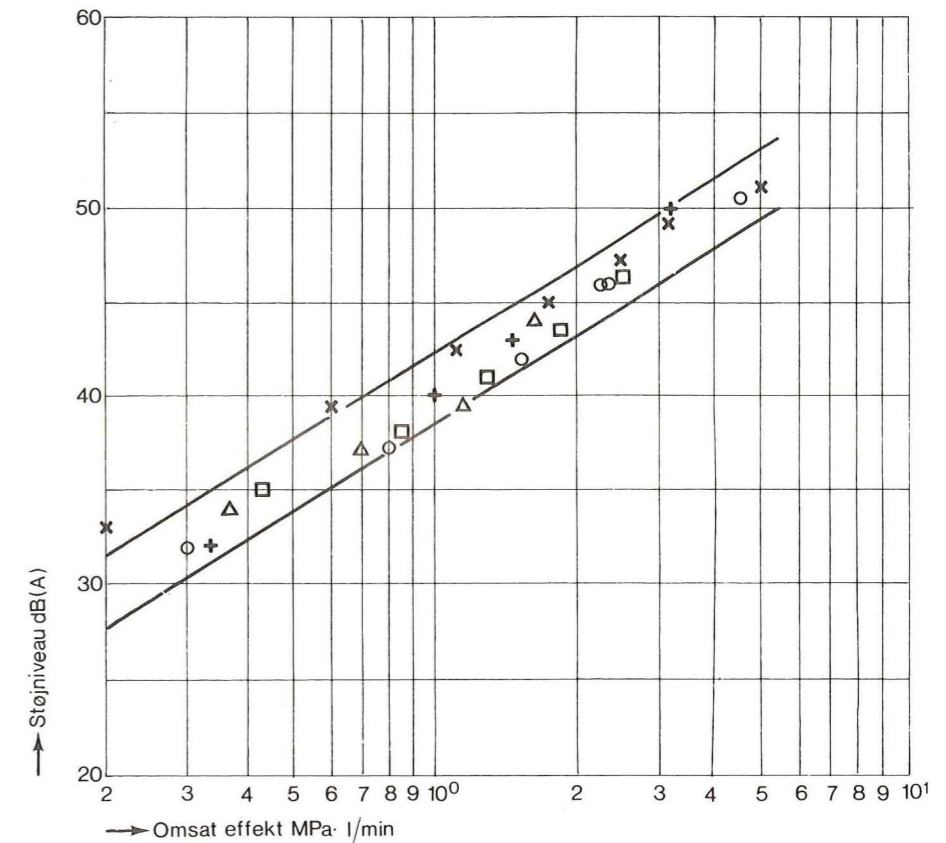
Standard støjkilde

En støjkilde kan fremstilles på flere måder. Den kan virke ved mekanisk, elektrisk, elektroakustisk eller hydraulisk generering af støj. Det er fra et måletek-

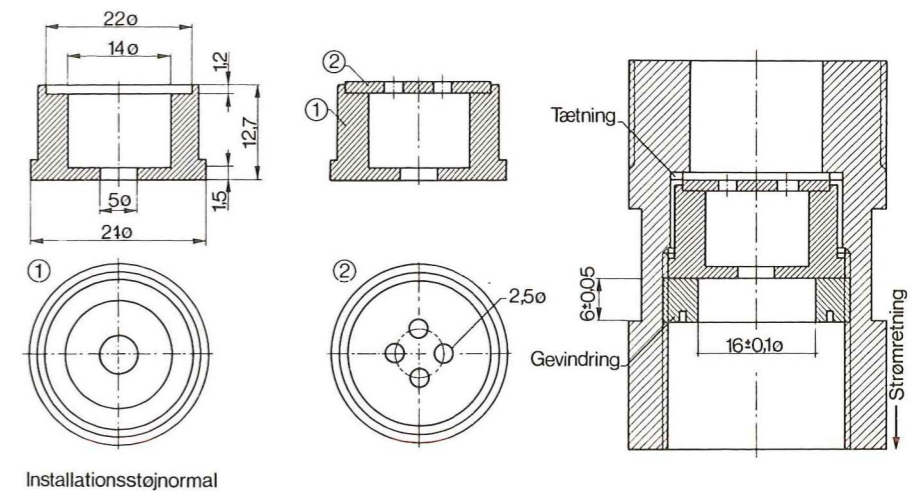
Støjniveauet vokser med den omsatte effekt

Referencestøjkilde

nisk synspunkt fordelagtigt, at den frembragte støj har samme karakter, som den af ventilen frembragte, d.v.s. at en ren hydraulisk støjkilde vil være at foretrække. En hydraulisk virkende støjkilde kan frembringes af en række hulskiver anbragt efter hinanden. Ældre installationsfolk kender utvivlsomt den tidligere omtalte "ro"



Figur 24. Støjniveauet som funktion af den omsatte effekt for aftapningsventil i forskellige indstillinger. Efter J. Kristensen og K. Ovesen.



Figur 25. Snit i installationsstøjnormalen. Indstrømmingen sker gennem en cirkulær skive med 4 huller og udstrømmingen gennem et cirkulært hul i normalens bund. Efter DIN 52218.

INS = Installation
Noise Standard

ventil, der i mange tilfælde tværtom at frembringe ro frembragte mere støj. I Tyskland har man i flere år benyttet en støjkilde udført af to hulskiver. Denne støjkilde - IGN-Installationsgeräusch Normal - har i flere år været DIN-standard, og den kan forventes internationalt standardiseret som lydkilde ved måling af installationsstøj. I figur 25 er vist en skitse af den tyske støjnormal i den udførelse, som den foreslås standardiseret i ISO.

Måling af støj i laboratorier

For at opnå ensartede måleresultater fra forskellige laboratorier er det ikke nok at standardisere en lydkilde, det er også nødvendigt at standardisere laboratoriet og prøveinstallationens opsætning i dette. En standard for udførelse af installationsstøjmålinger findes i dag i Tyskland (DBR). Den tyske standard vil med små ændringer blive standardiseret af ISO.

Måling af støjniveau fra armaturer sker i laboratorierum ved at armaturet monteres på en speciel prøveinstallation, der består af et rør, hvis ene ende er forbundet til vandforsyningssystemet via en fleksibel forbindelse. Prøverøret er monteret på en side af en væg, hvis anden side udgør en flade i et målerum. I dette rum måles støjniveauet, når der tappes vand gennem et armatur, som er monteret på prøverøret uden for målerummet. Der kan gives følgende konkrete oplysninger om laboratoriet og målebetingelserne.

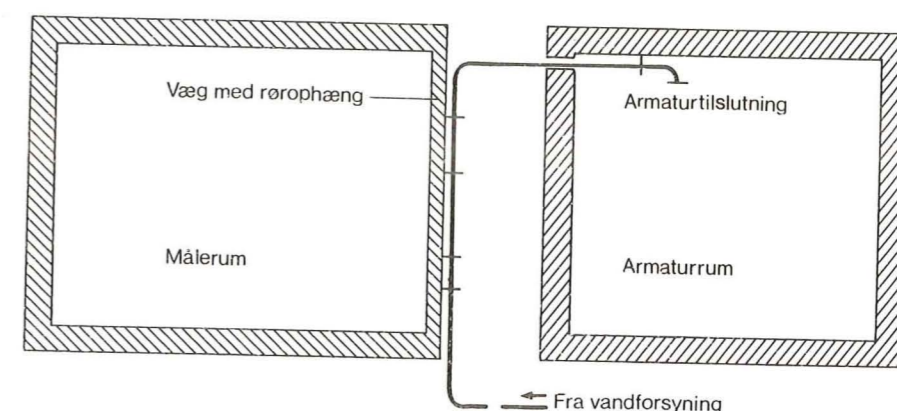
Målerummet skal have et volumen på mindst 30 m^3 og helst ikke mere end ca. 100 m^3 . Størrelser mellem 50 til 70 m^3 er at foretrække. Støjniveauet i rummet skal være væsentligt lavere end de niveauer, der frembringes ved afprøvning af armaturer. I praksis betyder dette, at støjniveauet helst skal være mindre end 20 dB(A) .

Efterklangstiden i rummet skal være frekvensafhængig og må ikke afvige mere end $\pm 10 \%$ fra middelværdien.

Den væg i rummet, på hvis udvendige side prøveinstallationen monteres, skal have en størrelse på mindst 8 m^2 og højst 12 m^2 . Væggen skal være en enkeltvæg af tegl eller beton med en vægt mellem 100 og 250 mg/m^2 . Prøveinstallationen skal være udført af $1''$ galvaniseret stålør. Fastgørelse til prøvevæggen skal ske ved hjælp

Standardiseret prøverum og prøveopstilling

af 4 rørholdere, som er opsat på en ret linie med uens store, indbyrdes afstande. Stålrøret skal være fastspændt i holderne uden nogen form for isolering. Prøveinstallationen skal afsluttes i en armaturtilslutning. Rørlængden mellem denne og det nærmeste fastgøringspunkt på rørvæggen skal være mindst 2 meter og højst 10 meter. Prøveinstallationen skal være fastgjort til en bygningsdel - ikke prøvevæggen - i umiddelbar nærhed af armaturtilslutningen. Tilslutningen til vandforsyningsanlægget bør ske gennem en mindst 1 m lang slange. I figur 26 er vist en skitse af målerum og tilslutning til armatur eller støjnormal.



Figur 26. Principskitse af laboratorierum til afprøvning af armaturers støjforhold.

Vandforsyningsanlægget skal være udført således, at støjniveauet fra dette ligger mindst 10 dB(A) under det støjniveau, som frembringes af det til enhver tid afprøvede armatur.

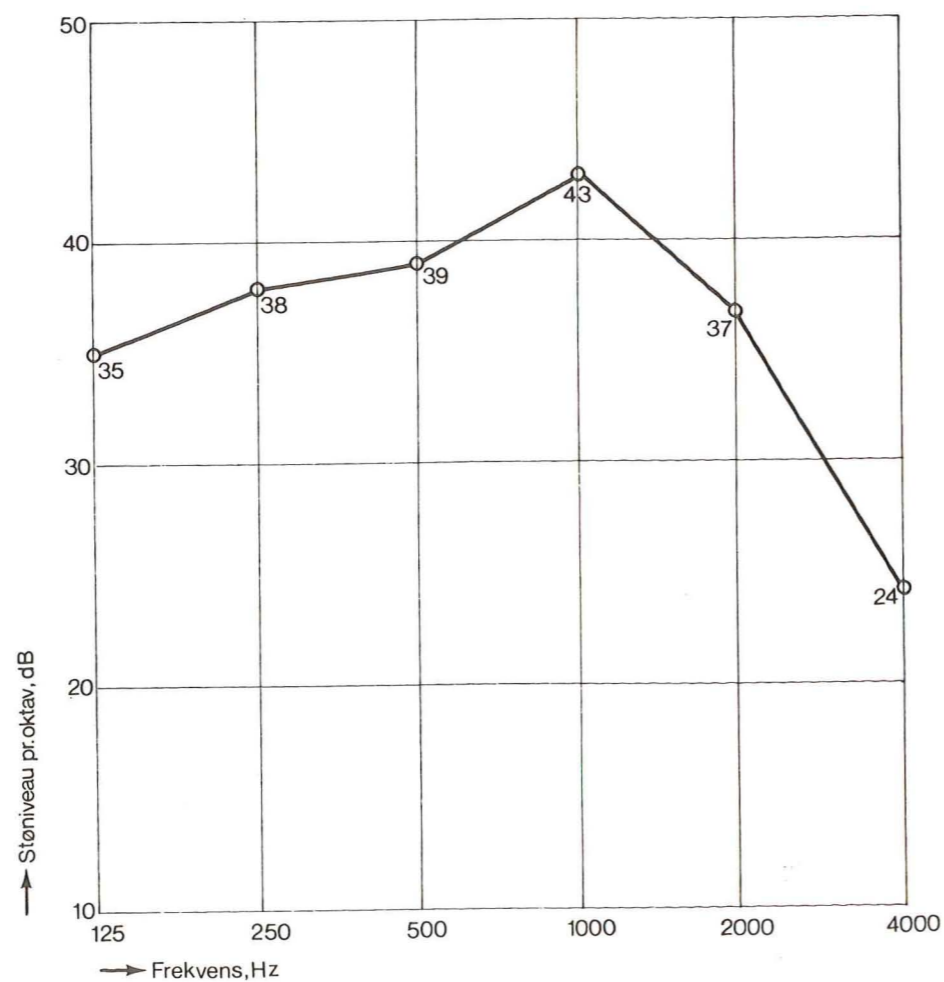
Ved måling af støjniveau skal samtidig måles sammenhørende værdier af tryk og vandmængde. Bestemmelsen af disse parametre skal ske med en præcision på mindst $\pm 5 \%$ for vandtrykkets vedkommende og $\pm 3 \%$ for vandmængdens vedkommende. Da et flow-meter kan frembringe støj, må dette være anbragt før prøveinstallationen. Vandtrykket skal måles højst 15 cm fra forbindelsen til det afprøvede armatur. Støjniveauet skal måles ved trykkene $0,1$, $0,2$, $0,3$, $0,4$, og $0,5 \text{ MPa}$. Støjniveauet kan måles i dB(A) eller pr. oktav i frekvensområdet 125 - 4000 Hz , hvorfra støjniveauet i dB(A) kan beregnes. Hvis målingerne udføres i dB(A) , skal der tillige udføres en frekvensanalyse i oktavbånd ved trykket $0,3 \text{ MPa}$.

Prøvemetode

med standardstøjkilden som lyd giver. Støjniveauet for et armatur angives ved differensen mellem støjniveauet målt med henholdsvis standardstøjkilden og armaturet som støjkilde. Ved den standardiserede niveaudifferens D_S menes differensen mellem L_S og L , hvor L_S er støjniveauet fra den standardiserede støjkilde ved 0,3 MPa og L er støjniveauet fra armaturet under tilsvarende betingelser.

Driftserfaringer

Anvendelse af den standardiserede støjkilde har vist sig at være forbundet med betydelige praktiske problemer, idet forudsætningen for anvendelsen af støjnormalen er, at den giver entydige og reproducerbare resultater. Det har vist sig muligt at få nogenlunde reproducerbare resultater, når systemet har været i drift over en tilstrækkelig lang periode. Små luftlommer i rørstrækningen tæt ved støjnormalen påvirker denne, så-



Figur 27. Det normaliserede støjniveau pr. oktav som funktion af frekvensen for en støjnormal ved et tryk på 0,3 MPa. Efter DIN 52218.

ledes at den afgiver mindre støj til prøvevæggen end når luft ikke er tilstede. Det betyder, at prøvestanden - før den kan anvendes til måling - ofte skal være i drift mere end en time. Det er konstateret, at luftfyldte hulrum i rørsystemet nær støjnormalen kan sænke niveauet med mere end 10 dB. De her nævnte målebetingelser kan måske accepteres ved laboratiormålinger, men i hvert fald ikke ved målinger i bygninger, hvor det må forlanges, at målingen kan udføres efter få minutters forløb, samt at det er muligt at kontrollere det fra normalen afgivne støjniveau. En undersøgelse af støjnormalens vibrationer ved hjælp af et accelerometer viser, at accelerationsniveauerne for et givet tryk er ens, enten der er luft i rørsystemet ved støjnormalen eller ikke. I det store og hele svarer accelerationsniveauerne ved de enkelte frekvensbånd målt som funktion af trykket til det i prøvestanden målte støjniveau som funktion af trykket, når der ikke er luftlommer i rørsystemet. Måling af accelerationsniveauet er således ikke egnet til kontrol af det fra normalen afgivne støjniveau.

Metodens begrænsninger

Ved at standardisere en lydkilde opnås en væsentlig fordel, nemlig sammenligningsmuligheden mellem forskellige laboratorier. Da lydkilden opsætningsmæssigt og driftsmæssigt ydermere svarer til en tapventil, er metoden naturligt knyttet til tapventiler. Det må dog fremhæves, at den er udviklet til brug i en rørledning, som kun indeholder koldt vand. Det er, såvidt det vides, ikke undersøgt, hvorledes støjnormalen opfører sig ved brug af varmt vand. Det må forventes, at støjemissionen i dette tilfælde er noget temperaturafhængig. Måling af armatur til blanding af koldt og varmt vand sker derfor i laboratorier ved brug af koldt vand i de to tilgange skiftevis og med ens tryk. Denne afprøvning afviger fra den praktiske anvendelse udover brugen af koldt vand i begge tilgange også ved, at trykket på koldt- og varmtvandssiden er ens. I praksis kan der være betydelig forskel på trykkene i de to ledninger, hvilket indebærer, at der også kan være en væsentlig forskel på den i de to ledninger frembragte støj. Da

Luftfyldte hulrum kan ændre støjniveauet

Termostatarmaturer

Praktiske problemer med reproducerbare resultater

blandingen endvidere sjældent sker med ens mængder af koldt og varmt vand, kan en realistisk afprøvning af armaturet ikke ske i den standardiserede opstilling. En afprøvning af termostatstyrede blandeventiler er selv sagt ikke muligt uden betydelige indgreb i armaturet. Det er en væsentlig mangel ved prøvemethoden, at den ikke tillader direkte afprøvning af termostatventiler, idet disse erfaringsmæssigt ofte giver anledning til støjproblemer. Målemetoden er anvendelig til cisterneventiler, men den fra praksis kendte støj fra klosetskylningen kan ikke måles. Da forskellen mellem niveauerne fra skyllet og fyldningen for de mere støjsvage typers vedkommende kan andrage indtil 10 dB, ville det have været ønskeligt om begge disse virkninger kunne måles i samme opstilling.

Metoden er også anvendelig til måling af reduktions- og afspærringsventiler til 1" rør. I princippet kan metoden dog også anvendes til afprøvning af ventiler til større ledningsdimensioner. Ventiler til radiatoranlæg kan næppe med fordel afprøves i opstillingen på grund af de relativt små tryk, som anvendes i varmeanlæg.

Måling med støjnormal

Der foreligger i skandinavien enighed om at anvende den omtalte metode ved måling af armaturers støjforhold. Ved målingen sammenlignes som tidligere nævnt de støjniveauer som armaturet og støjnormalen frembringer i prøveopstillingen. Vandstrømmen i støjnormalen skal svare til et trykfald over normalen på 0,3 MPa. Resultatet af målingen er det til armaturet hørende differensniveau L_S , som er differensen mellem det konstante støjniveau L_S forårsaget af installationsstøjnormalen og støjniveauet L forårsaget af armaturet.

$$D_S = L_S - L \text{ dB(A)}$$

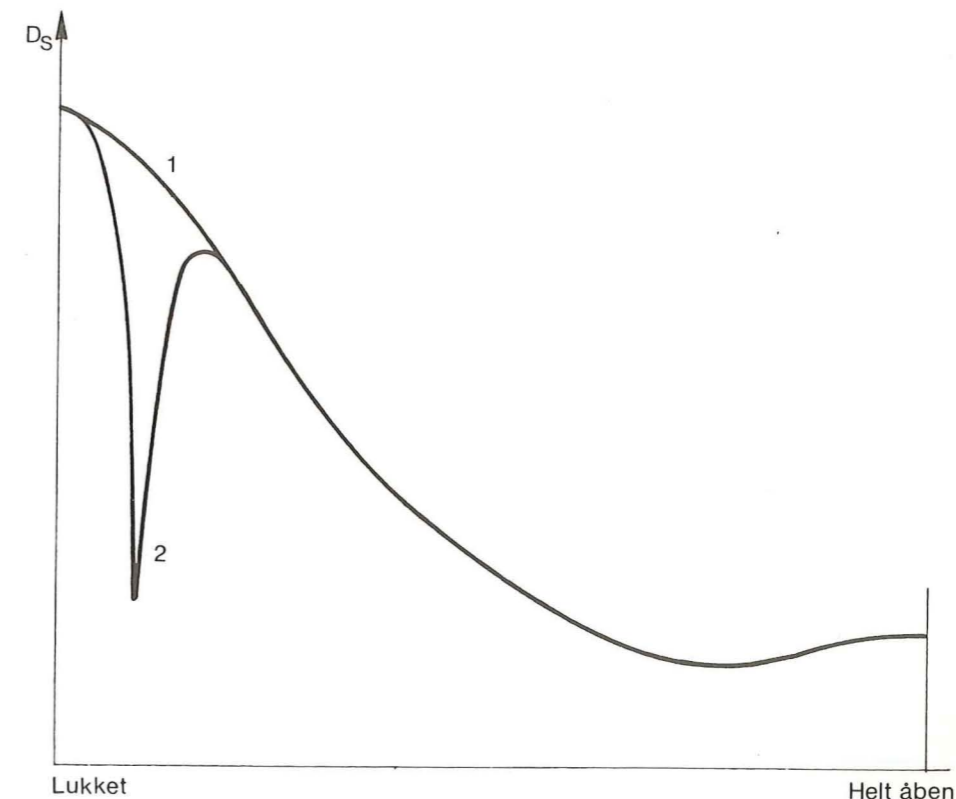
Der arbejdes i øjeblikket med at få standardiseret afprøvningen af de nævnte ventiler, samt en del forskelligt udløbsmateriel såsom brusere, luftblandere og lignende.

