



Støj og lydisolations

Afprøvning af en forenklet målemetode til bestemmelse af lydisolations
ved akademiingeniør Jørn Kjær

RESUMÉ:

Byggeriets Akustiske Målestation har i flere år udført målinger i råhuse og har konstateret en række mangler, som forholdsvis let og billigt kunne udbedres i byggeriets råhusfase i modsætning til en udbedring i en senere fase af byggeriet. BAM har derfor været interesseret i udviklingen af et simpelt måleudstyr, som kunne anvendes af folk på byggepladsen. Da en tilsvarende interesse var til stede på Lydteknisk Laboratorium, ATV, var det naturligt at optage et samarbejde om en eventuel løsning af opgaven.

I notatet beskrives princippet i en simpel målemetode til bestemmelse af lydisolations. Teorien for målemetoden og det hertil hørende simple måleudstyr er udviklet på Lydteknisk Laboratorium. BAMS opgave bestod i det væsentlige i at afprøve udstyret i praksis ved at foretage målinger på de samme objekter både på normal vis og med det nyudviklede udstyr. Resultaterne af disse målinger er omtalt i notatet.

Afprøvningen af det simple måleudstyr i praksis, dvs. både i indflytningsfærdige boliger og i råhuse, viste, at de intentioner, der lå bag udviklingen af den simple målemetode, nemlig ved anvendelsen af denne at opnå den bedst mulige overensstemmelse med målinger udført efter den standardiserede målemetode og pr. 1/3 oktav, ikke kunne opnås med tilfredsstillende resultat. Årsagen hertil er primært, at bestemmelsen af modtagerummets absorption er behæftet med stor usikkerhed.

Marts 1980

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

113 00397P

15 FEB. 2001

YDERLIGERE OPLYSNINGER KAN FÅS VED HENVENDELSE TIL:

Jørn Kjær

Tlf.: (02) 86 55 33

		1.
INDHOLDSFORTEGNELSE	side	1
FORORD		2
1. INDLEDNING		3
2. TIDLIGERE FORESLÅEDE METODER		5
3. DEN SIMPLE MÅLEMETODES TEORI		6
3.1 Vurderingssystemet til bestemmelse af I_a -værdien		6
3.2 Princippet i den simple målemetode		8
3.3 Simpel måling af I_a -værdien		12
4. ANVENDELSE AF DEN SIMPLE MÅLEMETODE		14
4.1 Første måleserie		14
4.2 Anden måleserie		14
5. KONKLUSION		19
6. LITTERATUR		20

FORORD

Siden udgivelsen af det første bygningsreglement har det vist sig, at måling af lydisolation må indgå som et nødvendigt led i en akustisk projektering. Hvis fejl og mangler i lydforholdene skal begrænses i væsentligt omfang er det derfor nødvendigt med mere forenklet måleudstyr end der i øjeblikket anvendes ved målinger af lydisolation. Hertil kræves et let transportabelt måleudstyr, som samtidigt er let at betjene for en byggetekniker uden væsentlig viden om akustik. Et sådant måleudstyr kan i princippet bestå enten af et teknisk set meget avanceret apparatur, som måler lydisolation efter den standardiserede målemetode eller af et simpelt apparatur, der benyttes i forbindelse med en forenklet målemetode.

Udviklingen af det førstnævnte apparatur falder naturligt inden for området elektronisk måleudstyr, og den udvikling afhænger af teknik og pris, mens udviklingen af en forenklet målemetode er en opgave for akustiske laboratorier. Mellem Lydteknisk Laboratorium, ATV, og Byggeriets Akustiske Målestation, SBI, blev der indgået et samarbejde om afprøvning af en forenklet prøvemetode, som baserede sig på et eksamensresultat på DTH. BAMS andel i opgaven bestod i det store og hele i at afprøve udstyret i praksis. Det vil sige i at foretage målinger på samme objekt både på normal vis og med det nyudviklede udstyr. Da målingerne skulle omfatte en række forskellige konstruktioner og målebetingelser i nær tilknytning til BAMS normale virksomhed, har gennemførelsen af opgaven været afhængig af de rekvirerede undersøgelser.