Klosetventil

Skandinaviske afprøvningsregler

L kan måles ved et vilkårligt trykfald over armaturet og ved en vilkårlig åbningsgrad. Ved angivelse af D_S -niveauer skal derfor trykfald og armaturstilling præciseres. I figur 28 vises det principielle forløb af D_S i afhængighed af ventilens åbningsgrad. Det eventuelle uregelmæssige forløb ved den ringe åbningsgrad skyldes resonansfænomener ved ventilkuglen. Det uregelmæssige forløb ved den store åbningsgrad skyldes ændringer i gennemstrømningsforholdet.

Efter de skandinaviske prøvebetingelser skal L måles ved helt åbent armatur og således, at vandstrømmen gennem armaturet er $0,7 q_N$, $1,0 q_N$ og $1,5 q_N$, hvor q_N er en til armaturets funktion passende vandstrøm, der findes angivet i godkendelsesbetingelserne. Støjmålingen udføres successivt for såvel armaturets koldt vandstilgang som dets varmt vandstilgang. For koldt vandstilgangen udføres desuden målinger af støjniveau ved trykfald på 0,3 MPa og 0,5 MPa, og de tilhørende vandstrømme registreres.



Figur 28. Principielt forløb for støjniveauet $D_S = L_S - L$ for en ventil som funktion af åbningsgraden. Kurve 1 for ventil uden resonansfænomener ved ventilkuglen, og kurve 2 for ventil med resonansfænomener.

Viser målingerne, at D_S er mindre end eller lig med 15 dB(A), udføres tillige prøver ved så lavt tryk, at D_S er større end 15 dB(A).

Størrelsen D_S karakteriserer armaturet, og den kan måles i en lang række laboratorier. Set fra et brugersynspunkt har størrelsen D_S den uheldige egenskab, at jo mere støjsvagt armaturet er, desto større bliver D_S -niveauet. For at imødegå denne skønhedsfejl, er der for armaturet indført et såkaldt normstøjniveau L_{AP} defineret ved:

$$L_{AP} = L_{SR} - D_S$$

hvor L_{SR} er et niveau, der kan vælges således, at L_{AP} stort set svarer til det i bygninger forventede støjniveau. I Tyskland (DBR) har man foretaget et stort antal målinger og fundet, at L_{SR} kan ansættes til 45 dB(A). Det må imidlertid fremhæves, at denne værdi er en middelværdi, der er behæftet med betydelig usikkerhed på grund af bygningers forskellighed med hensyn til transmission og udstråling af installationsstøj.

I Tyskland såvel som i skandinavien er der indført en klassificering af de afprøvede armaturer. I Tyskland er grupperingen alene baseret på L_{AP} -værdier, i skandinavien dels på D_S -værdier, dels på L_{AP} -værdier.

Støjgrupperingen er som følger:

gruppe 1: $D_S \geq 25$ dB(A), som er ensbetydende med $L_{AP} \leq 20$ dB(A).

Denne gruppe kan forventes i de fleste tilfælde at opfylde kravene i bygningsreglementet.

gruppe 2: $D_S \geq 15$ dB(A), som er ensbetydende med $L_{AP} \leq 30$ dB(A).

Armaturerne kan anvendes i bygninger, hvor vandinstallation, bygningskonstruktion og planløsning er udformet under hensyntagen til støj fra installationer. Kan anvendes i nogle tilfælde, hvor der er sikkerhed for, at vandtrykket ved armaturet ikke overstiger 0,3 MPa.

gruppe 3: $D_S < 15$ dB(A), som er ensbetydende med $L_{AP} > 30$ dB(A).

Armaturerne kan anvendes i bygninger, hvor der ikke stilles krav om et maksimalt tilladeligt støjniveau. I andre tilfælde vil de ikke kunne anvendes, hvis det aktuelle vandtryk overstiger det tryk, der svarer til en D_S -værdi på 15 dB(A).

Gruppeinddelingen kan kun anvendes som vejledning for armaturernes støjfrembringelse. En sikkerhed for at opfylde bygningsreglementets krav kan kun opnås ved støjmåling i den færdige bygning.

Måling med støjnormal i bygninger

I bygninger måles støjniveauet med det benyttede armatur og støjniveauet frembragt af en støjnormal anbragt på armaturets plads. For at laboratorieresultater på et eller andet tidspunkt skal kunne udnyttes i forbindelse med projektering, må der gælde følgende relationer:

$$D_S = (L_S - L)_{lab} = (L_S - L)_{in situ} \quad (3)$$

Må støjniveauet i en bygning ikke overstige 30 dB(A) fås:

$$30 \text{ dB(A)} > (L)_{in situ} \rightarrow D_S > (L_S)_{in situ} - 30$$

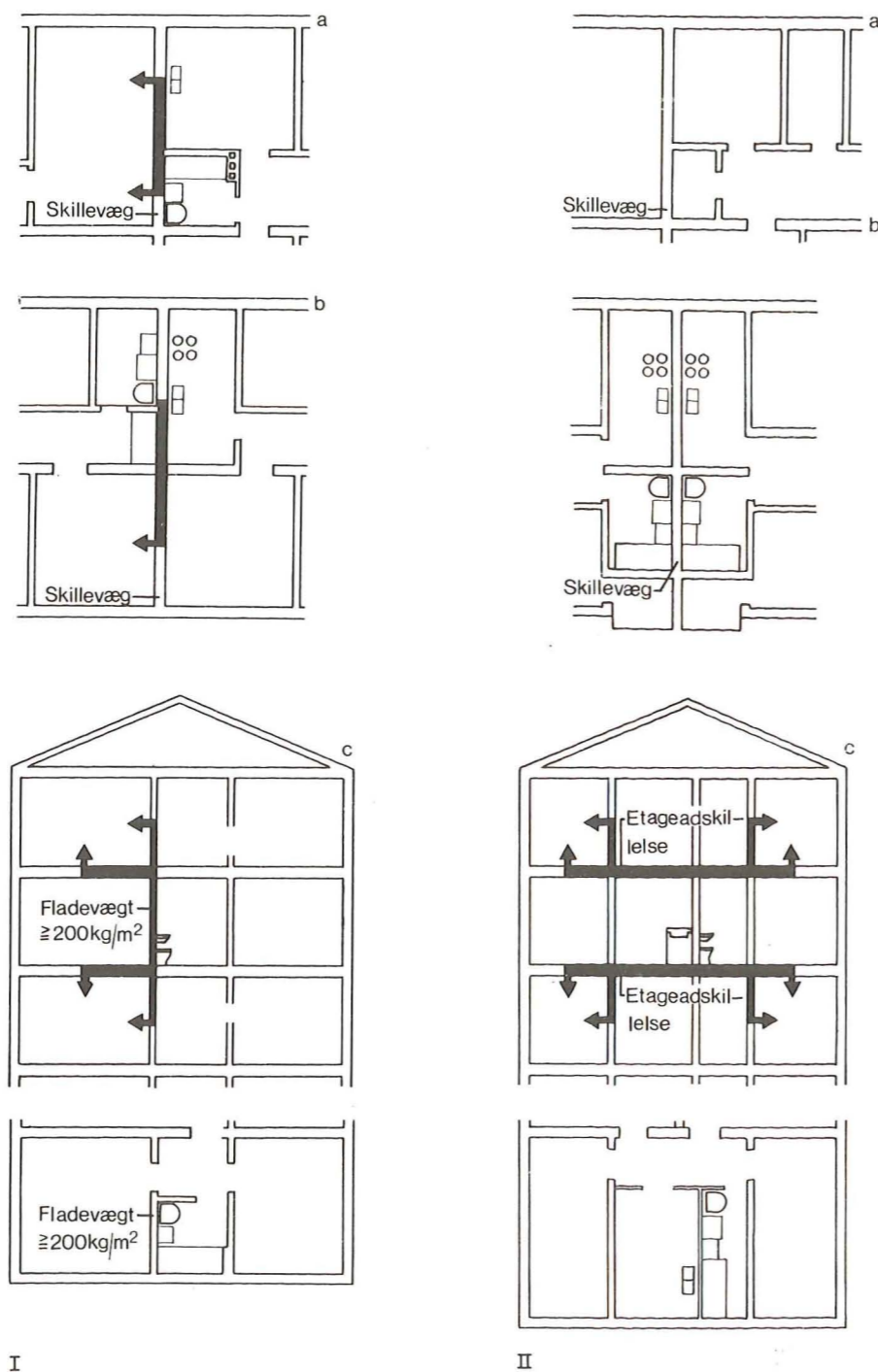
Klassificering i byggeri

Undersøgelse af størrelsen $(L_S)_{in situ}$ er systematisk foretaget i Tyskland. Ved opdeling af transmissionsforholdene som det er vist i figur 29, hvor tilstanden I er den værst tænkelige, medens tilstandene II som oftest er bestemmende i relation til krav i byggelovgivningen. Det har vist sig, at for tilstandene II ligger middelværdien for $(L_S)_{in situ}$ på ca. 45 dB(A). Med tilstanden I ligger niveauet som middelværdi oftest 5-10 dB(A) højere end for tilstanden II. Ud fra disse resultater har man i Tyskland ved laboratoriemålinger ansat størrelsen L_{SR} til 45. Det påregnes, at kravet til støjniveauet fra installationer kan opfyldes, når der i tilfældene I og II anvendes henholdsvis ventiler fra gruppe 1 og 2.

Støjsvagt armatur har små L_{AP} -værdier og store D_S -værdier

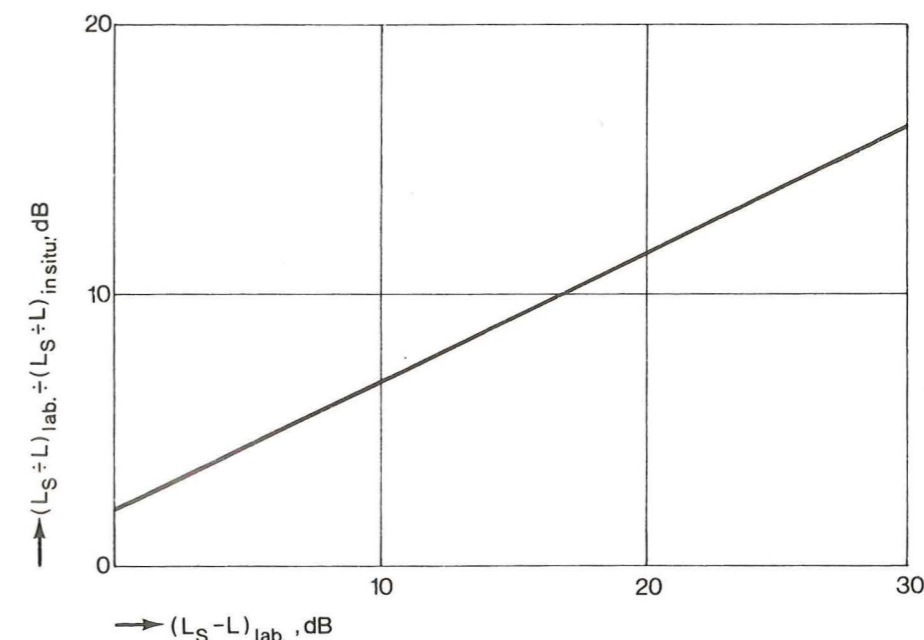
Klassificering af ventiler

Der kan på grund af planløsningen opstå forskelle i støjniveauet på mere end 10 dB(A), og når hertil føjes, at der er tale om middelværdier i et spredningsinterval, som er større end ± 5 dB(A), vil der kunne blive forskelle på 15 dB(A) mellem det i bygningen målte støjniveau og den til armaturet hørende L_{AP} - værdi.



Figur 29. Modtagerum i forhold til støjkilder i installationsrum. Karakteriseret ved beliggenhed I og II. I beliggenhed I må kun anvendes armaturer fra gruppe 1: $L_{AP} \leq 20$ dB(A). I beliggenhed II må anvendes armaturer fra grupperne 1 og 2: $L_{AP} \leq 30$ dB(A). Efter Niedersächsisches Ministerialblatt.

Undersøgelser foretaget i Frankrig tyder på, at den angivne værdi på $L_{SR} = 45$ dB(A) er rimelig. Derimod synes den i (3) angivne betingelse ikke at være opfyldt, jævnfør figur 30, hvor den fundne afhængighed i så fald burde være abscisseaksen.



Figur 30. Differensen mellem de i laboratoriet og i bygning målte støjniveauer $D_S = L_S - L$ som funktion af D_S -niveauet i laboratoriet. S Efter Girard.

Installationers montering

Der er endnu ikke foretaget en almen undersøgelse i dansk byggeri af hvilke værdier, der kan findes for L_{SR} eller, om der overhovedet kan findes en værdi. Det må forventes, at den er forskellig for forskellige installationssystemer: Traditionelt opsatte og synligt førte rør, traditionelt opsatte rør ført i skakt, rør elastisk opsat i skakt, rør indstøbte i vægge eller dæk. Hertil kommer afslutningen: Traditionelt baderum eller baderumskabiner, som kan være af materiale med god lydtransmissionsevne eller med ringe lydtransmissionsevne. Der må, afhængig af det valgte installationssystem, være betydelig forskel på den opnåelige L_{SR} -værdi, hvilket også kan konstateres af de i forbindelse med i denne rapport beskrevne undersøgelser.

Vaske- og opvaskemaskiner

Støj fra vaske- og opvaskemaskiner udbreder sig på tilsvarende måde som støj fra andre installationer. Da

maskinerne i almindelighed er elastisk koblet til forsynings- og afløbssystem, vil støjudbredelsen være begrænset til de nærmeste boliger. Støjen fra maskinerne varierer med de enkelte delprocesser. Den direkte støjudstråling, som har væsentlig betydning for brugerens bedømmelse af maskinens støjfrembringelse er et rent fabrikationsspørgsmål. Støjen fra forskellige fabrikater kan variere adskillige dB(A). Statens Husholdningsråd, som foretager funktionsafprøvninger af både vaske- og opvaskemaskiner, anvender en skala på fem trin dækkende et område på over 25 dB til vurdering af maskinernes støjniveau. Støjtransmissionen via bygningsdele afhænger helt af opsætning og eventuelt af maskinens understøtninger.

Ved indsætning af en opvaskemaskine i et afgrænset rum, som er beklædt med lydabsorberende materiale fx mineraluld, og som har en størrelse, så kun maskinens forside er tilgængelig, vil den udstrålede lydenergi formindskes væsentligt.

For at nedsætte den til omgivende boliger transmitterede lyd skal maskinen isoleres fra gulvet. Hvis maskiner står på trægulve, betyder det også en nedsættelse af støjniveauet i egen bolig. Det gulvareal, maskinen dækker, kan udføres svømmende i forhold til dæk og det øvrige gulv. I nødstilfælde kan der på gulvet under maskinen etableres et svømmende underlag bestående af et mineraluldslag under en trykfordelende plade. Ulempen herved er dels, at maskinen ikke direkte kan rulles under rengøring, dels at maskinens højde forøges med underlagets tykkelse og derfor ikke kan være i de afsatte moduler.

Undersøgelse af en række forskellige opvaskemaskiner opstillet successivt i den samme bolig på køkkengulvet viste, at kun fire af femten maskiner med sikkerhed ville opfylde de i bygningsreglementet stillede krav til støjniveauet. For de fleste maskiners vedkommende udgør de støjfrembringende delprocesser ca. 50 % af programperioden.

Vaskemaskiner installeres i almindelighed i rum med hårde gulvbelægninger, således at transmissionen i overvejende grad bestemmes af gulvet. Vaskemaskiner frembringer under vaskeprocessen i almindelighed mindre

støj end opvaskemaskiner, men under centrifugeringsprocessen ofte 15 til 20 dB(A) mere. Centrifugeringsprocessen udgør ca. 10 % af programperioden. Hvis gulvet ikke er svømmende skal maskinen være forsynet med effektive svingningsdæmpere, som desværre i reglen har kortere levetid end maskinen. Defekte svingningsdæmpere observeres i reglen før i de omliggende rum end i rummet, hvor maskinen er monteret. Korrekt udførte svømmende gulve giver en betydelig isolation mod udbredelse af den af maskinen frembragte bygningslyd. Maskiner, som skal boltes fast til fundamentet, kræver et specielt maskinfundament, som iøvrigt skal opstilles på svingningsdæpende underlag.

Installationers indvirkning på lyd isolation

Installationer kan på forskellig vis indvirke på lyd isolationen. Virkemåden afhænger bl.a. af installationstypen. Der kan være tale om transmissionsmuligheder indbygget i systemet, og om transmissionsveje skabt ved opsætning af systemet. Forkert opsatte rør kan ødelægge virkningen af en dobbelt væg og frembringe lydbroer i svømmende gulve.

Lydtransmission gennem utætheder

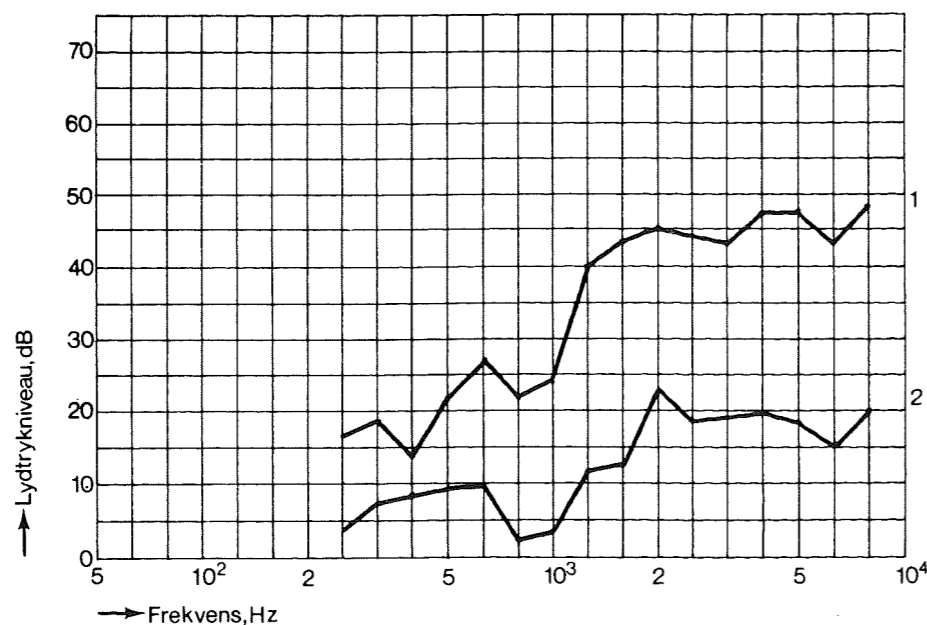
Utætheder kan være frembragt ved installationsgennemføringer i vægge eller dæk. Årsagen til utætheder kan være håndværksmæssig mangelfuld udførelse af tætninger omkring rør, men den kan også skyldes projekteringen, som viser tilsyneladende simple samlinger, der kan udføres af enhver, men som under praktiske forhold enten kræver en helt urimelig arbejdsindsats eller overhovedet ikke kan udføres som forudsat.

Utætheder ved rørbøjninger

Der kan i praksis være tale om kanaler eller rør med både små og store diametre. Undersøgelse af lydtransmission gennem ringformede åbninger viser, at en vægs reduktionstal falder betydeligt blot en enkelt åbning ikke er tætnet. Virkningen af en utæthed er meget tydelig i dens umiddelbare nærhed, medens virkningen i nogen afstand blot erkendes ved en lavere lyd isolation end for den tætte gennemføring. I figur 31 er vist resultater fra en undersøgelse af støjniveauet i den umiddelbare nærhed af utætheder. Forsøg med stopning af

huller og fuger med mineraluld viser, at med en hul- diameter, som er væsentlig mindre end huldybden, væg- tykkelsen, kan der med mineraluld i stopningstætheder på ca. $100-150 \text{ kg/m}^3$ opnås en isolation svarende til en 10-15 cm betonvæg.

Utætheder kan også skyldes selve installationen, idet installationens funktion forudsætter en direkte forbindelse mellem to rum fx gennem ventilationsanlæg. Eksempler på denne form for lydtransmission kendes fra talrige boligbebyggelser, hvor lydisolationen mellem to baderum eller mindre køkkener bestemmes af lydtransmissionen gennem ventilationskanalerne. Undersøgelser viser, at en relativ beskedet dæmningsforanstaltning ved kanalåbningerne er tilstrækkeligt til at forbedre lyd- isolationen, så bestemmelserne i reglementet kan opfyldes. Ønskes derimod en dæmpning af lydtransmissionen gennem kanalerne svarende til de anvendte bygningsdeles lydisolationsniveau, vil det kræve en betydelig dæmpning ved kanalovergange til de ventilerede rum. Skal fremtidens boligbyggeri forsynes med ventilation ikke alene i baderum og køkken, men også i sove- og opholdsrum, vil en nyvurdering af lydisolationsforanstaltningerne være nødvendig.



Figur 31. Stigning i lydtrykniveauet som funktion af frekvensen målt i den umiddelbare nærhed af to rørgen- genføringer i 12 cm betonplade. Stigningen er målt i forhold til en plade uden rørgennemføringer. Kurve 1. 1/2" rør i 1" rørbøsning. Kurve 2. 5/4" rør i 2" rørbøsning.

Ventilationsanlæg

Radiatorernes lyd- transmission

Rørkompensatorer

Indklædning af rør

Lydtransmission gennem centralvarmeanlæg

I mange byggerier er lydtransmissionen gennem central- varmesystemer årsag til, at den med de anvendte kon- struktionsforventede lydisolationsniveau ikke opnås. Det skyldes, at større metalflader (radiatorer) forholdsvis let virker som lydmodtagere og via rørforbindelser transmitterer lyden til andre rum, hvor den udstråles gennem radiatorerne. Stor lydtransmission finder sted gennem radiatorer med relativt tynde og kun lidt bøj- ningsstive yderflader, omvendt giver radiatorer med stor bøjningsstivhed, støbejerns-radiatorer, kun i ringe grad anledning til lydtransmission som indvirker på den opnåelige lydisolationsniveau. Ved direkte påvirkning af ra- diator eller rørsystem fx ved slag med en hård gen- stand transmitteres lyden let gennem hele rørsystemets udstrækning, og der udstråles generende lyd gennem alle radiatorer. Også i dette tilfælde er udstrålingen min- dre fra støbejerns-radiatorer end fra pladejerns-radiato- rer, men selv ved brug af en støbejerns-radiator er ni- veauet af den udstrålede lyd generende højt. Ved at indskyde elastiske led, koblinger eller kompensatorer, kan transmissionsmuligheden gennem rørsystemet nedbrin- ges. Det gælder både for transmission af luftlyd og bygningslyd.

Lydtransmission gennem rør- og kanalvægge

I en lang række tilfælde kan lydtransmissionen finde sted gennem kanaler eller rør på den måde, at lyden fra et rum transmitteres ind i rør eller kanal, gennem rør- eller kanalvæg og derefter i rør eller kanal gennem en væg og ud gennem rør- eller kanalvæg til et andet rum. Transmission af denne art er i øjeblikket bedst kendt fra ventilationsanlæg og hyppigheden af klage-tilfælde vokser med kanaldimensionerne. Transmissionsbidragene forøges med aftagende tykkelse af rør- eller kanalvæg. Denne situation kendes især i forbindelse med rør eller kanaler af galvaniseret plade. Situationen kan også fo- rekomme i forbindelse med afløbsrør af plast. For rør af støbejern vil transmissionen mere ligne tilstanden ved centralvarmerør, hvor udbredelsen sker i selve rør- væggen. I alle tilfælde kan problemerne løses med en passende inddækning af rør eller kanaler med lydisele-

rende beklædning bestående af lydabsorberende materiale fx mineraluld, med en udvendig tæt beklædning af 6-10 mm plader.

Støj fra ventilationsanlæg

Støj i ventilationsanlæg frembringes dels af ventilatorer, dels af luften ved dens passage gennem kanalerne og især hvor disse indsnævres, således at lufthastigheden partielt øges, f.eks. indblæsningsventiler eller udsugningsventiler. Ved enhver luftbevægelse frembringes støj. Ved små hastigheder er denne ubetydelig, ved større hastigheder kan luftstøjen være den helt dominerende støj i et ventilationsanlæg.

Ventilatorer

Støj fra ventilatorer vokser med den omsatte elektriske effekt, det frembragte tryk og den transporterede luftmængde. For en given ventilator er den frembragte støj mindst ved den største virkningsgrad. Støjen afhænger desuden af ventilatortype, af skovludformning, af ventilatorudførelse, husudførelse m.m. Køberen har i reglen kun ringe mulighed for at ændre på en ventilators støjfrembringelse, bortset fra valg af fabrikat ud fra støjmessige synspunkter.

Støj fra luftens bevægelse

I lige, glatte kanaler vokser den frembragte støj med lufthastigheden. Der er en vis sammenhæng mellem den frembragte støj og det Reynoldske tal, hvilket betyder, at også kanalstørrelsen indvirker på den resulterende støj. Det er imidlertid sjældent, at støjfrembringelsen i de lige strækninger er bestemmende for niveauet, idet bøjninger, kanter, spjæld, åbninger m.m. er langt mere støjfrembringende.

Dæmningsforanstaltninger

Støj fra ventilatorer udbreder sig både mod og med luftstrømmen, fordi lufthastigheden er meget større end lufthastigheden. Dæmpning af støj ved ventilatorer skal derfor ske både før og efter ventilatoren. Tagventilatorer skal ofte forsynes med en lyddæmper ved afkast for at hindre generende lydudstråling til omgivende nærrekræ-

Støjniveauet vokser med lufthastigheden

Lyddæmper ved indtag og afkast

tive arealer. I mange tilfælde er det også nødvendigt at dæmpe ved indtaget af hensyn til de nærmest liggende boliger. Dæmpningen kan også ske ved ventilationsåbningen i det ventilerede rum. Placeringen af dæmperen er temmelig afgørende i tilfælde, hvor der udsuges luft med stort fedtindhold.

I mange tilfælde opstår den generende støj i indblæsnings- eller udsugningsaggregater på grund af for stor hastighed og/eller for stort trykfald. I sådanne tilfælde vil resultatet i reglen blive et kompromis mellem ventilationshensyn og støjhensyn, og som oftest utilfredsstillende set ud fra begge synspunkter. Dæmningsforanstaltninger lige uden for indblæsningsåbninger vil ofte være nødvendige. I anlæg med stor lufthastighed eller højt tryk vil det altid være nødvendigt.

Støj fra centralvarmeanlæg

Støj fra centralvarmeanlæg kendtes i ældre dampanlæg, medens der i ældre vandanlæg med naturlig cirkulation i realiteten kun forekom støj, når kedelvandet kogte. Vore dages anlæg med tvungen cirkulation adskiller sig støjmessigt fra ældre anlæg ved at have større vandhastighed og større trykfald over reguleringsventilerne. Støj frembringes dels af pumpen, dels ved vandets strømning gennem ventiler ved ret store trykfald. I praksis projekteres centralvarmeanlæg med en betydelig sikkerhedsmargin, hvilket fører til, at der anvendes pumper med for stort tryk og for stor kapacitet. Det store tryk er ofte nødvendigt for at kunne regulere visse termostatventiler, der i nogle ventilstillinger frembringer en væsentlig støj. Frembringelse af støj ved gennemstrømning af ventilerne i centralvarmeanlæg kan forøges i nattetimerne, når væsentlige dele af anlægget afspærres. Denne forøgelse af støjen er særdeles uheldig, da den indtræffer samtidig med, at baggrundsstøjniveauet har sit døgnminimum. Problemet kan løses ved brug af mindre pumper med mindre kapacitet og eventuelt også mindre tryk. De fleste anlæg er dimensioneret således, at de kan klare spidsbelastningen, d.v.s. at de i realiteten er dimensioneret til den maksimale kapacitet, og ikke til den normale kapacitet. I bygningsreglementet stilles krav om, at støjni-

Cirkulationspumper

veauet ikke må overstige 25 dB(A) i boliger, hvilket kan synes et urimeligt lavt niveau. I de fleste tilfælde er det imidlertid ikke urealistisk, fordi baggrundsstøjniveauet om natten, hvor det er væsentligt at få kravet opfyldt, ofte ligger under 25 dB(A). Den karakteristiske støj i et radiatoranlæg frembringes ved frekvenser, der virker meget generende især på tidspunkter, hvor beboerne vil sove. For ventiler til radiatoranlæg gælder som for ventiler til vandforsyningsanlæg, at støjniveauet vokser ca. 6 dB(A) ved en fordobling af trykfaldet over ventilen. Foruden rørene har radiatorarten betydning for støjfrembringelsen. Der er store forskelle på radiatorernes støjstrålingsevne. Radiatorer med tynde vægge har stor emission af lyd. Radiatoren har betydning både for transmissionen i anlægget og for selve lydudstrålingen - emissionen -. Den bedste radiator er derfor en støbejerns radiator, som kun har lille emission. Det gælder almindeligt, at tunge radiatorer har mindre lydmission end lette radiatorer. Indsætningen af kompensatorer i rørsystemet vil modvirke transmission i anlægget. Brug af kompensatorer formindsker transmissionen af støj i anlægget, og de formindsker samtidig beboernes mulighed for at anvende anlægget til signalering. Det er en fordel at anbringe kompensatorerne omkring pumperne, fordi pumper, i det øjeblik anlægget indkøres, som regel er i orden, men efterhånden frembringes der mere støj. Det sker langsomt, og først efter en længere periode begynder beboerne at klage. I praksis belastes beboerne således ofte urimeligt over en længere periode, når pumpen monteres uden fleksible forbindelser. Hvis pumperne monteres lydteknisk korrekt og anlægget iøvrigt dimensioneres således, at trykfaldet over de enkelte ventiler er mindre end 1,5-2 KPa (150-200 mm H₂O), og vandføringen er beskeden, så vil der normalt ikke frembringes nogen særlig generende støj fra radiatoranlægget. Der mangler således ikke viden om den rette måde at gøre det på, men problemet er, at få det gjort. Der er ikke som ved godkendelse af armatur til vandforsyningsanlæg lavet en støjnormal, således at der kan foretages en sammenligning mellem radiatorventilers støjfrembringelse. Det er en sag, som SBI burde forsøge at få løst i de kommende år.

Radiatorers lydudstråling

Afløbsanlæg

Støj fra afløbsinstallationer har været kendt i mange år. I almindelighed forstås ved problemer angående støj fra installationer ikke just klager over afløbsinstallationer. Det betyder ikke, at støj fra afløbsinstallationer er uvæsentlig, men derimod at støj fra vandforsyningsanlæggene simpelthen er så dominerende, at støj fra afløbsinstallationerne skjuler sig i støjen fra vandforsyningsinstallationerne.

Udskylning fra toiletter indledes med en kraftig afløbsstøj, som et kort øjeblik efter maskeres af fyldningsstøjen - cisternefyldning - der har en betydelig varighed i forhold til udskylningen. Undersøgelsesresultater skyldes ofte fabrikanten af afløbsmateriel, medens forskningsinstitutterne kun har haft begrænset andel i den fremkomne viden. Hvilket naturligvis kan henføres til, at reglementerne i både ind- og udland i overvejende grad har beskæftiget sig med de mest støjfrembringende installationer og senere vil vende tilbage til afløbsanlæggene.

Afløbsinstallationer kontra vandforsyningsanlæg

Sammenligning mellem almindelige vandforsyningsanlæg og afløbsanlæg viser, at der er flere forskelle. Rørmaterialet er som oftest forskelligt, desuden har rørdimensionerne for afløbsinstallationerne i reglen en langt større dimension end for vandforsyningsanlæg. Hertil kommer, at væskestrømmingen i afløbsanlæg sker i delvis fyldte rør, medens den i vandforsyningsanlægget sker i fyldte rør og under tryk. I mange tilfælde kan der i afløbsanlæg opstå støj på grund af undertryk.

En vandstrøm i en delvis fyldt ledning - afløbsrør - med moderat hældning vil, når røret er glat, bogstavelig talt ikke frembringe støj. Der frembringes mere støj i ru støbejernsrør end i glatte plastrør. Niveauet ved strømmingen er imidlertid så lavt, at plastrørets fordel i reglen ikke har nogen betydning i støjmæssig henseende. Hyppigt fremkommer kraftig støj, hvor faldstammen trækkes. Det gælder selvfølgelig også for støbejernsrør. Transmission af støjen sker primært i selve rørvæggen, hvor lyddæmpningen er meget lille i forhold til de fleste plastrør. Ved ophængning af plast-

Faldstammers
bøjninger

rør, således at røret et enkelt sted er fastgjort til en tung masse, vil transmissionen gennem røret derfor være beskedent i modsætning til støbejernsrør. Fastgørelse af et plastrør i en tværvæg vil derfor i modsætning til et støbejernsrør i de fleste tilfælde være nok til at forbinde lydets transmission gennem rørvæggen til et naborum. Brug af plastrør kan medføre en kraftig støj i det rum, hvori faldstammens bøjning findes, medens der allerede i det næste rum er et meget lavere niveau end ved anvendelse af støbejernsrør, som derimod i rummet under faldstamme og bøjning frembringer et lavere støjniveau end plastrør. Ved at påvirke henholdsvis plastrør og støbejernsrør med en vibrator viser det sig, at den støj, der udstråles fra plastrørene er relativt lavfrekvent, medens den er temmelig højfrekvent - over 1000 Hz - for støbejernsrør.

Lydudbredelsen i støbejernsrørene er stor, og det nytter derfor ikke at faststøbe røret i en tværvæg, lyden føres gennem rørvæggen, lydenergien overføres kun i mindre grad til væggen. Plastrøret, der faststøbes i en tværvæg, danner et knudepunkt, hvori der sker en betydelig energiafledning.

Erfaringerne med plastrør viser, at det i reglen er nødvendigt at foretage en inddækning af rørene med en lydisolerende beklædning, f.eks. bestående af plader og mineraluld. Opsætning af rør i skakte er, forudsat at der ikke på andre områder sløses med udførelsen, en god løsning. Lydtransmissionen gennem rørvæggen kan også nedsættes ved anvendelse af samlinger med gummitætninger. Med effektive, dobbelte gummitætninger, kan opnås nedsættelse af den i rørvæggen transmitterede lyd på 30 til 40 dB, hvilket er en stor dæmpning. Inddækning er mere påkrævet for plastrør end for støbejernsrør. Et af de væsentligste klagepunkter i forbindelse med støj fra afløbsinstallationer er støj fra toiletter. Anvendelse af gummitætningsringe kunne måske nedsætte støjen fra klosetudskylningen. Lyden kan frembringe visse ideassocationer, som kan bevirke, at denne specielle lyd er mere generende, end støjniveauet angiver.

Der forekommer undertiden støjproblemer i forbindelse med tømning af badekar. Ved en u hensigtsmæssig rørdimen-

Pneumatik i afløbssystemer

sion kan store vandhastigheder bevirke indsugning af luft, der ofte sker stødvis, hvilket kan give anledning til støj og vibrationer, samtidig med at tømnetiden forlænges. Fabrikanten bør fremstille materiel uden disse uheldige egenskaber. Afløbssystemer, som anvender pneumatik til tømning, vil nemt kunne frembringe væsentlig mere støj end de nuværende systemer. Det bør derfor før indførelse af alternative afløbssystemer undersøges grundigt, om disse påfører brugerne større støjgener end hidtidige anlæg.

Samlinger med
gummitætninger

Ikke støjniveauet
alene, men også
støjkarakteren kan
virke generende

Måling af støjniveauet fra installationer i den færdige bygning kompliceres ofte af en række ydre forhold, der kan vanskeliggøre målingerne. Baggrundsstøjniveauet er ofte temmelig højt, således at forholdet mellem signal og støj kun er nogle få dB. Fra et måleteknisk synspunkt er dette uheldigt, fordi det medfører, at målinger i reglen må udføres uden for normal arbejdstid, hvilket altid er tilfældet i bygninger med lydteknisk veludførte installationer. Generende faktorer ved støjmålinger kan være udefra kommende støj fra trafik, i mange tilfælde er dog også dårligt vejr årsag til et højt baggrundsstøjniveau. I bygninger, som er helt eller delvis beboede, er den normale aktivitet i boligen i reglen årsag til, at målinger nødvendigvis må ske på et sent tidspunkt. Blandt andet på grund af disse forhold er måleresultaterne vedrørende støj fra installationer noget mere spredte, end resultater fra måling af lydisolations.

Støjniveau i relation til BR

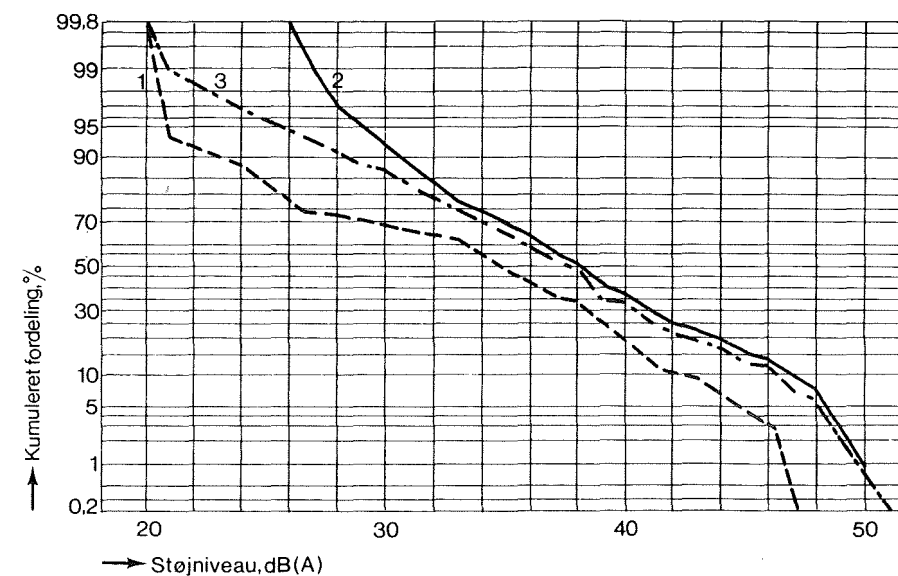
I forbindelse med rekvirerede undersøgelser med relation til bygningsreglementet udført af Byggeriets Akustiske Målestation foretages kun måling af støjniveauet fra en enkelt eller to installationer af hver type. Måleresultaterne er for vandforsyningsinstallationernes vedkommende indtegnet i figur 32 og 33. Resultaterne er ikke korrigeret for efterklangstiden i modtagerummet. Sammenlignes resultaterne i de to figurer viser det sig, at der over et bredt område, ca. 10-80 %, dannes tre grupper. Første gruppe er tapventiler over badekar i etageboliger som den mest støj frembringende gruppe. Badekar i rækkehuse samt tapventil

Støjmæssigt gode installationer skal måles om natten

Ventiler over kar

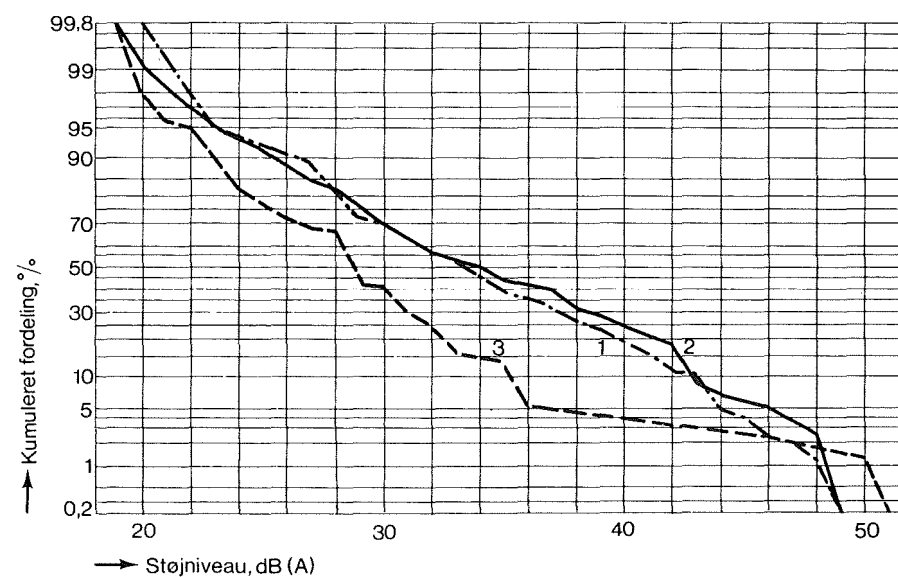
Toiletter

over håndvask og køkkenvask er den anden gruppe med niveauer, som er 2-5 dB(A) lavere end for tapventiler over badekar i etageboliger. Den tredje og mindst støj frembringende gruppe udgøres af toiletter, som ligger endnu 2-6 dB lavere end midtergruppen. Ved måling af



Figur 32. Den kumulerede fordeling af måleresultater for tapventiler over badekar som funktion af støjniveauet.