Byggeriets Akustiske Målestation

Siden der i 1961 i "Bygningsreglement for købstæderne og landet" blev indført bestemmelser for lydisoleringen mellem boliger, er der blevet udført kontrolmålinger af lydisoleringen i en begrænset del af den nye boligmasse. Disse målinger udføres primært af Byggeriets Akustiske Målestation, oprettet i 1968. Målestationen har ved analyse af måleresultaterne kunnet konstatere, at kun i forbindelse med ca. halvdelen af de udførte målinger var lydisoleringen tilstrækkelig til at opfylde reglementets krav.

Samtidig har der ikke kunnet påvises nogen tendens til, at lydisolationsforholdene i nybyggeriet forbedres. En af grundene hertil er utvivlsomt, at måling af lydisoleringen almindeligvis finder sted efter, at byggeriet er færdiggjort, og som oftest kun såfremt den lokale bygningsmyndighed stiller krav herom.

På dette stadi er det imidlertid ofte meget vanskeligt og dyrt at udbedre mangler ved bygningens lydisolering. En simpel målemetode, både hvad angår anvendelse af enkelt måleudstyr og mindst mulig tidsforbrug ved udførelse af orienterende målinger, kunne utvivlsomt være medvirkende til at forbedre lydisolationsforholdene generelt, hvis det blev almindeligt, at lydisoleringen blev kontrolleret under byggeprocessen og ikke først i det færdige byggeri.

I forbindelse med det nye bygningsreglement, BR-77, er kravene til luftlydisoleringen ændret, således at der nu stilles krav til den adskillende bygningsdels tilsyneladende reduktionstal pr. 1/3 oktav fra 100 Hz til 3150 Hz. På grundlag af måleresultaterne pr. 1/3 oktav beregnes I_a -værdien efter den i ISO/R 717 specificerede metode. Kravene til luftlydisoleringen kan derved formuleres på grundlag af et tal.

På denne baggrund er det fristende at forsøge at opstille en alternativ målemetode, der med den bedst mulige tilnærmelse direkte giver information om I_a -værdien.

Det foreliggende notat beskriver princippet i en sådan målemetode, udviklet under krav til begrænset måletid

og enkelt måleudstyr. Vedrørende det teoretiske grundlag for målemetoden henvises til litteratur (1). I notatet omtales endvidere resultaterne af metodens anvendelse ved feltmålinger, udført sideløbende med BAMS rekvirerede målinger.

2. LIGELIGERE FORESLÅEDE METODER

Fra litteraturen kendes en række forslag til simple målemetoder til måling af lydisolations. En summarisk omtale af nogle af disse er givet i (1) i øvrigt henvises til litteraturfortegnelsen (2) - (6).

Sammenfattende kan det siges om ovennævnte metoder, at man med disse søger at karakterisere lydisolationsen ved en enkelt talstørrelse, der bestemmes på grundlag af differensen mellem bredbåndet målte lydtrykniveauer i sende- og modtagerum. Heri ligger en væsentlig tidsbesparelse sammenlignet med målinger udført successivt pr. $1/3$ oktav.

I nogle af forslagene er relationerne mellem den målte differens og anerkendte, karakteriserende værdier (henholdsvis L_a - og SPL -værdien) angivet. I andre forslag foreslås gældende standard ændret, således at kravene til lydisolationsen i stedet stilles til den talværdi, som den pågældende målemetode resulterer i.

Den målte lydtrykniveaudifferens normaliseres med en korrektion, som afhænger af modtagerummets akustiske tilstand. I nogle tilfælde bestemmes korrektionen ved direkte måling. Dette sker i princippet ved at måle lydtrykket hidrørende fra en kendt akustisk effekt. I andre forslag korrigeres skønsomt, eller der anbringes en stor, kendt mængde absorptionsmateriale i modtagerummet.

Som støjsignal anvendes i de foreslåede metoder fortrinsvis lyserødt støj.

Generelt kan det siges om de nævnte forslag, at det simple ved metoderne giver sig udslag i den tidsbesparelse, som opnås ved at måle bredbåndede lydtrykniveauer i stedet for at indføre målingerne successivt pr. $1/3$ oktav. Desuden opnås en økonomisk besparelse, idet metoderne ikke kræver instrumentanskaffelser af samme størrelsesorden, som nødvendigt for at udføre målinger pr. $1/3$ oktav.