Kurve 1. Rækkehuse.
Kurve 2. Etageboliger.
Kurve 3. Rækkehuse + etageboliger.



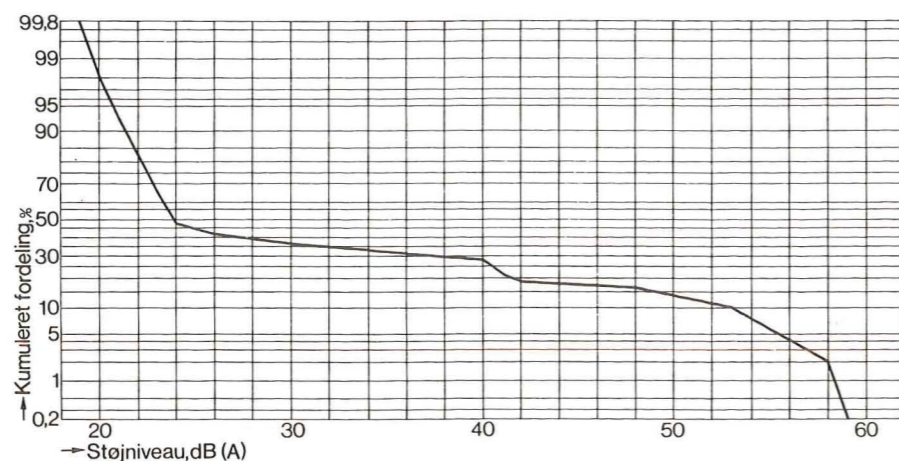
Figur 33. Den kumulerede fordeling af måleresultater som funktion af støjniveauet i etageboliger og rækkehuse.
Kurve 1. Tapventiler over håndvask.
Kurve 2. Tapventiler over køkkenvask.
Kurve 3. Klosetter.

støjniveau fra klosetter ligger støjniveauet i den korte udskylsperiode i reglen 5-8 dB(A) højere end det angivne, som gælder for fyldeperioden. Korrektionen for efterklangstiden andrager i almindelighed fra 3 til 6 dB, for større rum dog endnu mere. Det i BR angivne krav til støjniveau på 30 dB(A) ligger således for de ukorrigerede værdier på 33 til 36 dB(A). Af figurerne ses, at henholdsvis ca. 65 %, 45 % og 10 % af de udførte målinger i de ovennævnte tre grupper overstiger det i BR-72 angivne krav for beboelsesrum. Sammenlignes måleresultaterne med kravene i BR-66, viser det sig, at kun ca. 10 % af resultaterne overstiger de angivne krav for beboelsesrum. Når så forholdsvis mange resultater fra måling af støjniveauer ved tapning af vand i badekar ikke opfylder de i BR-72 angivne krav skyldes det, at støjen fra vandets udløb i karret er ret betydelig, særlig ved fastmurede kar. Anvendes fritstående kar på gummifødder er støjniveauet gennemgående 5-6 dB lavere. En yderligere forbedring af resultaterne for såvel tapventil som cisterneventil vil kræve valg af støjsvage armaturer, svømmende opsætning af rørsystemer, opdeling af anlægget, f.eks. med elastiske rørforbindelser, rørføring ud fra akustiske hensyn, lydisolerende opsætning af kloset og anvendelse af elastiske, lyddæmpende forbindelser mellem kloset og faldstamme.

Fritstående badekar

Radiatorstøj

Resultater fra målinger af støj fra radiatorer er angivet i figur 34. Variationsbredden i måleresultaterne er ca. 40 dB, hvilket virker meget forbavsende. I bygninger, hvor varmforsyningen på måletidspunktet er



Figur 34. Den kumulerede fordeling af måleresultater for radiatorer som funktion af støjniveauet.

sket fra midlertidig central, er målinger ikke udført. I flere tilfælde, hvor der er målt høje støjniveauer, angives, at anlæggene ikke er indregulerede, eller at målingerne er foretaget på et tidspunkt, hvor mange radiatorer er lukkede. Det bør imidlertid erindres, at reglementets krav altid skal være opfyldt, d.v.s. også om natten og om sommeren.

Beskrivelse af bygningerne, hvori støjniveauet er målt med støjnormal

Målingerne er udført i 11 byggerier. Da undersøgelserne ikke udføres i specielt til formålet planlagte byggerier, kan resultaterne ikke forventes umiddelbart at belyse de enkelte parametres indvirkning på støjniveauet. Derfor er det nødvendigt, at hver bygning beskrives med henblik på en resultatsammenligning mellem de enkelte bygninger. Det kan konstateres, at bygningerne overvejende er udført med bærende tværvægge, og at der i rørsystemerne ikke gøres brug af elastiske kompensatorer. Der er to væsentlige faktorer, som har betydning for støjniveauet. Det er rørsystemet (transmission, fastgørelse og placering) og de våde rums udførelse (kabiner, ikke kabiner, lette, tunge vægge). I beskrivelsen af den enkelte bygning er oplysninger vedrørende disse forhold så vidt muligt angivet.

Bygning I. Montagebyggeri i 4 etager

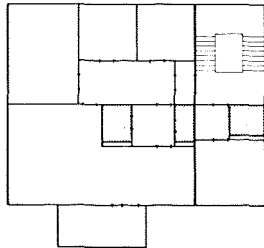
Undersøgelsen er udført i en fireetages bygning med bærende tværskillevægge af 15 cm betonelementer. Skillevæggene i den enkelte bolig består af letbeton og pladebeklædte skeletvægge. Facaderne er udført dels af sandwichelementer, dels af snedkerelementer. Etageadskillelserne består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. Baderum og toiletrum er i en del af byggeriet udført af kabiner - fabrikat Kabina - og i en anden del af byggeriet på traditionel vis med vægge af lecabeton. Etageplanen er vist i figur 35. Badekabinernes vægge består af spånplader med indvendig plastoverflade. Vægttykkelserne er 4 til 7 cm.

Installationerne til den enkelte bolig føres i væggene mellem opholdsrum og baderum. I store boliger med baderum og separat toiletrum føres installationerne i

to vægge. Stigledningen, et 1 1/4" stålør, er indpakket i en mineraluldsmåtte med bitumineret papir. Den aftagelige vægbeklædning mod beboelsesrum består af spånplader. Forbindelserne fra stigledning til armatur består af kobberrør 16/18 og 10/12 med en samlet længde på ca. 2 m. Rørføringen er ens i kabineudførelserne og i de traditionelle udførelser med lecaelementer.

Den opnåede middelrumsisolation mellem to over hinanden liggende baderum er med kabiner ca. 45 dB, og med lecaelementer ca. 43 dB. Trinlydniveauet er for kabinerne ca. 8 dB bedre end kravene i bygningsreglementet (BR-72), med lecaelementer ca. 11 dB ringere end reglementets krav.

Kabiner



Figur 35. Planløsning i de målte boliger i bygning I. Bade- og toilettrumene er udført af kabiner med bærende dele af spånplader. Rørføringen findes i væggene mellem kabinerne og køkken/opholdsrum. Adskillelsen mod opholdsrum består af en demonterbar pladevæg.

Bygning II. Montagebyggeri i 3 etager

Undersøgelsen er udført i en treetages bygning - såkaldt terrassehus - med bærende tværskillevægge af 15 cm betonelementer. Skillevæggene i den enkelte bolig består af letbeton og pladebeklædte skeletvægge. Facaderne er udført af sandwichelementer og snedkerelementer. Etageadskillelserne består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. Baderum og toilettrum er udført af kabiner, fabrikket Flexovit. Etageplanen varierer fra etage til etage. Planen af en etage er vist i figur 36.

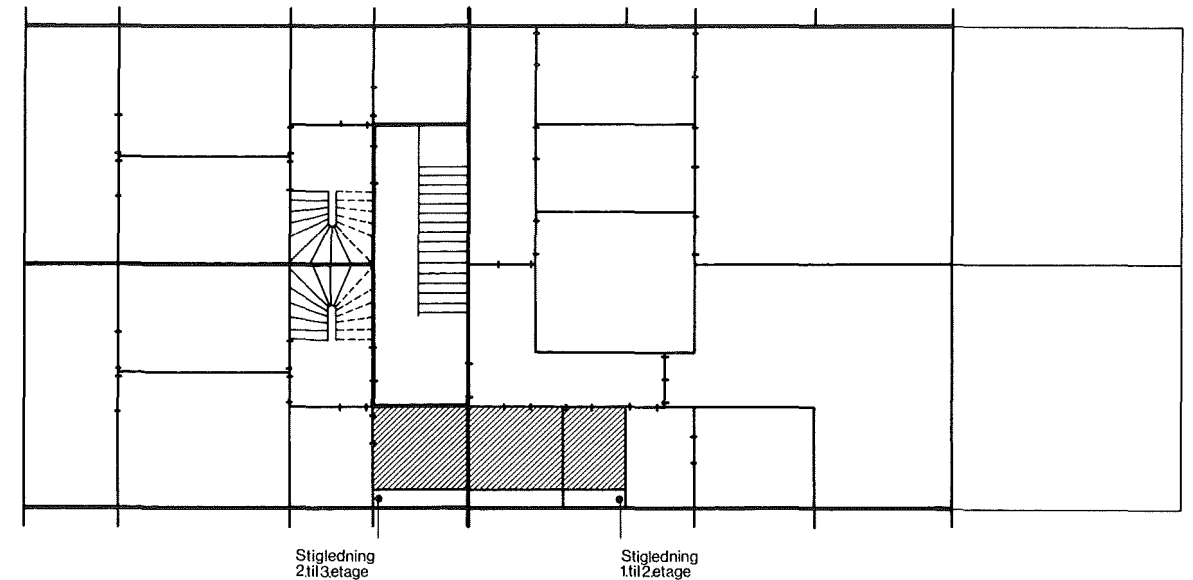
Badekabinernes vægge består af lecabetonplader med en indvendig overfladebehandling. Installationerne til den enkelte bolig føres i mellemrummet mellem kabinerne og den bærende betonvæg. Stigledningen, et 28 mm kobberrør, tjener som forsyningsledning til de to boliger, som har bierum mod bygningens tværskillevæg. På 2. etage trækkes ledningen vandret i det viste mellemrum og gennem den boligadskillende længdeskillevæg. Bade- og toilettrum har ikke vægge direkte mod opholdsrum. Den opnåede middelrumsisolation mellem to over hinan-

den liggende baderum er større end 56 dB. Trinlydniveauet for kabinerne er ca. 12 dB bedre end kravene i bygningsreglementet BR-72.

Bygning III. Montagebyggeri i 4 etager

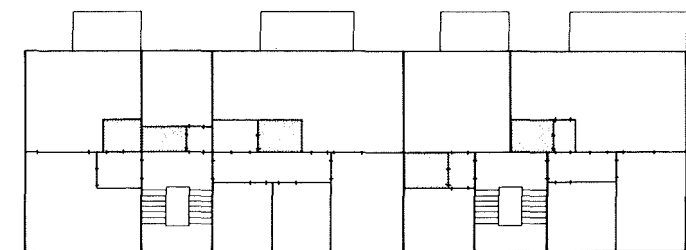
Undersøgelsen er udført i en fireetages bygning med bærende facader af sandwichelementer og med bærende tværskillevægge af 15 cm beton. Etageadskillelserne består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. Bade- og toilettrum er udført af kabiner, fabrikket KBI komponent. Etageplanen er vist i figur 37. Badekabinernes vægge består af spånplade med indvendig plastoverflade.

Kabiner



Figur 36. Planløsning i de målte boliger i bygning II. Bade- og toilettrumene er udført af kabiner med bærende dele af letbeton. Rørføringen findes i rummet mellem kabinerne og den boligadskillende betonvæg. Skraverede arealer angiver på figur 36-45 bade-/toilettrum.

Kabiner



Figur 37. Planløsning i de målte boliger i bygning III. Bade- og toilettrumene er udført af kabiner med bærende dele af spånplader. Rørføringen findes i væggene mellem kabiner og opholdsrum. Adgangen til installationerne sker fra opholdsrummet via en demonterbar pladevæg.

Installationerne til den enkelte bolig føres i vægge mellem opholdsrum og baderum. Stigledningen, et 1 1/4" stålør, er indpakket i mineraluldsmåtte med bitumine-ret papir. Vægge mod beboelsesrum består af spånplader. Forbindelserne fra stigledning til armatur består af kobberrør 16/18 og 10/12 med en samlet længde på ca. 2 m.

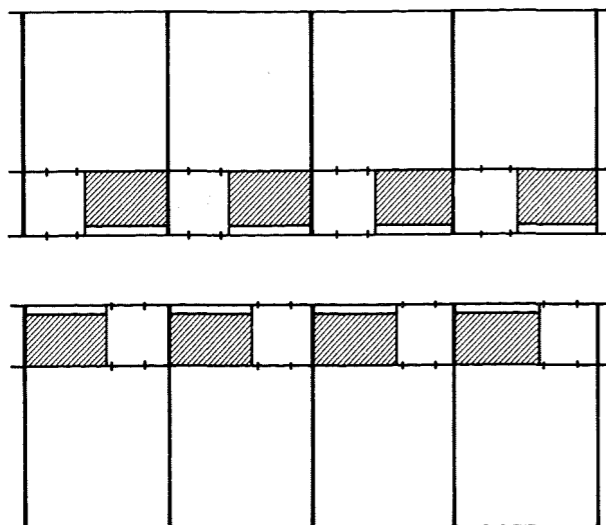
Den opnåede middeldrumsisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 65 dB. Trinlydniveauet for kabinerne er ca. 8 dB bedre end kravene i bygningsreglementet, BR-72.

Bygning IV. Montagebyggeri i 8 etager

Undersøgelsen er udført i en otteetages bygning med bærende betonrammer og etageplader. Skillevæggene omkring boligerne består af 20 cm tykke, pladebeklædte dobbelte stålskeletvægge. Facaderne er udført af snedkerelementer. Etageadskillelserne består af en sandwichplade med tæppebelægning. Baderum er udført af kabiner med vægge af spånplader med plastoverflade. Etageplanen er vist i figur 38. Installationerne til den enkelte bolig føres i skakt mellem kabine og fællesgang. Adgang til skakter sker fra fællesgangen. Stigledningen er 1 1/4" stålør.

Den opnåede middeldrumsisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 54 dB. Trinlydniveauet er ca. 8 dB ringere end kravene i bygningsreglementet BR-72.

Rørskakt



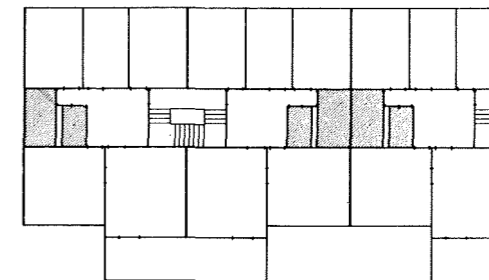
Figur 38. Planløsning i de målte boliger i bygning IV. Bade- og toiletrumene er udført af kabiner med bærende dele af spånplader. Rørføringen findes i rummet mellem kabine og den boligafgrænsende væg mod fællesvæg.

Bygning V. Montagebyggeri i 3 etager

Undersøgelsen er udført i en treetages bygning med bærende tværskillevægge af 15 cm betonelementer. Skillevæggene i den enkelte bolig består af beton, letbeton og pladebeklædte vægge. Facaderne består af sandwich-elementer og snedkerelementer. Etageadskillelsen består af 23 cm hulpladedæk med trægulve på strøer. Bade- og toiletrum er udført traditionelt med vægge af letbeton. Installationerne til den enkelte bolig føres i skakte mellem baderum, toiletrum og køkken. Stigledningen er 1 1/4" stålør. I figur 39 er vist en af boligernes planløsning.

Den opnåelige middeldrumsisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 53 dB. Trinlydniveauet er ca. 15 dB ringere end reglementets krav.

Rørskakt



Figur 39. Planløsning i de målte boliger i bygning V. Bade- og toiletrumene er afgrænset af beton og letbetonvægge. Rørføringen findes i skakte mellem bade- og toiletrum.

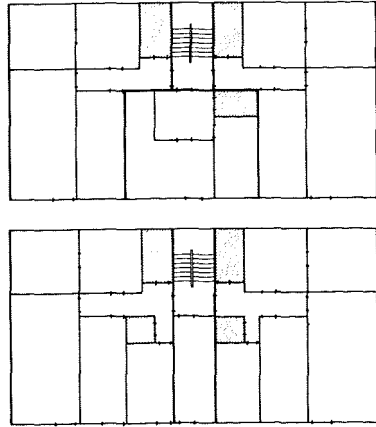
Bygning VI. Montagebyggeri i 3 etager

Undersøgelsen er udført i en treetages bygning med bærende tværskillevægge af 15 cm betonelementer. Skillevæggene i den enkelte bolig består af beton, letbeton og pladebeklædte vægge. Facaderne består af sandwich-elementer og snedkerelementer. Etageadskillelserne består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. Bade- og toiletrum er udført traditionelt med vægge af beton og letbeton. I figur 40 er vist en etageplan.

Installationerne til den enkelte bolig føres i til-dækkede udsparinger i vægelementer. Stigledningen består af 1 1/4" stålør. Den opnåede middeldrumsisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 40 dB.

Trinlydniveauet er ca. 13 dB ringere end reglementets krav.

Rørskakt



Figur 40. Planløsning i de målte boliger i bygning VI. Bade- og toiletrumene er afgrænset af beton- og letbetonvægge. Rørføringen findes i tildækkede vægnicher.

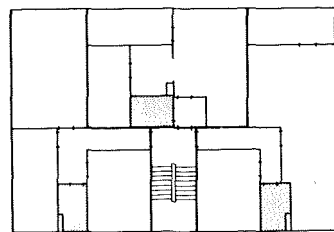
Bygning VII. Montagebyggeri i 4 etager

Undersøgelsen er udført i en fireetages bygning med bærende tværskillevægge af 15 cm betonelementer. Skillevæggene i den enkelte bolig består af beton, letbeton og pladebeklædte vægge. Facaderne består af sandwich-elementer og snedkerelementer. Etageadskillelserne består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. Bade- og toiletrum er udført traditionelt med vægge af beton og letbeton. I figur 41 er vist en etageplan.

Installationerne til den enkelte bolig føres i skakte mellem køkken og bad. Stigledningen består af 1 1/4" stålrør.

Den opnåede middelrumisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 50 dB. Trinlydniveauet er ca. 15 dB ringere end reglementets krav.

Rørskakt



Figur 41. Planløsning i de målte boliger i bygning VII. Bade- og toiletrumene er afgrænset af betonvægge. Rørføringen findes i skakte mellem køkken og baderum.

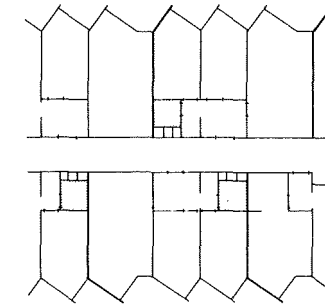
Bygning VIII. Montagebyggeri i 8 etager

Undersøgelsen er udført i en otteetages bygning med bærende tværskillevægge af 15 cm betonelementer. Skillevæggene i den enkelte bolig består af 6,4 cm beton. Facaderne består af sandwichelementer og snedkerelementer.

Etageadskillelserne består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. I baderum af 17,5 m² massiv beton. Etageplanen er vist i figur 42.

Installationen til den enkelte bolig er udført i skakt beliggende mellem baderum og fællesgang. Adgang til skakten sker fra fællesgangen. Stigledningen er 1 1/4" stålrør med 1/2" stålrørsforbindelse til tapstederne. Den opnåede middelrumisolation er ca. 47 dB. Trinlydniveauet er ca. 12 dB ringere end reglementets krav for baderum over 2,5 m².

Rørskakt



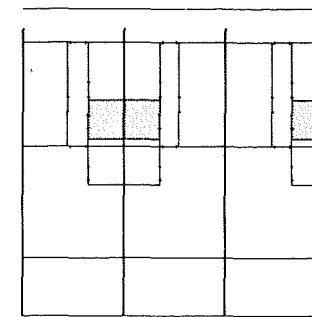
Figur 42. Planløsning i de målte boliger i bygning VIII. Bade- og toiletrumene er afgrænset af betonvægge. Rørføringen findes i skaktudsparring i væggen til fællesgang.

Bygning IX. Pladsstøbt betonbyggeri i 3 etager

Undersøgelsen er udført i en treetages bygning med bærende tværskillevægge af 15 cm beton. Skillevæggene i den enkelte bolig består af beton, letbeton og pladebeklædte vægge. Facaderne er udført af 15 cm massiv betonplade med trægulv på strøer. Etageadskillelserne består af 20 cm beton med trægulv på strøer. Bade- og toiletrum er udført traditionelt med vægge af beton og letbeton. I figur 43 er vist en planløsning.

Installationerne til den enkelte bolig føres i skakte mellem baderum og skabsrum. Stigledningen er 1 1/4" stålrør. Den opnåede middelrumisolation mellem to over hinanden baderum er ca. 45 dB. Trinlydniveauet er ca. 12 dB ringere end reglementets krav.

Rørskakt



Figur 43. Planløsning i de målte boliger i bygning IX. Bade- og toiletrumene er afgrænset af beton- og letbetonvægge. Rørføringen findes i skakte mellem baderum og opbevaringsrum.

Bygning X. Muret byggeri i 3 etager

Undersøgelsen er udført i en treetages bygning med bærende tværskillevægge af 23 cm tegl med puds på begge sider. Skillevæggene i den enkelte bolig er udført af 11 cm tegl med puds. Facaderne er udført dels af dob-

belte teglvægge, dels af snedkerelementer. Etageadskillelsen består af 18 cm hulpladedæk med trægulv på strøer. Etageplanen er vist i figur 44.

Installationerne er udført med synlige stigledninger af 1" stålør i toiletrummet, hvorfra fordelingen sker via ½" stålør vandret til toilet, håndvask og køkkenvask.

Den opnåede middelrumisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 40 dB.

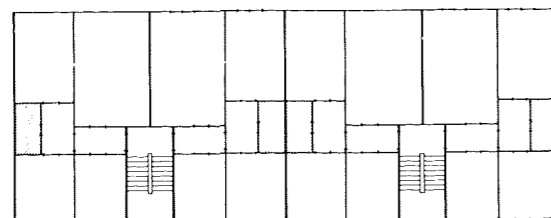
Figur 44. Planløsning i de målte boliger i bygning X. Bade- og toiletrumme er afgrænset af teglvægge. Rørføringen findes i baderummene synligt foran væggen mod nabobaderum.

Bygning XI. Muret byggeri i 3 etager

Undersøgelserne er udført i en treetages bygning med bærende facader samt længde- og tværskillevægge. Skillevæggene mellem boliger består af 23 cm tegl med puds på begge sider. Væggene i boligen består af 11 cm tegl, og 6 cm pladeskillevægge, pudsede på begge sider. Facaderne består af hulumre. Etageadskillelserne består af 12 cm jernbeton med trægulve på strøer. Bade- og toiletrum er udført traditionelt med vægge af tegl og plader. I figur 45 er vist en planløsning.

Installationerne er udført med synlig rørføring i baderummene. Stigledningerne er af 1 1/4" stålør med ½" stålørforbindelser til tapstederne.

Den opnåede middelrumisolation mellem to over hinanden liggende baderum er ca. 46 dB. Trinlydniveauet er ca. 25 dB. ringere end reglementets krav.



Figur 45. Planløsning i de målte boliger i bygning XI. Bade- og toiletrumme afgrænses af teglvægge og pladevægge. Rørføringen findes synligt foran væggen mod nabobaderum.

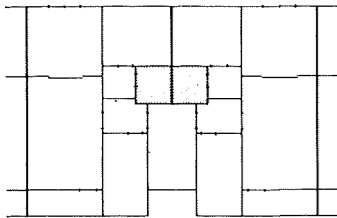
Indledende målinger

Før påbegyndelse af målinger med støjnormal i bygninger er det nødvendigt at foretage indledende målinger i laboratorium. Det ideelle ville være at foretage undersøgelser af de ventiltyper, som er monteret i bygningerne. Det har imidlertid ikke kunnet lade sig gøre. Det må også erkendes, at på det tidspunkt opgaven påbegyndtes, var den nødvendige viden, om hvordan arbejdet med en støjnormal i praksis ville og kunne fungere, ikke tilstede. Derfor er undersøgelsernes omfang og retning ændret en del, efterhånden som målingerne er skredet frem. Det gælder også målingerne i laboratoriet. Undersøgelserne er stort set udført dels med støjnormal, dels med en medbragt ventil, som desværre ikke har været den samme ved alle målingerne. Der er i laboratoriet primært udført målinger af støjniveauet fra sammenligningsventilerne og støjnormalen. Senere er disse resultater suppleret med måleresultater for enkelte andre ventiler.

Et af problemerne ved brug af støjnormalen er de lange tidsrum, hvori gennemstrømning af støjnormalen er nødvendig for at opnå det korrekte støjniveau. For en erfaren bruger er det imidlertid muligt at montere en støjnormal, således at støjniveauet kun ligger 1 á 2 dB(A) lavere end svarende til niveauet efter længere tids gennemstrømning af støjnormalen. For at undgå denne subjektive metode til vurderingen af det frembragte støjniveau blev det i laboratoriet forsøgt at kontrollere støjnormalens lydmission ved hjælp af en vibrations-pick-up. Der blev imidlertid ikke konstateret forskel på vibrationsniveauerne umiddelbart efter støjnormalens montage og efter længere tids gennemstrømning. Derfor blev denne kontrolmetode opgivet.

Der er i laboratoriet foretaget sammenlignende målinger mellem fem ventiler og støjnormalen. De fem ventiler er tre blandingsventiler af fabrikaterne Børma, Frese og Grohe, en Børma servanteventil og en Børma blandingsventil monteret på en spånplade med et rørsystem svarende til det i kabinetypen Kabina benyttede. I figurerne 46 og 47 er afbildet henholdsvis lydtrykniveauet og vandmængden for de seks ventiler. Målingerne er udført med helt åbne ventiler ved seks forskelli-

Traditionel synlig rørføring

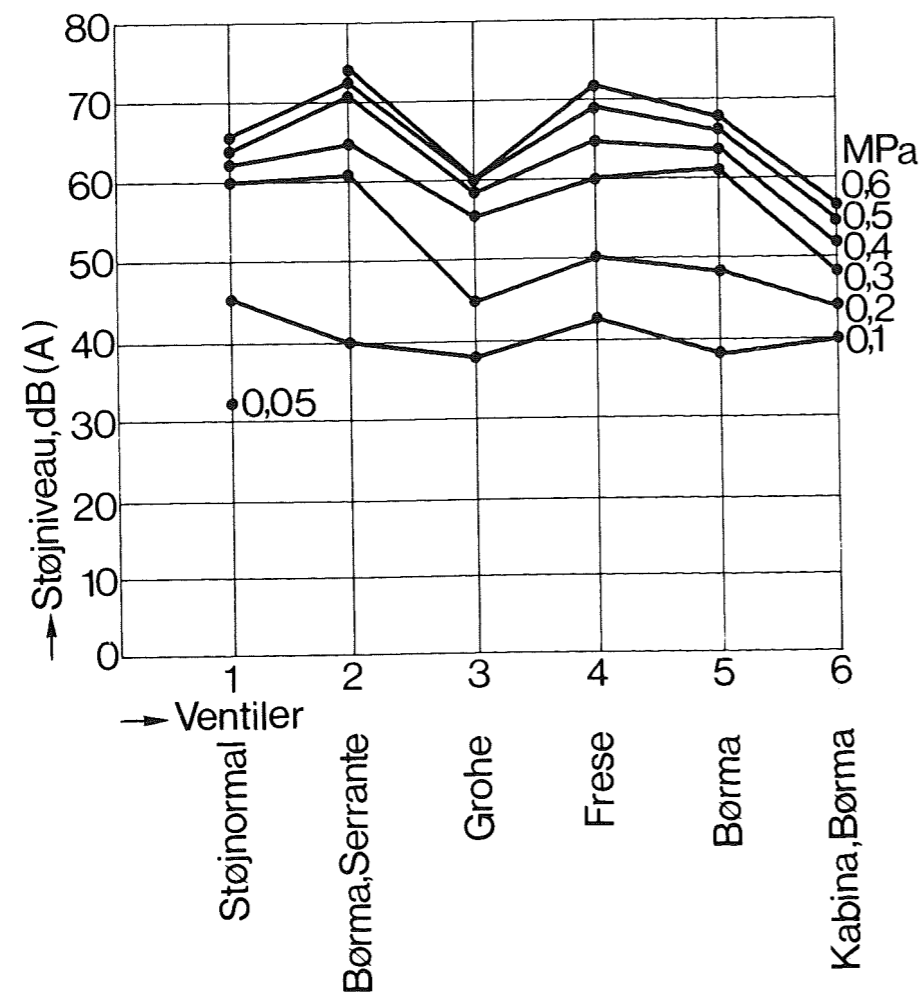


Traditionel synlig rørføring

Kontrol af støjnormal i bygninger

ge tryk. Kurvernes forløb er ikke så ensartede, som det måske kunne forventes. Især bemærkes, at kurverne med støjniveauet ved de forskellige vandtryk udviser ringere ensartethed end tilfældet er for kurverne med vandmængden ved de forskellige tryk. Afbildningerne sker i princippet med ventilernes geometri som uafhængig variabel, blot mangler der en måde til at karakterisere geometrien. I figurerne 48-50 er afbildet støjniveauet som funktion af henholdsvis vandstrøm, vandtryk og omsat effekt.

Det bemærkes, at støjniveauet i de logaritmiske afbildninger er voksende funktioner af henholdsvis vandstrøm, tryk og omsat effekt, men i intet tilfælde lineære funktioner i hele det betragtede område. I figur 50 er med forskellig hældning indtegnet tre rette liniestykker, som i nogen grad synes at beskrive kurveforløbet. Ventilen 6 har som den eneste stort set samme hældning i hele dens variationsområde for den omsatte effekt.



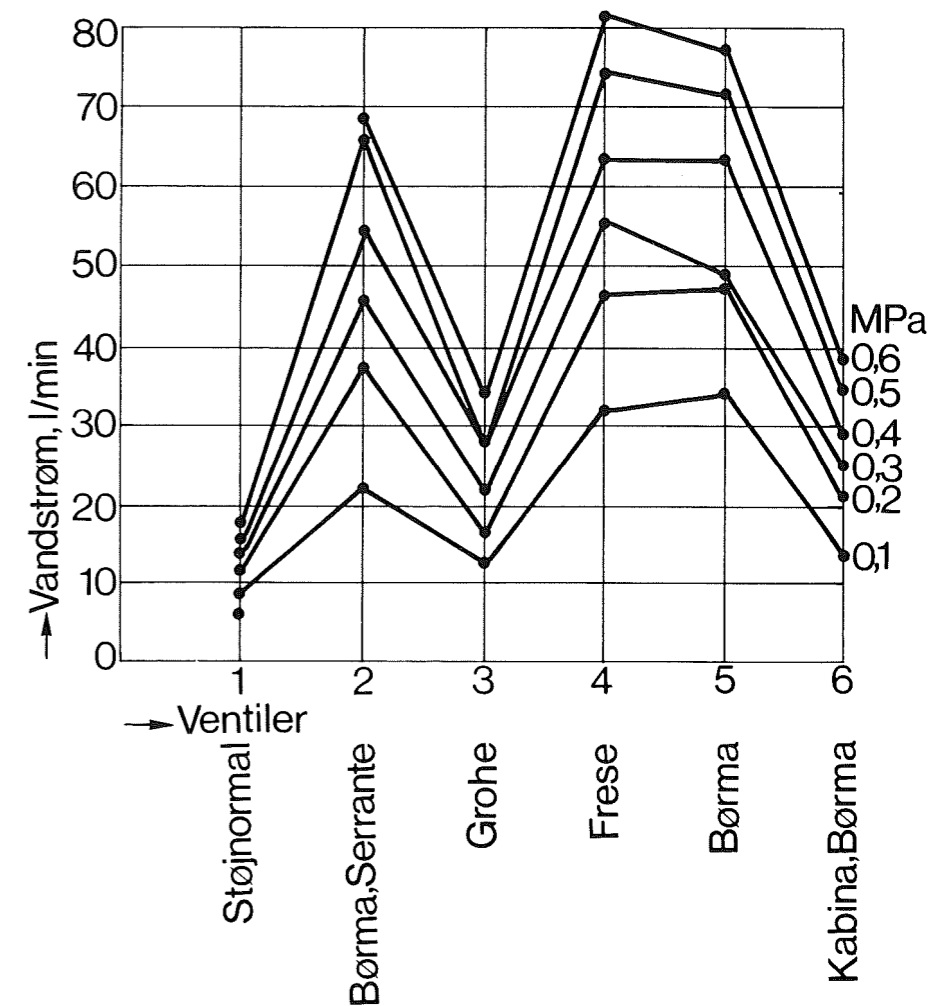
Figur 46. Støjniveauet afbildet ved trykkene 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, og 0,6 MPa for de fem ventiler og støjnormalen.

I figur 51 er vandstrømmen afbildet som funktion af vandtrykket. Heraf fremgår, at ventilerne betragtet som hydrauliske modstande stort set er lineære i den valgte afbildning og det betragtede trykområde. I figur 52 og 53 er støjniveauet pr. oktav afbildet som funktion af frekvensen. Det fremgår af figurerne, at ved voksende vandtryk stiger støjniveauet ved de højere frekvenser forholdsvis mere end ved de lavere frekvenser.

De i figurerne 46-53 viste resultater er stort set tilstrækkelige til, at der kan foretages sammenligninger mellem de i bygningerne målte støjniveauer dels fra støjnormal, dels fra de medbragte ventiler.

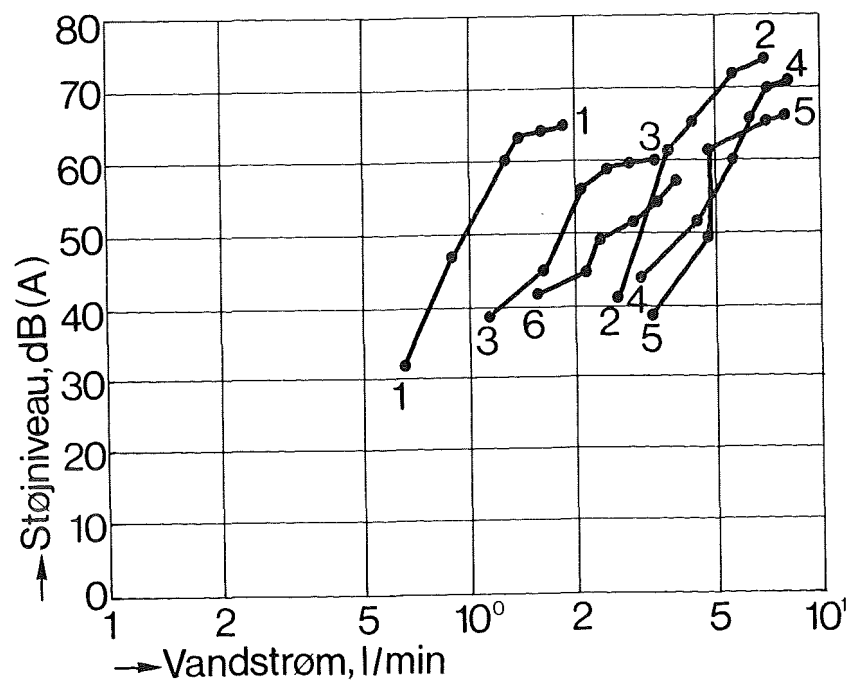
Måleresultater fra udvalgte byggerier

Ved anvendelse af støjnormal i bygninger opstår der, ud over de allerede omtalte vanskeligheder vedrørende bestemmelse af støjnormalens maksimale lydmission, også montagemæssige problemer. Det viser sig ofte vanskeligt

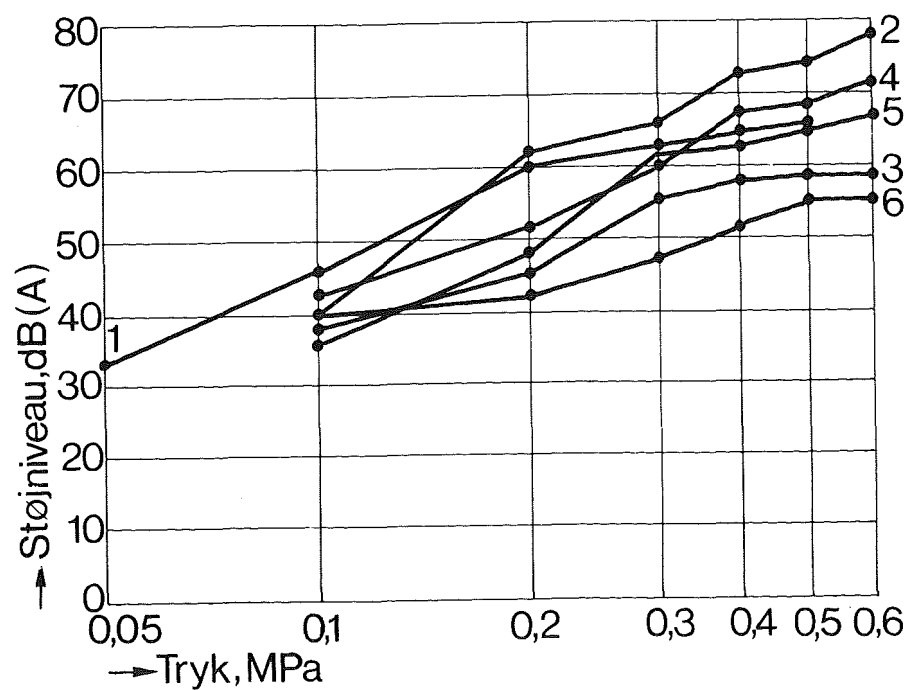


Figur 47. Vandstrømmen afbildet ved trykkene 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 og 0,6 MPa for de fem ventiler og støjnormalen.

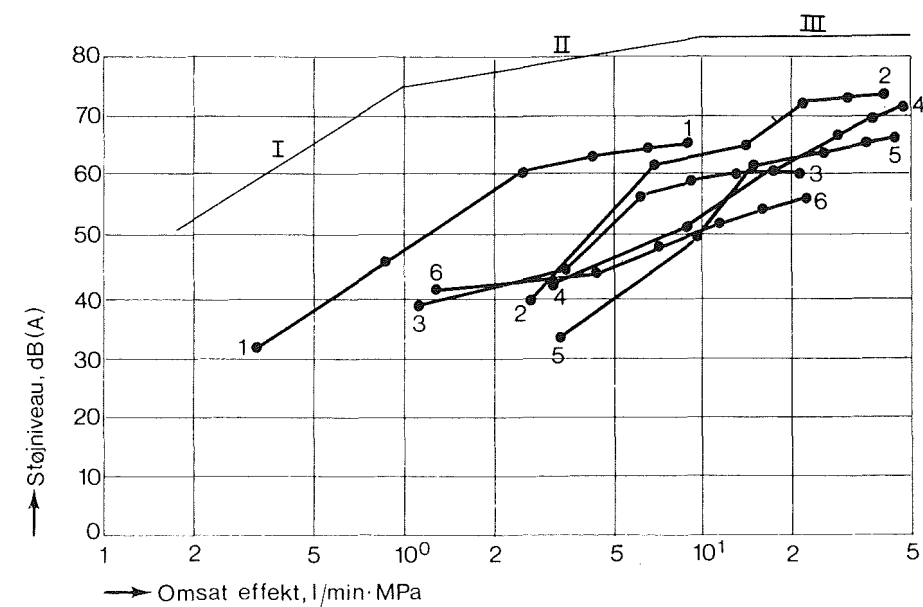
at få placeret støjnormalen på det ønskede sted i installationen. Her opstår bl.a. spørgsmålet om forbindelser mellem det egentlige rørsystem og ventiler hører til rørsystem eller ventil. For blandingsarmaturer med



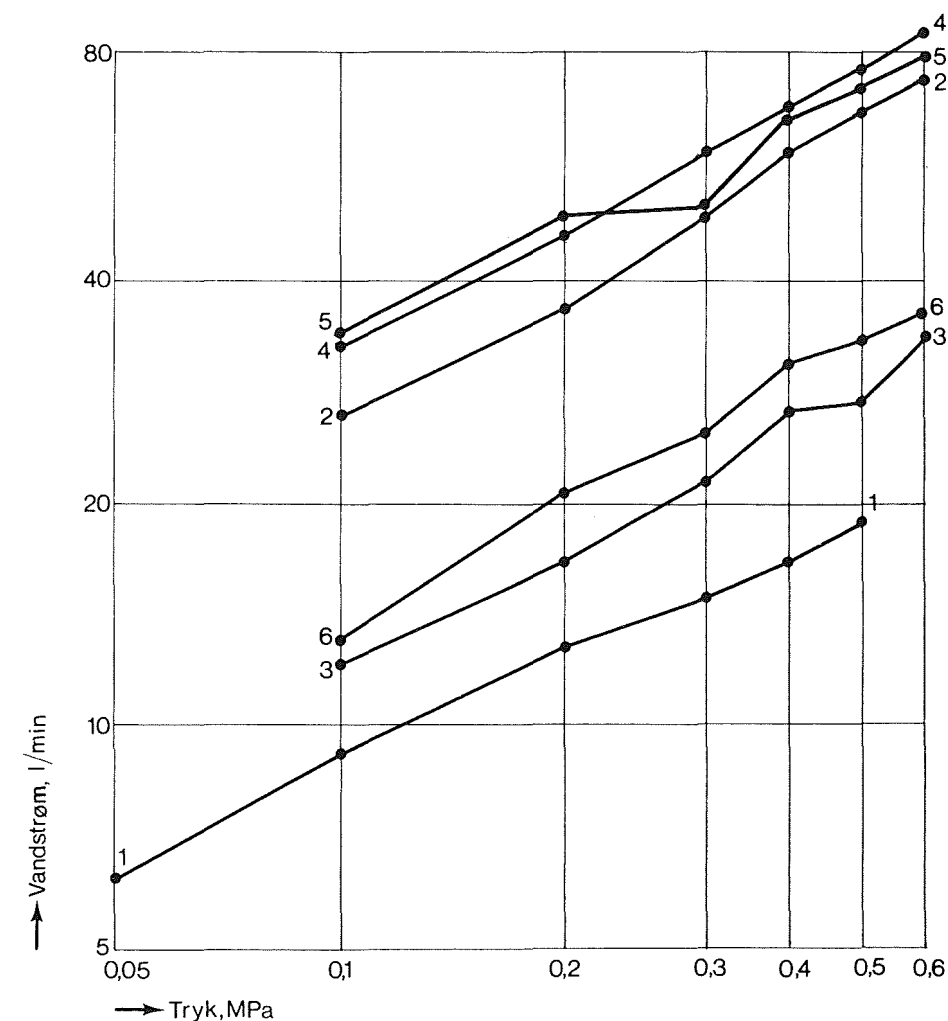
Figur 48. Støjniveauet som funktion af vandstrømmen for støjnormalen (1) og fem ventiler. Børma servante (2), Grohe (3), Frese (4), Børma (5) og Børma i Kabinas montage (6).