3. DEN SIMPLE MÅLEMETODES TEORI

3.1 Vurderingssystemet til bestemmelse af I_a -værdien

I bygningsreglementet, der blev udsendt i 1977, er kravene til luftlydisolation mellem rum stillet som krav til I_a -værdien i overensstemmelse med den internationale standard ISO/R 717. I_a -værdien for luftlydisolation beregnes på grundlag af det tilsyneladende reduktionstal for den adskillende væg eller etageadskillelse målt pr. 1/3 oktav med centerfrekvenser fra 100 Hz til 3150 Hz. Det tilsyneladende reduktionstal er defineret som:

$$R' = L_s - L_m + 10 \log \frac{S}{A} \quad (3.1.1)$$

L_s = lydtrykniveau pr. 1/3 oktav i senderum

L_m = lydtrykniveau pr. 1/3 oktav i modtagerum

S = den fælles skilleflades areal (må ikke regnes mindre end 10 m^2)

A = ækvivalent absorptionsareal i modtagerum

De målte værdier af R' vurderes i forhold til en normkurve, der i det følgende betegnes $r(f)$:

Centerfrekvens	Hz	100	125	160	200	250	315	400	500
$r(f)$	dB	33	36	39	42	45	48	51	52
	Hz	600	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	dB	53	54	55	56	56	56	56	56

I_a -værdien for det tilsyneladende reduktionstal R' bestemmes ved at forskyde normkurven i spring på 1 dB indtil det strengeste af de følgende 2 krav er opfyldt:

- a. summen af afvigelser mod lavere værdier end angivet ved den forskudte normkurve er større end 16 dB, men ikke større end 32 dB:

$$16 \text{ dB} < \Sigma \Delta r_{-} \leq 32 \text{ dB}$$

- b. summen af afvigelser mod lavere værdier end angivet ved den forskudte normkurve er mindre end 32 dB og ingen enkeltafvigelse er større end 8 dB:

$$\Sigma \Delta r_{-} < 32 \text{ dB} \text{ og } \Delta r_{-, \text{max}} \leq 8 \text{ dB}$$

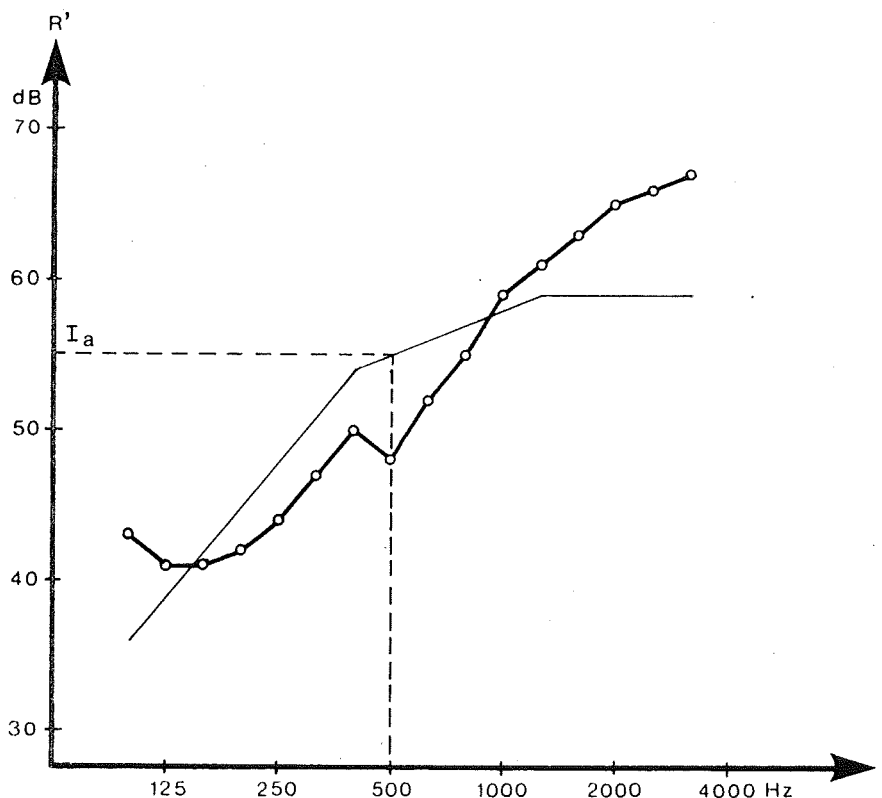
I_a -værdien aflæses som den forskudte normkurves værdi ved 500 Hz.

Metoden illustreres med et eksempel:

Centerfrekvens	Hz	100	125	160	200	250	315	400	500
R' målt	dB	43	41	41	42	44	47	50	48
$r(f)+3$	dB	36	39	42	45	48	51	54	<u>55</u>
$\Delta r(f)$	dB	7	2	-1	-3	-4	-4	-4	-7
	Hz	600	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
	dB	52	55	59	61	63	65	66	67
	dB	56	57	58	59	59	59	59	59
	dB	-4	-2	1	2	4	6	7	8

$$\Sigma \Delta r_{-} = 29 \text{ dB.}$$

Den forskudte normkurves værdi ved 500 Hz er 55 dB svarende til $I_a = 55$ dB. I figur 3.1.1. er metoden illustreret grafisk på grundlag af ovenstående tabel.



Figur 3.1.1. Eksempel på bestemmelse af I_a -værdi.

Dette vurderingssystem er benyttet som udgangspunkt ved udarbejdelsen af det følgende afsnit, hvor den

simple målemetode gennemgås.

3.2 Princippet i den simple målemetode

I afsnit 2 blev der omtalt tidligere arbejder, som beskrev forslag til simple målemetoder. Fælles for disse er, at der i senderummet udsendes et bredbåndet støjsignal, og at der på grundlag af forskellen mellem lydtrykniveauerne i sende- og modtagerum bestemmes en tilnærmelse til fx I_a -værdien.

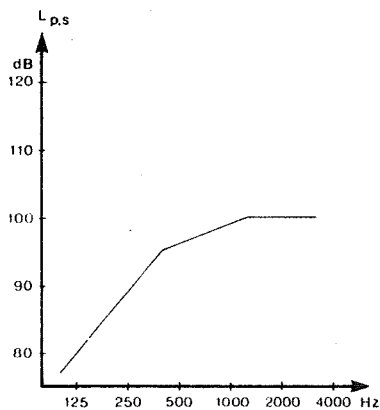
Metoden, der beskrives her, bygger på samme fremgangsmåde, men herudover inddrages to aspekter, der ikke tidligere er taget i betragtning. Støjsignalet's effektfordeling bestemmes på grundlag af forløbet af den i ISO/R 717 angivne normkurve og af et eventuelt systematisk forløb af efterklangstiden som funktion af frekvensen i den rumkategori, hvor den simple målemetode tænkes anvendt.

Hermed opnås bedst mulig korrelation mellem den simple måling og målingen pr. 1/3 oktav.

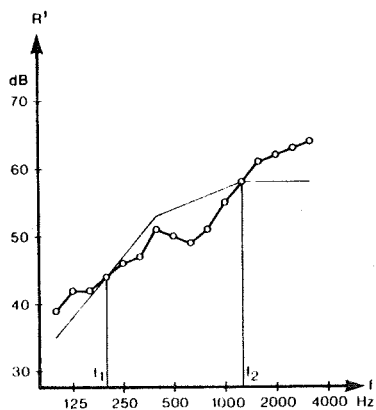
Princippet i målemetoden skal her forklares ved nogle eksempler.

Eksempel 1.

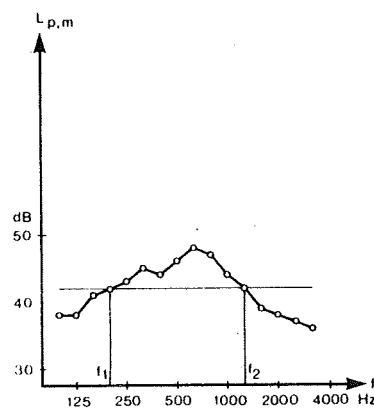
Efterklangstiden i sende- og modtagerum antages frekvensuafhængig. I senderummet udsendes et støjsignal, der skaber et lydtrykniveau, som pr. 1/3 oktav varierer ligesom normkurven i ISO/R 717.