Figur 49. Støjniveauet som funktion af vandtrykket for støjnormalen (1) og fem ventiler. Børma servante (2), Grohe (3), Frese (4), Børma (5) og Børma i Kabinas montage (6).

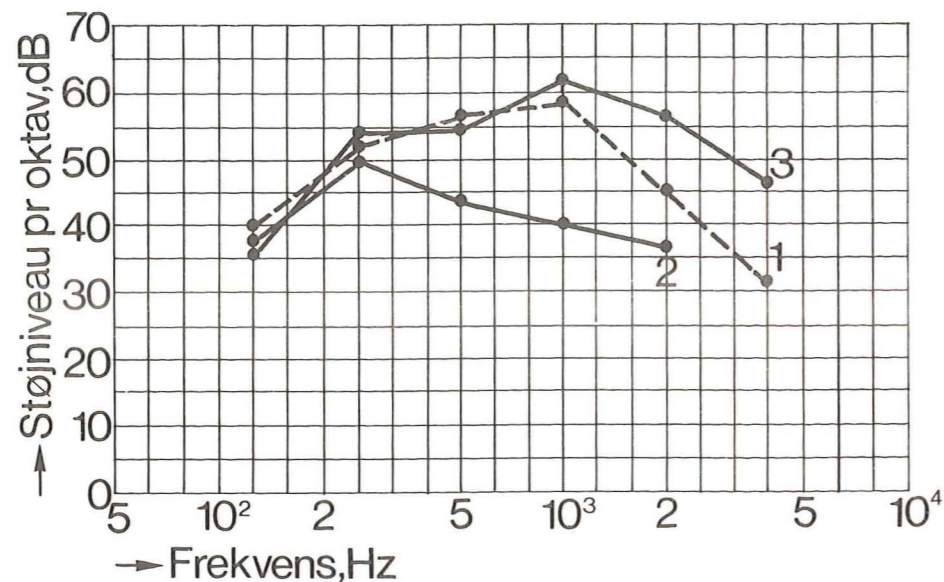


Figur 50. Støjniveauet som funktion af omsat effekt for støjnormalen (1) og fem ventiler. Børma servante (2), Grohe (3), Frese (4), Børma (5) og Børma i Kabinas montage (6). Liniestykkerne I til III synes i nogen grad at beskrive hældningsforløbet for de indtegnede kurver.

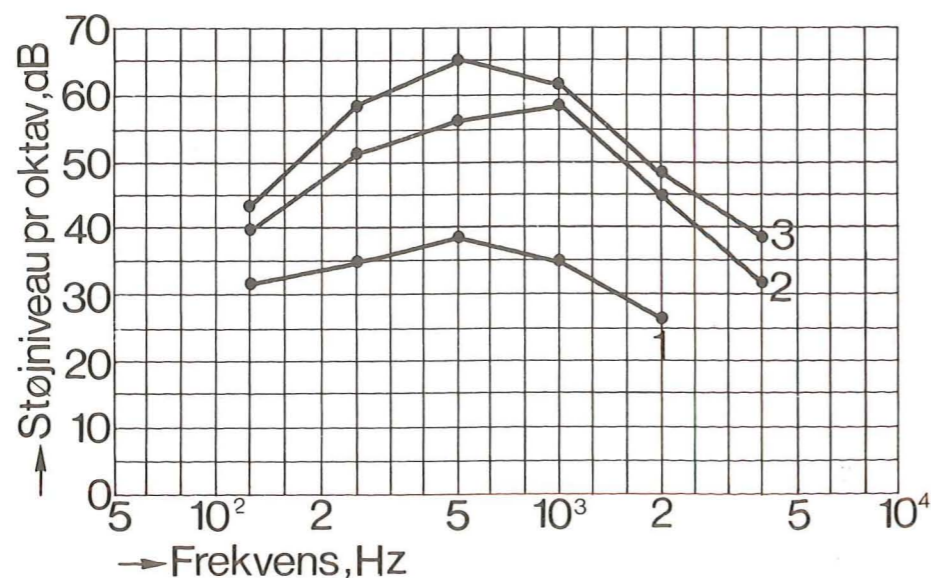


Figur 51. Vandstrømmen som funktion af vandtrykket for støjnormalen (1) og fem ventiler. Børma servante (2), Grohe (3), Frese (4), Børma (5) og Børma i Kabinas montage (6).

tilhørende overgangsrør af kobber er der ingen tvivl om, at kobberrøret hører til ventilen. For ventiler med løse mellemrør af kobber kan det diskuteres, om mellemrøret, som i praksis er nødvendigt, prøvemæssigt set skal betragtes som tilhørende ventil eller rørsystem. Det største problem vedrørende montagen fremkommer i forbindelse med visse kabinettyper, hvor der findes adskilte ventiler og blandearmatur, således at støjnormalen



Figur 52. Støjniveauet som funktion af frekvensen ved vandtryk på 0,3 MPa. Kurve 1 er for støjnormalen, kurve 2 for den i Kabina benyttede Børma ventil med tilhørende rørforbindelse monteret på en spånplade og kurve 3 for Børma blandingsarmatur.



Figur 53. Støjniveauet som funktion af frekvensen for Børma blandingsarmatur, kurve 1 ved trykket 0,1, kurve 2 ved 0,3 og kurve 3 ved 0,6 MPa.

Støjnormalen giver brugbare resultater

len simpelthen ikke kan substituere ventilen, og hvor der findes et præfabrikeret kobberrørsystem mellem stigrør og ventil, således at fastgørelse af støjnormalen på stigledningen ikke kan ske uden specielle afløbsforanstaltninger. Det er valgt at måle dels med støjnormal, dels med en medbragt ventil monteret succesivt på samme sted i installationen. Derved kan der på grund af montagen fremkomme indbyrdes forskelle mellem støjniveauerne fra den til installationen hørende ventil, den medbragte afprøvningsventil og støjnormalen, som ikke afspejler de indbyrdes forskelle, der kunne forventes på grundlag af måleresultaterne fra laboratoriet. Da det i praksis kun vil være muligt at undersøge forholdene med støjnormalen i én position, har det været nødvendigt at afprøve forholdene i en bygning ved flere positioner af støjnormalen. Disse undersøgelser viste, at der stort set blev opnået ens resultater i enslyggende rum uanset støjnormalens placering. I figur 54 er vist en skematisk opstilling af differenserne mellem støjniveauerne fra støjnormalen og henholdsvis den medbragte Børma ventil og den i bygningen på afprøvningsstedet siddende ventil. Differenserne er målt i de omliggende rum dels på samme etage, dels på etagerne over og under afprøvningsstedet.

| Bygn. | Støjnormal - Børma | | | Støjnormal - ex. ventil | | |
|-------|--------------------|-------|---------------|-------------------------|-------|---------------|
| | Δ mid. | s_1 | Δ max. | Δ mid. | s_2 | Δ max. |
| I | 3.4 | 2.2 | 10 | - 4.9 | 4.1 | 19 |
| II | - 0.6 | 1.9 | 5 | - | - | 1 |
| III | 4.4 | 6.0 | 16 | 1.0 | 5.3 | 14 |
| IV | - | - | 2 | - | - | 1 |
| V | 2.2 | 2.3 | 11 | 2.5 | 2.2 | 11 |
| VI | 9.0 | 4.8 | 16 | 8.7 | 4.3 | 15 |
| VII | 1.7 | 2.0 | 10 | 8.7 | 1.9 | 10 |
| VIII | 6.4 | 2.2 | 8 | 3.8 | 3.6 | 15 |
| IX | 9.8 | 2.9 | 12 | - | - | - |
| X | - 1.3 | 1.7 | 5 | 15.1 | 5.8 | 19 |
| XI | 8.1 | 1.5 | 5 | 7.9 | 2.5 | 11 |

Figur 54. Skemaet viser middeldifferenserne mellem støjnormalen og den medbragte Børma ventil samt mellem støjnormalen og den i bygningen monterede ventil, kolonnerne 1 og 4. I skemaet er desuden angivet de tilhørende standardafvigelser, maksimal spredning, samt det målte vandtryk.

Variationen er ret beskeden, men i rum med vægfælleskab til det baderum, hvor støjnormalen var monteret forekom enkelte differenser, som forøger standardafvigelsen. De for støjnormalen og Børma ventilen fundne differenser stemmer ikke særlig godt overens med de på grundlag af laboratoriemålingerne forventede resultater. Det kan skyldes, at i praksis vil tryktabet over ventilen være mindre end over støjnormalen, og en korrekt måling af tryktabene er ikke umiddelbart muligt. Den i figur 30 viste afhængighed er ikke konstateret i de her udførte forsøg. I figur 55 er det forsøgt at vise, hvorledes støjniveauerne under forskellige driftsbetingelser afhænger af afstanden fra rummet med støjkilden, både i vertikal og horisontal retning. Rummene a i etagen 0 er senderum. I overliggende og underliggende rum er støjniveauerne meget forskellige i forhold til senderumsniveauerne. Den mindste ændring mellem senderummet og et tilgrænsende rum er 2 dB(A) og den største større

| | a | | | | b | | | | c | | | | d let væg | | | | d tung væg | | | | e | | | | | |
|------|----|----|-----|----|----|----|----|---|----|-----|-----|----|-----------|----|----|----|------------|---|----|----|-----|-----|----|----|--|--------------------------|
| | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | +2 | +1 | 0 | -1 | -2 | +2 | +1 | 0 | -1 | | -2 |
| I | 41 | 49 | 74 | 53 | | | | | | 26 | 32 | 43 | 34 | | | | | | | 23 | 27 | 31 | 31 | | | Støjnormal (kabine) |
| | 22 | 24 | 58 | 32 | | | | | | 27 | 30 | 23 | | | | | | | | 20 | 26 | 21 | | | | Egenstøj |
| | 53 | 53 | 75 | 60 | | | | | | 40 | 36 | 41 | 37 | | | | | | | 27 | 31 | 35 | 33 | | | Anvendt ventil (Børma) |
| II | | 57 | <23 | | | | | | | 23 | <23 | | | | | | | | | 23 | <23 | | | | | Støjnormal (kabine) |
| | | 42 | <23 | | | | | | | 24 | | | | | | | | | | 24 | <23 | | | | | Egenstøj |
| | | 72 | <23 | | | | | | | 24 | <23 | | | | | | | | | 26 | | | | | | |
| III | | 60 | 25 | 20 | | | | | | <20 | | | | | | | | | | 46 | 23 | <20 | | | | Støjnormal (kabine) |
| | | 48 | 27 | 25 | | | | | | <20 | | | | | | | | | | 20 | | | | | | Egenstøj |
| | | | | | | | | | | <20 | | | | | | | | | | 37 | 25 | 25 | | | | Anvendt ventil (Vola) |
| IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 42 | 30 | | | | | Støjnormal (kabine) |
| | | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 41 | 28 | | | | | |
| V | | 44 | 72 | 43 | | | | | | 31 | 35 | 32 | 28 | | | | | | | 35 | 50 | 37 | | | | Støjnormal (skakt) |
| | | 36 | 33 | 33 | | | | | | 23 | | | | | | | | | | 34 | 24 | 24 | | | | Egenstøj |
| | | 44 | - | 43 | | | | | | 29 | 31 | 29 | 27 | | | | | | | 44 | 34 | | | | | Anvendt ventil (Frese) |
| VI | | 51 | 65 | | | | | | | 38 | 47 | 43 | | | | | | | | 47 | 51 | 49 | | | | Støjnormal (rørniche) |
| | | 32 | 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | 34 | 43 | 33 | | | | Egenstøj |
| | | 34 | 72 | | | | | | | 31 | 34 | 32 | | | | | | | | 32 | 50 | 32 | | | | Anvendt ventil (Børma) |
| VII | | 60 | 66 | 76 | 62 | | | | | 46 | 49 | 59 | 50 | | | | | | | 49 | 50 | 58 | 49 | | | Støjnormal (skakt) |
| | | 40 | 51 | 65 | 47 | | | | | 27 | 32 | 39 | 35 | | | | | | | 30 | 33 | 38 | 35 | | | Egenstøj |
| | | 54 | 55 | 78 | 53 | | | | | 37 | 38 | 48 | 41 | | | | | | | 38 | 36 | 48 | 41 | | | Anvendt ventil (Børma) |
| VIII | | 51 | 52 | 72 | 52 | 51 | | | | 35 | 39 | 38 | 37 | | | | | | | 36 | 40 | 44 | 43 | 40 | | Støjnormal (skakt) |
| | | 38 | 38 | - | 44 | 38 | | | | 27 | 29 | 29 | 29 | | | | | | | 32 | - | 34 | 32 | | | Egenstøj |
| | | 41 | 44 | 77 | 45 | 42 | | | | 30 | 34 | 30 | | | | | | | | 31 | 36 | 47 | 37 | 34 | | Anvendt ventil (Smiedel) |
| IX | | | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | 47 | 38 | | | | | Støjnormal (skakt) |
| | | | 46 | | | | | | | 32 | | | | | | | | | | 29 | | | | | | Egenstøj |
| | | | 72 | | | | | | | 42 | 35 | | | | | | | | | 36 | | | | | | Anvendt ventil (Grohe) |
| X | | 66 | 73 | 71 | | | | | | 50 | 54 | 55 | | | | | | | | 48 | 48 | 47 | | | | Støjnormal (synlig) |
| | | 43 | 64 | 47 | | | | | | 30 | 37 | 32 | | | | | | | | 54 | 58 | 57 | | | | Egenstøj |
| | | | | | | | | | | 45 | 48 | 47 | | | | | | | | 33 | 35 | 32 | | | | Anvendt ventil (Venlo) |
| XI | | 58 | - | 59 | | | | | | 48 | 54 | 50 | | | | | | | | 54 | 60 | 56 | | | | Støjnormal (synlig) |
| | | 44 | 78 | 47 | | | | | | 40 | 46 | 47 | | | | | | | | 26 | 31 | 30 | | | | Egenstøj |
| | | | | | | | | | | 36 | 40 | 37 | | | | | | | | 42 | 50 | 44 | | | | Anvendt ventil (Leksvik) |

Figur 55. Skematisk opstilling af måleresultater ud fra en tilnærmet rumbelighed. Boligadskillelse findes mellem a og b, a betegner rummet med tapstedet. Skitsen af rummene viser forenklet beliggenhedsforholdet mellem senderummet og modtagerummet. Alle rum i samme etage som senderummet findes under betegnelsen 0. Etagerne over senderum er betegnet + 1 og + 2 medens underliggende etager er betegnet - 1 og - 2. De med kryds mærkede rubrikker betegner, at disse situationer ikke findes.

Montageforskelle

Kabiner - skakte
- traditionel rør-
føring

Egenstøjen

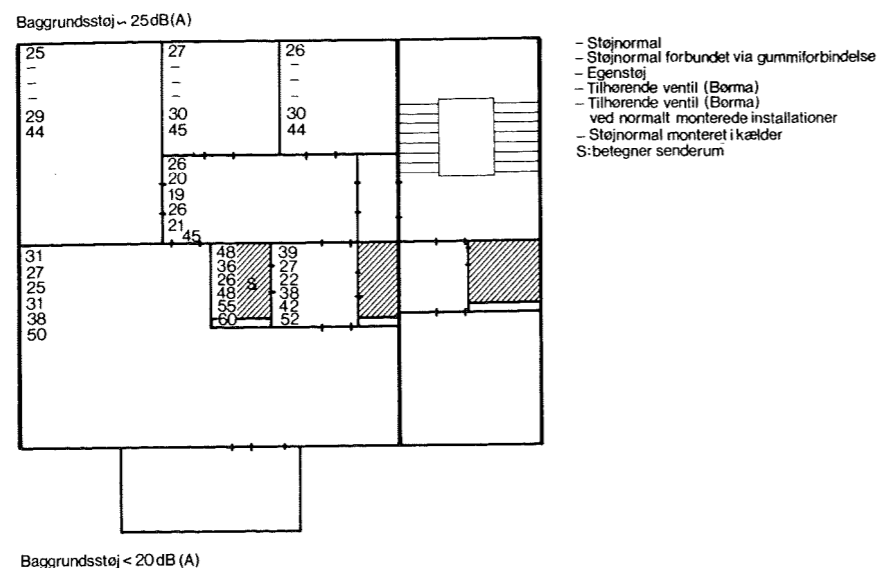
Støj fra ventil
i kælder

end 30 dB(A). Årsagen til den meget store variation skyldes for en væsentlig dels vedkommende forskelle i montagen. I rummene d og e på etagen 0 er niveauerne ofte væsentligt højere end på etagerne ± 1, det skyldes den forholdsvis ringe lydisolations, som i almindelighed findes inden for en bolig. Støjniveauet i rummene nærmest senderummet afviger væsentligt fra det i Tyskland fundne niveau på 45 dB(A), og der er en betydelig forskel på resultaterne i de undersøgte bygninger. De klart bedste situationer forekommer i bygningerne II og III. Desuden giver anvendelse af kabiner som i bygningerne I-IV tydeligt lavere støjniveau end traditionelle opbygninger af baderum. Installationer i skakte kan dog også være bedre end traditionelt og synligt fremførte installationer, jvf. bygning V. Sammenlignes de i figuren viste resultater med afsnittet om måling med støjnormal bemærkes, at selv med ventiler fra den bedste gruppe vil det i flere bygninger være vanskeligt at opfylde de i BR-72 angivne krav til støjniveau. Resultaterne viser også, at egenstøjen i nogle bygninger er højere end 30 dB(A). Egenstøjen er støjniveauet i rørsystemet, når en vandstrøm svarende til den maksimale vandstrøm i ventilen ledes ud af rørsystemet på ventilens plads, uden at støjen herfra influerer på det målte støjniveau. Generelt kan det siges, at en fælles fejl ved installationer er, at lydtransmissionen gennem stigledningerne er for stor, og at transmissionsmulighederne fra rørsystem til bygning er for mange og for gode. En undersøgelse af dette forhold er sket i bygning I. Resultaterne heraf viser, at støj frembragt af en ventil placeret på en vandret forsyningsledning i en kælder forplanter sig uden væsentlig dæmpning via stigledningerne til boligerne. For at undgå dette skal rørsystemerne afbrydes akustisk, d.v.s. forsynes med kompensatorer, der formindsker lydtransmission i ledningsnettet således, at adskillelsen mellem de enkelte separerede rørstrækninger og bygningen gøres effektiv. Resultater fra undersøgelser af støjfrembringelse ved indløb i og udløb fra kar findes angivet under bygning V.

Bygning I

Undersøgelserne af støj fra de monterede ventiler er

udført i flere bygninger. Det var imidlertid ikke muligt at montere støjnormalen uden væsentlige indgreb i installationen. Derfor blev det undersøgt, hvilken betydning stigledningerne havde på det resulterende niveau, idet der i de undersøgte boliger var to stigledninger. Den ene forsyner baderum og den anden toiletrum med afgreninger til køkkenvask. I kælderen blev i den horisontale forsyningsledning indsat en afgrening til montage af ventiler. Det viste sig, ved tapning af vand fra ventiler i kælderen, at støjniveauet i boligerne var fra 8 til 15 dB(A) højere end ved anvendelse af en ventil i et baderum, og at støjniveauet i det kombinerede køkken/opholdsrum i betydeligt omfang blev transmitteret via rørforbindelsen til køkkenvask. Dette var også tilfældet ved tapning af vand i baderummet. Indvirkningen fra de enkelte afgreninger til køkkenvask var ydermere forskellig, og støjniveauet kunne ændres ved ydre kraftpåvirkning af afgreningen. Alle afgreninger blev derfor demonteret fra stigledningen for koldt vand. Dette medførte en sænkning af støjniveauet i køkken/opholdsrummet på ca. 5 dB(A), når der blev tappet vand i baderummet. For at kunne anvende støjnormalen blev der foretaget indgreb i installationen, et præfa-



Figur 56. Skitse af boligplanen i bygning I. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser. En streg betyder, at resultatet er maskeret af baggrundsstøjniveauet, som er højere på længdeskillevæggens ene side end på den anden. S angiver senderens placering, mens skraverede arealer angiver bade-/toiletrum. Figur 56-64.

brikeret rørsystem i en kabine. På grund af de forskellige indgreb i installationerne svarer resultaterne fra brug af støjnormalen ikke til bygningen, som den er udført. I figur 56 vises en skitse af boligplanen med angivne niveauer for de enkelte rum. De angivne tal er middelværdier af resultaterne i over- og underliggende boliger. Årsagen til, at baggrundsstøjniveauet er højere i rummene mod den ene facade end mod den anden er støj fra en nærliggende hovedtrafikåre.

Støjniveauet kan sænkes til egenstøjniveauet

Resultaterne viser, at støjniveauet kan sænkes, og at der ved anvendelse af elastiske forbindelser kan opnås resultater, som kun afviger få dB(A) fra anlæggets egenstøj.

I en begrænset del af byggeriet er anvendt traditionelt opstillede lecabetonplader, som vægge i bade- og toiletrum. En sammenligning mellem måleresultater fra to byggeafsnit med henholdsvis kabiner og traditionelle baderum med vægge af lecabeton viser, at der i rummene, som grænser op til væggene med stigledningerne, opnås samme resultater enten støjnormalen monteres i kælder eller ved køkkenvask. I rummene på den anden side af længdeskillevæggen er støjniveauet i afsnittet med leca-vægge højere end i afsnittet med kabiner, hvilket viser, at den adskillende væg mellem stigledning og bolig har for ringe lydisolations. Foretages sammenligningen i de to byggeafsnit mellem ventilerne i baderum viser det sig, at støjniveauet i afsnittet med lecabetonvægge er fra 6 til 10 dB(A) højere end i afsnittet med kabiner. Målinger af vibrationsniveauet på dækpladernes underside viser, at dette er højere i afsnittet med lecabetonpladevægge end i afsnittet med kabiner, hvilket forklarer de højere støjniveauer i rummene på den anden side af længdeskillevæggen.

Kabiner contra normale letbetonvægge

Bygning II

De målte støjniveauer i dette byggeri hører til de laveste i samtlige undersøgte byggerier. Støjniveauet ligger i boligen under 25 dB(A), bortset fra et naborum til senderummet. Baggrundsstøjniveauet er mindre end 20 dB(A). De med ventil målte støjniveauer overstiger ikke anlæggets egenstøj. Dette kan dog skyldes, at forskellen mellem det frembragte støjniveau og bag-

Lavt støjniveau =
dårlige målebetingelser

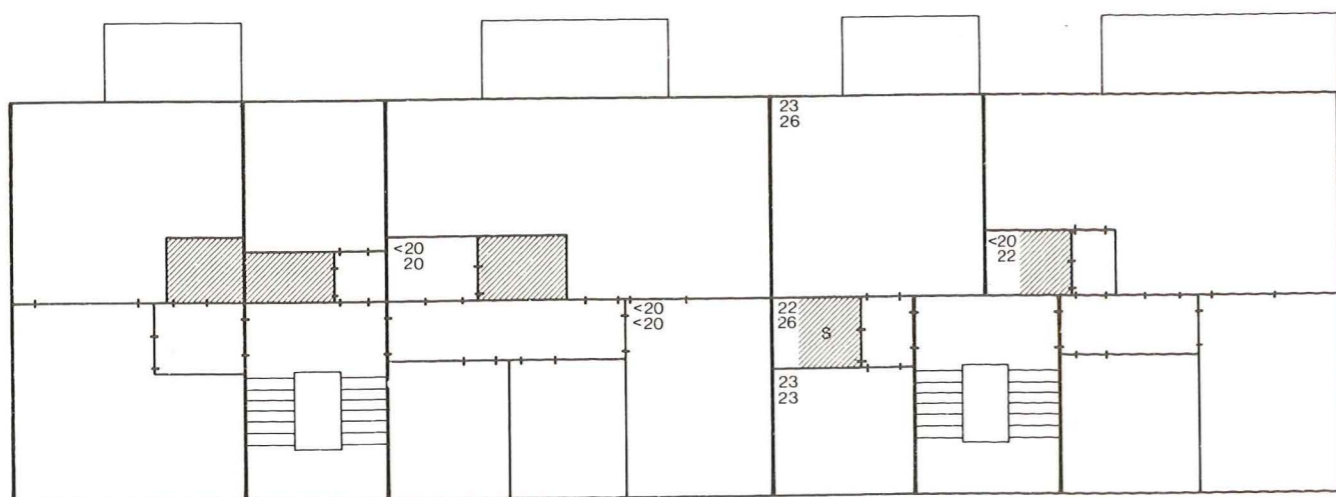
grundsstøjniveauet er meget lille. I almindelighed må det konstateres, at med støjmæssigt gode installationer bliver målebetingelserne dårlige.

Bygning III

Måleresultaterne fra denne bygning er væsentlig lavere end i bygning I, som udførelsesteknisk både med hensyn til konstruktioner og installationer ligger meget nær bygning III. Der er imidlertid en væsentlig forskel på vandtrykkene i de to bygninger, som ifølge laboratoriemålingerne kan forventes at give en forskel i støjniveau på ca. 6 dB(A). Selv med denne stigning i støjniveauet ville resultaterne i denne bygning kunne betegnes som gode i relation til kravene i BR-72.

De tilsyneladende ret få resultater er en følge af de dårlige målebetingelser som følger med lave støjniveauer.

I figur 57 er angivet middelværdien af støjniveauet målt i de enkelte rum. I senderummet dog kun middelværdi af resultater fra over- og underliggende rum.



- Støjnormal
- Tilhørende ventil (Vola)
Egenstøj < 20dB
S: betegner senderum

Figur 57. Skitse af boligplanen i bygning III. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser. Baggrundsstøjniveauet var ca. 20 dB(A).

Bygning IV

Resultaterne fra denne bygning er så få, at en nærmere bedømmelse af bygningen ikke er mulig. Årsagen til de meget få resultater er først og fremmest et højt støjniveau fra trafik i to nærliggende hovedgader, og der-

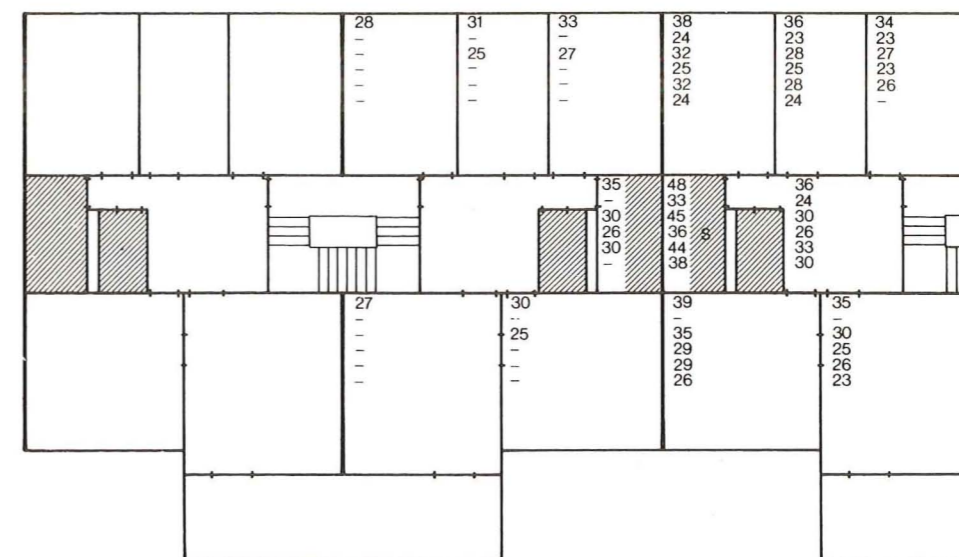
Trafikstøj påvirker målebetingelser

næst bygningens relativt gode isolation mod udbredelse af bygningslyd.

Bygning V

I denne bygning er undersøgt, om montering af støjnормalen i ensliggende boliger i flere ens boligblokke fører til forskellige resultater. Variationer i målte niveauer er relativt beskedne med indbyrdes middelforskelle på 3,8 dB, beregnet over tre ensliggende rum ved 6 monteringer i forskellige blokke. I dette byggeri er der, bortset fra bygningerne med kabiner, målt de laveste støjniveauer. I figur 58 er angivet middelværdien af støjniveauer målt i de enkelte rum.

- Støjnormal
- Egenstøj
- Tilhørende ventil (Frese) ved fyldning af kar
- Ved dæmpning af vandstråle
- Ved fyldning af kar med vand fra nabostigeledning
- Udlob fra kar (Aflobstøj)
S: betegner senderum



Figur 58. Skitse af boligplanen i bygning V. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser. En strek betyder, at resultatet er maskeret af baggrundsstøjniveauet, som lidt varieret ligger fra 22-25 dB(A).

I senderumssiden er dog kun angivet middelværdien af resultaterne fra oven- og underliggende rum. Driftsbetingelserne er udover anvendelse af støjnормalen også udløb fra rørsystemet via støjssvag forbindelse, d.v.s. en ventil monteret på en lang gummislange. Resultatet betegnes som anlæggets egenstøj. Desuden er undersøgt den til bygningen hørende ventil, Frese, ved normal fyldning af badekar og med støjen fra fyldningen dæmpet ved hjælp af en mineraluldsmatte under vandstrålen. Med en ventil fastholdt i en position svarende til den normale

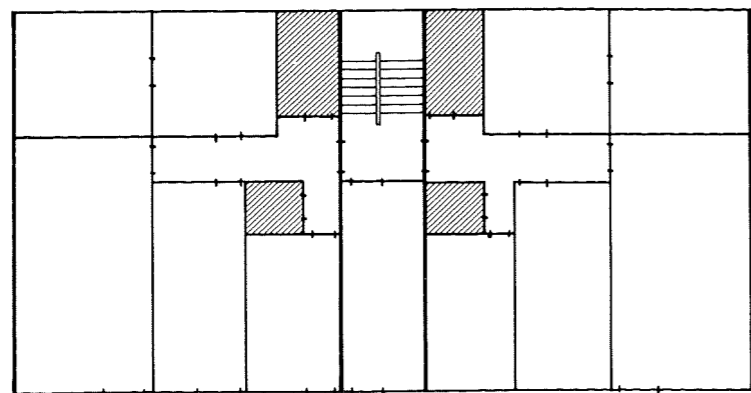
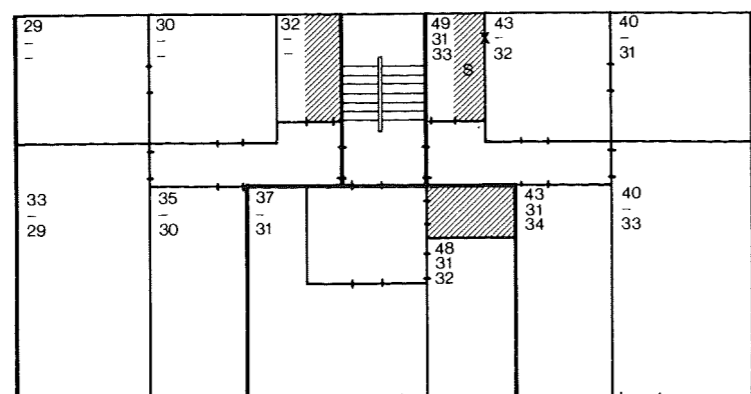
Måling af egenstøj

Dæmpet udløb i kar

montering blev ventilen forsynet via en gummislange fra stigstrengen i naboboligen. Endelig blev karret fyldt med vand, og udløbsstøjen fra karret blev målt. Resultaterne viser, at egenstøjen bortset fra baderum ved stigledningen ligger under 25 dB(A), og at stort set samme resultat opnås ved afløb fra kar. Støjniveauet i baderummene er dog noget højere for afløbsstøj end for egenstøj. Dette gælder også i et enkelt rum, nemlig i den underliggende entré. Ved at lade vandet løbe støjsvagt ud i karret opnås stort set samme resultater. Vandets udløb i karret er en væsentlig årsag til frembringelse af støj. Det fremgår af resultaterne, at selv om der anvendes en mindre støjfrembringende ventil, så forudsætter en nedsættelse af støjniveauet, at der samtidig sker en mere støjsvag fyldning af karret. Herved kan det iøvrigt forholdsvis lave støjniveau sænkes 3 til 4 dB(A).

Afløbsstøj contra egenstøj

Støjsvag ventil forudsætter støjsvag fyldning



Figur 59. Skitse af boligplanen i bygning VI. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser. En streg betyder, at resultatet er maskeret af baggrundsstøjniveauet, som ligger fra 27-30 dB(A).

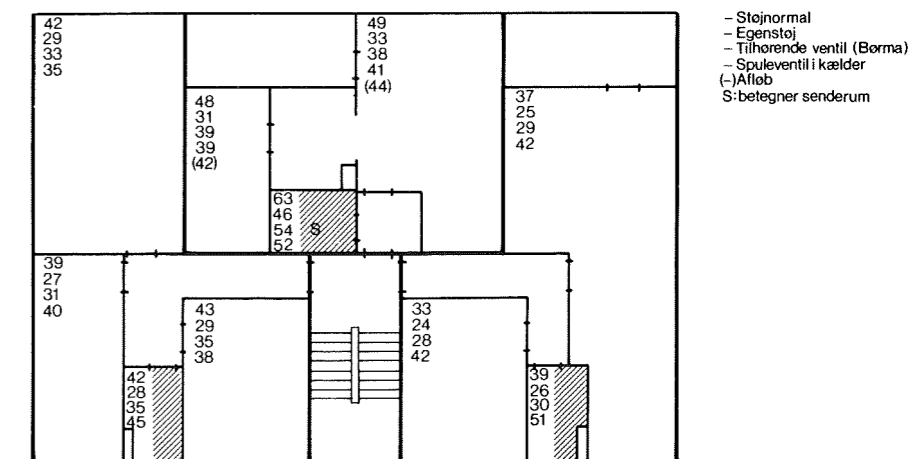
Bygning VI

Denne bygnings beliggenhed, relativt tæt på to motorveje, medfører et ret ensartet støjniveau på omkring 30 dB(A) i boligerne, dog således at det i kortere perioder kan være indtil 3 dB lavere. I figur 59 er angivet middelværdien af støjniveauerne målt i de enkelte rum, dog således, at rum beliggende i den bolig, hvori støjekilden er placeret ikke medregnet. Resultaterne viser, at der kun er ringe forskel mellem installationens eget støjniveau og støjniveau fra ventiler, og at installationens eget støjniveau i boligerne omkring stigledningen er temmelig højt. I denne bygning må det antages, at en planlægning og udførelse af installationerne med skyldig hensyntagen til lydtransmissionsproblemerne vil kunne sænke anlæggets egenstøjniveau adskillige dB.

Bygning VII

Bygningen er beliggende i et område med relativt lavt baggrundsstøj som på måletidspunktet var 24-27 dB(A) i boligerne. I figur 60 er angivet middelværdien af støjniveauerne målt i de enkelte rum, dog således at resultater fra rum i boligen, hvori målingerne udføres, ikke er medregnet. Resultaterne viser, at installationernes egenstøj er relativt høj, og at støjniveauet frembragt ved brug af en spuleventil i kælderen er højere end ved brug af de i bygningen monterede tapventiler. Støjniveauet fra spuleventilen forøger i

Spuleventil i kælder

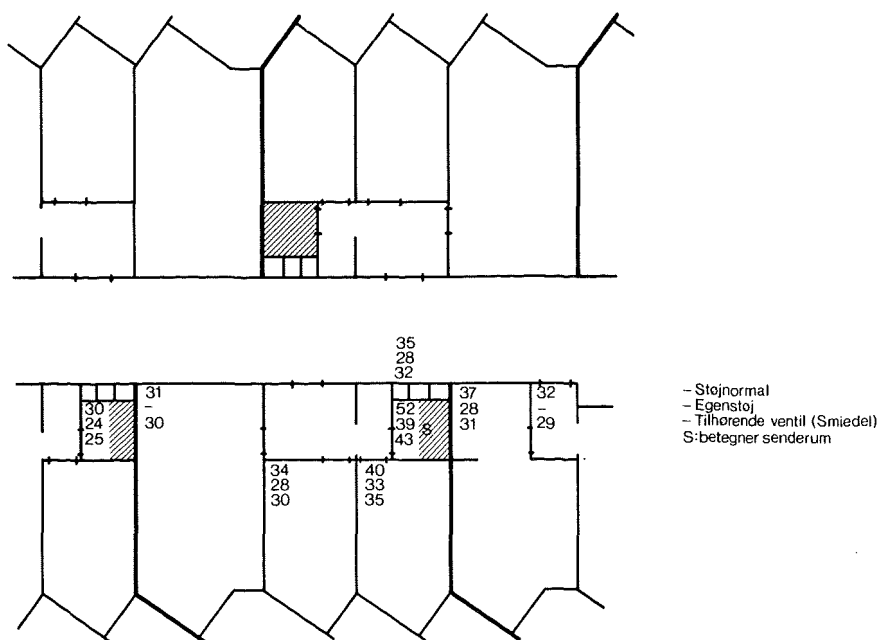


Figur 60. Skitse af boligplanen i bygning VII. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser.

særlig grad støjniveauet omkring stigledninger. Subjektivt bedømt virker denne transmission gennem stigledningerne meget tydelig, ikke blot ved brug af spuleventilen, men også ved brug af boligens tapventil, hvor transmission fra tapventilen skal gennem egen stigledning, via horisontal forsyningsledning til nabostigledningerne. Også afløbsstøjniveauet er temmelig højt i denne bygning. Der er ikke tvivl om, at støjniveauet kan sænkes væsentligt, men det forudsætter samtidig løsning af tilløbs- og afløbsproblemerne.

Bygning VIII

Bygningen er beliggende i et byområde med ret varierende støjniveau. Ved bygningerne var støjniveauet bestemt af en nærliggende fabriksvirksomhed, hvilket medførte, at målingerne kun kunne udføres i bygningens ene side. I figur 61 er angivet middelværdien af støjniveauerne målt i de enkelte rum, dog således at resultater fra rum i boligen, hvori målingerne udføres, ikke medregnes. Egenstøjen fra installationen er forholdsvis høj. Det må antages, at støjniveauet i denne bygning kun kan sænkes ved en lydteknisk forbedring af forsyningsledningerne.