Figur 3.2.1. Lydtrykniveau i senderum



Figur 3.2.2. Tilsyneladende reduktionstal

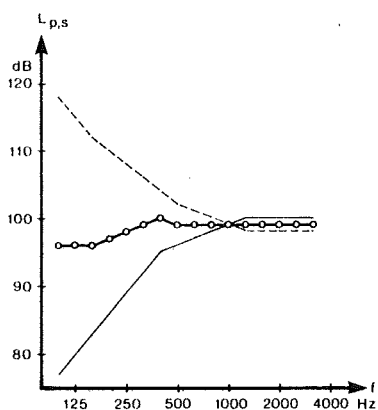


Figur 3.2.3. Lydtrykniveau i modtagerum

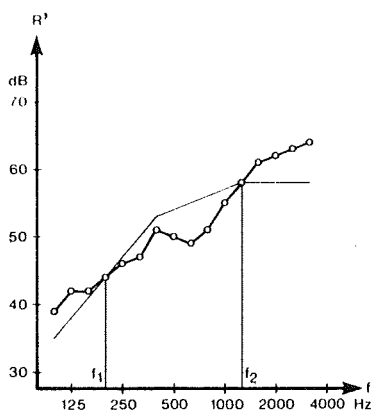
Af figurerne 3.2.1. - 3.2.3. ses, at reduktionstallets negative afvigelser fra normkurven resulterer i højere lydtrykniveau i modtagerummet. En måling af det samlede lydtrykniveau vil derfor primært blive bestemt af de 1/3 oktaver, ved hvilke der er negative afvigelser (i eksemplet frekvensområdet fra f_1 til f_2). En tilsvarende måling af lydtrykniveauet i senderummet vil derimod blive domineret af frekvensområdet fra 1250 Hz til 3150 Hz.

Eksempel 2.

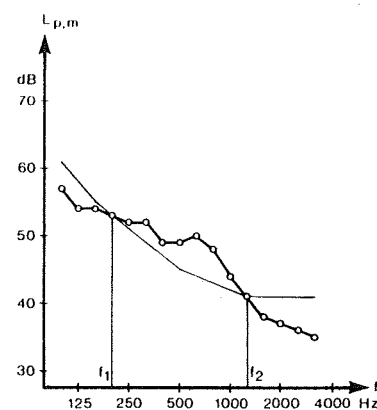
Støjsignalet fra eksempel 1 ændres nu med det formål, at de enkelte 1/3 oktaver skal bidrage mere ligeligt til det samlede lydtrykniveau i senderummet, samtidig med at de 1/3 oktaver, ved hvilke der er negative afvigelser, fortsat dominerer ved bestemmelse af lydtrykniveauet i modtagerummet. Dette kan opnås ved at udnytte at normkurvens forløb stort set svarer til A-filterkurvens forløb. Den af højttaleren udsendte effekt (svarende til eksempel 1) korrigeres pr. 1/3 oktav med en størrelse, der modsvarer A-filtrets dæmpning i samme 1/3 oktav.



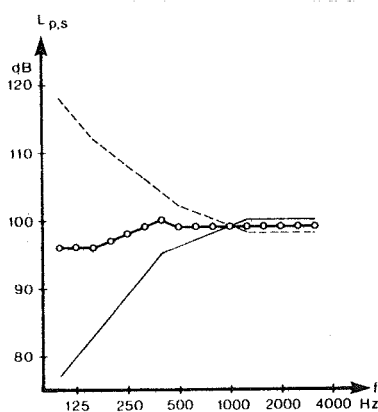
Figur 3.2.4. Lydtrykniveau i senderum



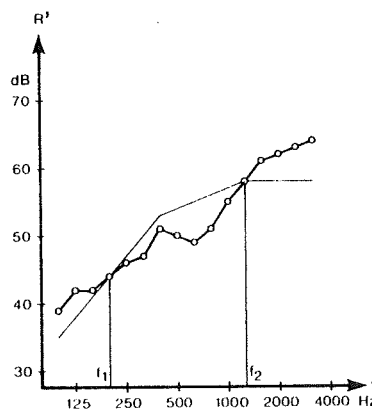
Figur 3.2.5. Tilsyneladende reduktionstal