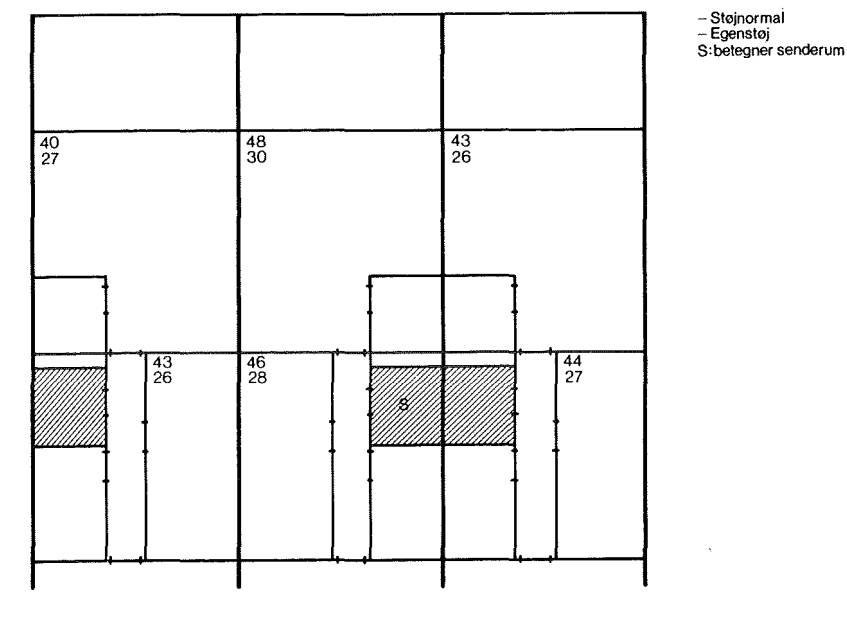


Figur 61. Skitse af den ene side af boligplanen i bygning VIII. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser.

Lav baggrundsstøj kræver støjsvage installationer

Bygning IX

Bygningen er beliggende i et område med et lavt støjniveau, som på måletidspunktet var mindre end 25 dB(A). I figur 62 er angivet resultaterne fra bygningen. Undersøgelsen viser, at støjniveauet fra støjnormalen er ret højt, og at installationens egenstøjniveau stort set svarer til bygningerne VI og VII.



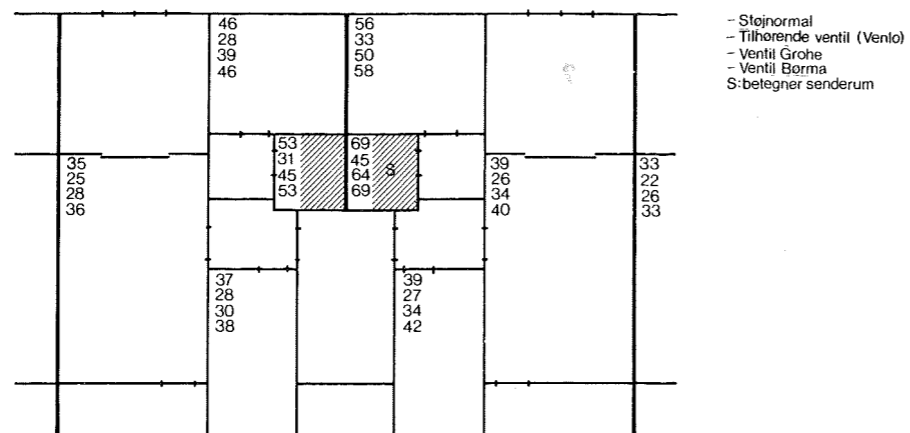
Figur 62. Skitse af boligplanen i bygning IX. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser.

Bygning X

Bygningen er beliggende i et relativt tæt bebygget byområde ikke langt fra en motorvej. Ikke desto mindre er støjniveauet forholdsvis lavt, på måletidspunktet var det 20-22 dB(A). I denne bygning er installationernes egenstøj ikke målt, derimod er støjniveauet målt for støjnormalen og tre forskellige ventiler. Resultaterne er angivet i figur 63. Der er en væsentlig forskel mellem niveauerne for de tre ventiler. Betragtes vandstrømmene i de tre ventiler ud fra den antagelse, at trykket er konstant, hvilket dog næppe er korrekt, viser en beregning baseret på, at støjniveauet vokser ca. 6 dB ved fordobling af vandmængden, at der ikke er nogen særlig forskel på de tre ventilers støjegenskaber. De to af ventilerne er blot uegnet til brug i netop denne bygning, fordi de giver for stor vandmængde. Re-

Valg af egnede armaturer

sultaterne viser værdien af at vælge ventiler, som under de givne trykforhold giver den ønskede vandmængde under frembringelse af et lavt støjniveau.

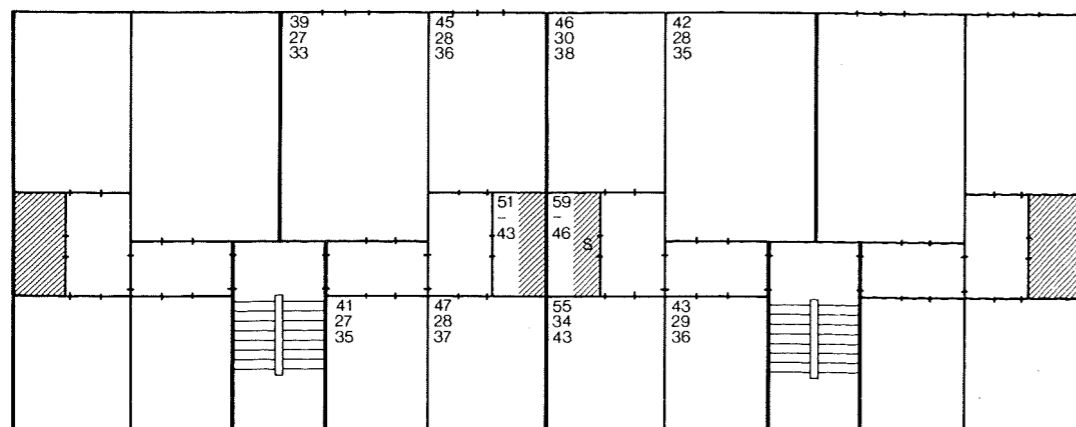


Figur 63. Skitse af boligplanen i bygning X. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser.

Bygning XI

Bygningen er beliggende i et område med et forholdsvis lavt baggrundsstøjniveau. På måletidspunktet var det ca. 25 dB(A). I figur 64 er angivet middelværdien af støjniveauerne målt i de enkelte rum. Resultater fra rum i boligen, hvori målingerne udføres er ikke medregnet. Resultaterne viser, at installationernes egenstøj er relativt høj, og at støjniveauet fra støjnormalen er meget højt i rummene, som afgrænses af tværskilleveggen. De her skitserede resultater er utvivlsomt typiske for bygninger med traditionelt udførte baderum.

- Støjnormal
 - Egenstøj
 - Tilhørende ventil (Leksvik)
 S: betegner senderum



Figur 64. Skitse af boligplanen i bygning XI. De angivne tal er støjniveauernes størrelse i dB(A) ved forskellige driftsbetingelser. En streg betyder, at niveauet ikke er målt.

Konklusion

Undersøgelsen viser, at med kabiner opnås i reglen lavere støjniveauer end uden, men ikke kun tilfredsstillende støjniveauer. Tilsvarende kan siges om anvendelse af installationsskakte. Traditionelle udførelser af baderum og installationer er i praksis ikke tilfredsstillende.

Anvendelse af støjnormalen afspejler på rimelig vis forskelle, som de forekommer mellem normale ventiler, og støjnormalen kan derfor anvendes til vurdering af installationens lydtekniske kvalitet. Undersøgelsen viser også, at det er muligt at sænke støjniveauet fra installationer i de fleste bygninger, men den viser ikke resultater fra eksperimenter med installationsudførelser, der kan føre til anvisning af, hvilke ændringer der er nødvendige i kendte installationsudførelser for med disse at opnå tilfredsstillende lydforhold i den færdige bygning. Undersøgelsen belyser en række forhold vedrørende installationer, som har betydning for det frembragte støjniveau uden dog at belyse virkningen gennem forsøg i praksis. Undersøgelsen peger derfor frem mod en ny undersøgelse, som skal belyse forskellige lyddæmpende foranstaltningers virkning på installationer. Denne praktiske fase må nødvendigvis ske i samarbejde med bygherrer, som bygger flere ens bygninger, hvori installationer kan planlægges ud fra akustiske hensyn og på en måde, som tillader adskillelse af de forskellige faktorerens indvirkning på det resulterende støjniveau og en bedømmelse af deres installations- og bygningstekniske anvendelighed. Først efter disse undersøgelser, vil anvisninger for udførelse af installationssystemer med specificerede støjforhold kunne gives. Den afsluttende undersøgelse må derfor ske ved samarbejde mellem lydteknikere, installationsteknikere og nogle bygherrer, der bygger flere ens bygninger, som giver basis for planlagt forskning.

Auzou, S. Le bruit des équipements les robinets. Cahiers du centre Scientifique et Technique du Bâtiment 1967 No. 85, Cahier 739.

Auzou, S. Le bruit produit par les robinetteries. Cahiers du centre Scientifique et Technique du Bâtiment 1972 No. 126, Cahier 1084.

Bach, M. R. und Gösele, K. Geräuschverhalten von Hähnen und Spülern. Heiz-, Lüft-, Haustechnik 1958, pag. 105.

Bing-Jacobsen, H. Klassificering af sanitæramatur. Norsk VVS 1973, pag. 315.

Bing-Jacobsen, H. Støy fra Sanitærinstallasjoner. Håndbok 30, Norges Byggeforskningsinstitutt.

Boligministeriets godkendelsesudvalg for vand- og afløbsmateriel. Godkendelses- og prøvningsbetingelser for aftapningsarmaturer til brugsvandsanlæg. September 1974.

Brandt, O. och Wahlström, S. Ljud från vatteninstallationer. Svensk VVS 1964, pag. 469.

Bruckmayer, F. und Lang, J. Installationslärm und seine Verminderung. Österreichische Ingenieur-Zeitschrift 1970, pag. 299.

Callaway, D. B., Hardy, H. C. and Tyzzer, F. G. Resonant Vibrations in a Water-Filled Piping System. J.A.S.A., september 1951, pag. 550.

Carstensen, H. R. Über den Einfluss einer Schallweichen Wand auf die turbulente Rohrströmung. Acustica 1967, pag. 1.

Deutsche Normen DIN 52218. Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium. 1972.

Deutsche Normen DIN 52219. Messung von geräuschen der Wasserinstallationen am Bau. 1972.

Dinkelacker, A. und Meseth, J. Körperschallanregung durch Blasenbildung in Wasserdurchströmten Rohren. Acustica 1971, pag. 25.

Dinkelacker, A. Measurements and Observations on Flow Noise in Water-Filled Plastic Tubes. Acustica 1962, pag. 341.

Dinkelacker, A., Meyer, E. und Tamm, K. Flow Noise in Water-filled Tubes. Acustica 1960, pag. 322.

Eisenberg, A. Geräuschuntersuchungen an haustechnischen Anlagen im Bauvorhaben Köln-Stammhelm der Gemeinnützigen AG für Wohnungsbau, Köln. Sanitär- und Heizungstechnik, 1968, pag. 17.

Feurich, H. Armaturengeräuschpegel bei Sanitärarmaturen. Sanitär- und Heizungstechnik 1970, pag. 433.

Ganitta, E. Untersuchungen über die Schalleitung in wassergefüllten Rohren. Akustische Zeitschrift 1940, pag. 87.

Girard, J. Plumbing Noise. Proceedings of Inter Noise 1973, pag. 223.

Girard, J. et Peyrotter, M. Le bruit dans les installations sanitaires. Annales de L'institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics 1968. No 243/244, pag. 567.

Gösele, K. und Bach, M. R. Die Schallausbreitung in Installationsleitungen und ihrer Verminderung. Gesundheits-Ingenieur 1959, pag. 106.

Gösele, K. und Voigtsberger, C. A. Abstrahlung von Installationsgeräuschen in Abhängigkeit von der Ausbildung der Installationswand. Institut für Bauphysik, Stuttgart der Fraunhofer-Gesellschaft. NA 15 nr. 118.

Gösele, K. und Voigtsberger, C. A. Armaturengeräusch und Wege zu ihrer Verminderung. Gesundheits-Ingenieur, 1968, pag. 129.

Gösele, K. und Voigtsberger, C. A. Auf dem Weg zur geräuscharmen Auslaufarmatur. Heiz-, Lüft-, Haustechnik 1970, pag. 2.

Gösele, K. und Voigtsberger, C. A. Grundlagen zur Geräuschminderung bei Wasserauslaufarmatur. Gesundheits-Ingenieur, 1970, pag. 108.

Gösele, K. und Voigtsberger C. A. Zur Messung der Geräuschverhaltens von Armaturen im Laboratorium. Heiz-, Lüft-, Haustechnik 1967, pag. 230.

Hegelmayer, A. und Siepmann, J. Schallschutz bei sanitären Installationen. Lärmbekämpfung 1968, pag.1.

Il'ichev, V. I. and Lesunovskii, V. P. On the Noise Spectra Associated with Hydrodynamic Cavitation. Sovjet Physics-Acoustics July-September 1963, pag. 25.

Ingemansson, S. Metod för bestämning av störkraft och ljudstörning från punktfästade vibrationskällor. VVS 1967, pag. 383.

Ingerslev, F. og Petersen, J. Støj fra vandinstallationer. Ingeniøren nr. 52, 1950.

Jacobi, W. J. Propagation of Sound Waves along Liquid Cylinders. J.A.S.A. March 1949, pag. 120.

Jørgensen, K. Støy i rørinstallasjoner. Rørfagskrift 1964.

Knoblauch, O. und Reiher, H. Über die Ausbreitung von Geräuschen in Wasserleitungen. Gesundheits-Ingenieur 1929, pag. 186.

Kristensen, J. Affaldskværne i beboelsesbygninger. Byggeindustrien 1969, pag. 394.

Kristensen, J. Installationsstøj og dens bekæmpelse. Dansk VVS 1966, pag. 142 og 192.

Kristensen J. Lydtransmission gennem et centralvarmesystem. Byggeindustrien 1967, pag. 560.

Kristensen, J. Lydtransmission via ventilationskanaler i boliger. Byggeindustrien 1970, pag. 138.

Kristensen, J. Støj fra blandingsbatterier. Byggeindustrien 1964, pag. 967.

Kristensen, J., Overgaard, J. og Ovesen, K. Støj fra brugsvandinstallationer. Dansk VVS 1968, pag. 560 og 615.

Kristensen, J. og Ovesen, K. Støj fra installationer. SBI-anvisning 79, København 1970.

Kristensen, J. Støj fra opvaskemaskiner i beboelsesejendomme. Byggeindustrien 1971, pag. 38.

Kristensen, J. Støj i kobberrør og stålrør. Dansk VVS 1965, pag. 313.

Kristensen, J. Støj i vandinstallationer. Ingeniøren 1964, pag. 710.

Lidberg, K. Ljudstörningar från avloppsrör. Svensk VVS 1971, pag. 33.

Lindner, J., Reiher, H. und Sippel, K. Verringerung von Geräuschen in Wasserleitungsanlagen. ZVDI 1931, pag. 681.

Lyamshev, L. M. On the Theory of Hydrodynamic Cavitation Noise. Sovjet Physics-Acoustics 1970, pag. 494.

Marseille, M. B. Bruits Transmis dans les Logements pas les Canalisations D'eau et de Chauffage. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Mai 1964 Dix-septieme. Année No 197.

Marseille, M. B. Transmission du bruit le long des Tuyauteries. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Decembre 1962, Quinzieme Année, No 180.

Mengeringhausen, M. Aufgaben des Installationsingenieurs. ZVDI 1931, pag. 557.

Mengeringhausen, M. Geräuschlose Wasserleitungen. Gesundheits-Ingenieur, 1933, pag. 1.

Mengeringhausen, M. Schallschutz bei Hausinstallationen, insbesondere bei Wasserleitungen. Lärmbekämpfung 1965, pag. 33.

Mengeringhausen, M. Strömungsgeräusche in Wasserleitungen und ihre Beseitigung. ZVDI 1931, pag. 357.

Minister der Finanzen Bek. d. Nds. Technische Baubestimmungen. Erg. zu DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - "Armaturen und Geräte der Wasserinstallationen". Niedersächsisches Ministerialblatt 1968, pag. 845.

Neubert, H. Hohe Schallschutzforderungen bei haustechnischen Einzelanlagen und ihre Erfüllbarkeit im Wohnungsbau. Heiz-, Lüft-, Haustechnik 1968, pag. 436.

Olsen, P. Støy i sanitæranlegg. Rørfagskrift 1969.

Reiher, H. Heizung und Schallschutz. Gesundheits-Ingenieur 1927, pag. 699.

Renhäll, P. O. Ljud från tapventiler. Svensk VVS 1971, pag. 56.

Rogers, W. L. Experimental Approaches to the Study of Noise and Noise Transmission in Piping Systems. HPAC July 1953, pag. 139.

Rogers, W. L. Noise and Vibration in Water-Piping System. ASHRAE Journal, March 1959, pag. 83.

Rogers, W. L. Noise Production and Damping in Water-Piping. HPAC January 1956, pag. 181.

Rogers, W. L. Sound-Pressure Level and Frequencies Produced by Flow of Water through Pipe and Fitting. A.S.H.V.E. Research Report No 1513.

Rückward, W. Untersuchung, Prüfung und Bewertung von Geräuschen der Wasserinstallation. Gesundheits-Ingenieur 1970, pag. 141.

Schneider, P. Vergleichende Untersuchungen an Rohrschalldämpfern. Sanitär- und Heizungstechnik 1968, pag. 26.

Schreiber, L. Massnahmen zur Geräuschminderung bei Wasserinstallationen. VDI-Z 1970, pag. 317.

Schultz, K. Gummidichtungen, ein schalldämmendes Bauelement bei Muffenverbindungen der gasseisernen Abflussrohre und Kunststoffrohre für Grundstücksentwässerungsanlagen. Lärmbekämpfung 1962, pag. 32.

Strassberg, M. Gas Bubbles as Sources of Sound in Liquids. J.A.S.A. January 1956, pag. 20.

Swenson, R. L. When and how flexible rubber Connectors can help reduce System Noise Vibration. HPAC, December 1961, pag. 118.

Valko, J. P. Wasserleitungshähne als Gerausquelle. Heiz-, Lüft-, Haustechnik 1950, pag. 113.

Vogelsang, H. Lyddæmpning af rørinstallationer. Dansk VVS 1966, pag. 242.

Westerberg, G. On the sealing of circular holes in a thick concrete wall for the purpose of sound insulation. Applied Acoustics 1971, pag. 115.

Wintergerst, E. Wasserleitungsgeräusche. Gesundheits-Ingenieur 1931, pag. 129.

The present publication reports the results of a study of the literature on the subject and of an investigation made in buildings of fairly recent date.

The aim of the investigation was to study the conditions in dwellings with regard to noise deriving from the operation or use of water installations as well as the reasons for the production of such noise in order to enable the introduction of measure to reduce the noise.

The report comprises three sections as well as conclusion and a list of references.

The first section of the report deals with the results of the literature study. Mention is made of propagation of sound in water columns, sound damping in water and in pipe walls, production of noise in piping, bends, dynamic loss coefficients, and in valves. Mention is also made of means to reduce the sound level, for instance reduction of water pressure and flow as well as elastic suspension of piping and sound damping in pipes. Finally the influence exerted by the disposition of the rooms on the results obtained in the building is considered.

The second section of the report, measurement of noise, deals with the nature of the noise, the measurement of noise by frequency analysis or by measurements in dB(A) as well as problems in connection with measurement of noise in buildings. A description is given of the proposed ISO installation noise standard, and difficulties in connection with measurements of noise in laboratories are dealt with, i.e. for instance experience gained in the working of and measurements with the installation noise standard. The drawbacks arising from the application of noise standards in buildings are pointed out. Mention is

made of noise from washing machines, dishwashers and the influence on sound insulation between dwellings of installations, exemplified by an examination of the sound transmission through leaks around pipes, through central heating equipment, and through pipes and ducts. Noise from equipment for ventilating dwellings, from central heating plants and drainage systems is mentioned briefly.

The third section of the report deals with measurements made in practice with particular emphasis on the installation which produces most noise, i.e. water supply installations. The results of the measurements are considered in relation to the requirements of the building regulations as regards the level of noise from installations.

Measurements have been made in a number of buildings of the noise level deriving either from the valves used or from a noise standard. A subsection describes the buildings from a structural point of view, and another gives the results of the measurements in the individual buildings. In choosing the buildings for the measurements it was endeavoured to include buildings with different types of installations the buildings examined comprise some with installations connected to box units, some with installations carried in ducts and some where the installations are mounted vivibly in the bathrooms.

The investigation shows that the building regulation requirements may on the whole be fulfilled, that with certain dispositions of the rooms a noise level much lower than the one required may be obtained, and that to enable the investigation to result in constructional directions a final phase dealing with installations designed with a view to acoustic conditions still remains to be made.