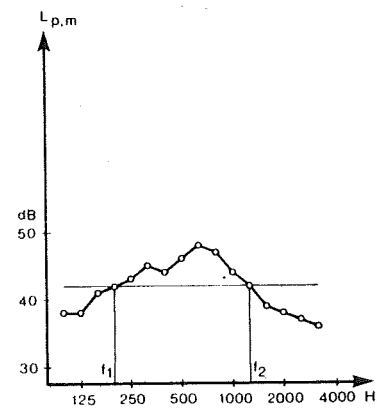
Figur 3.2.6. Lydtrykniveau i modtagerum



Figur 3.2.7. Lydtrykniveau i senderum



Figur 3.2.8. Tilsyneladende reduktionstal



Figur 3.2.9. A-vejjet lydtrykniveau i modtagerum

Af figur 3.2.4. ses, at en måling af det samlede lydtrykniveau i senderummet vil være bestemt af lydtrykket i samtlige 1/3 oktaver. Hvis der ved målingen i modtagerummet indskydes et A-filter, opnås at frekvensområdet med de negative afvigelser fortsat dominerer det samlede lydtrykniveau (se figur 3.2.6. og 3.2.9.).

Endelig medfører ændringen af støjsignalet, at der kan forventes et bedre signal/støjforhold i modtagerummet, hvor baggrundsstøjen som oftest er lavfrekvent.

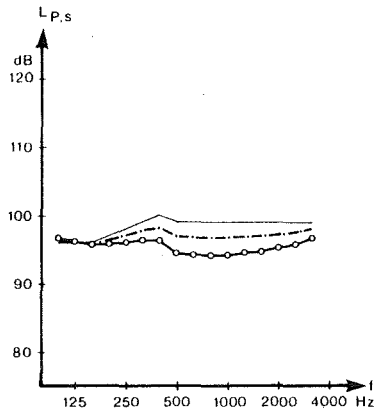
Eksempel 3.

Som nævnt er efterklangstiden indtil videre antaget frekvensuafhængig. Dette betyder, at støjsignalets effektfordeling og lydtrykniveauet i senderummet varierer ensartet som funktion af frekvensen. Målemetoden søges nu forbedret ved at ændre antagelsen om efterklangstidens frekvensuafhængighed. I stedet antages, at efterklangstiden i både sende- og modtagerum varierer systematisk som funktion af frekvensen.

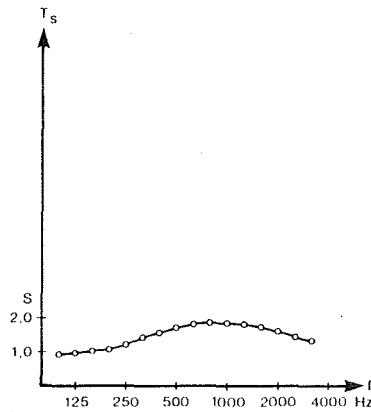
Anvendes samme støjsignal som i eksempel 2, vil lydtrykniveauet i senderummet øges i forhold til eksempel 2 med $+ 10 \log \frac{T_s(f)}{T_o}$ hidrørende fra ændringen i senderummets efterklangstid (T_s betegner senderummets efterklangstid og T_o er den frekvensuafhængige efterklangstid antaget i eksempel 2). Denne lydtrykniveauændring vil også gøre sig gældende i modtagerummet, hvor lydtrykniveauet desuden øges med $+ 10 \log \frac{T_m(f)}{T_o}$ hidrørende fra ændringen i modtagerummets efterklangstid (T_m betegner modtagerummets efterklangstid). Den totale ændring i modtagerummet er således $+ 10 \log \frac{T_s(f)}{T_o} + 10 \log \frac{T_m(f)}{T_o}$. For at opnå at lydtrykniveauet i modtagerummet er uændret svarende til figur 3.2.6. må støjsignalet derfor korrigeres med:

$$- 10 \log \frac{T_s(f)}{T_o} \quad \text{og} \quad - 10 \log \frac{T_m(f)}{T_o}.$$

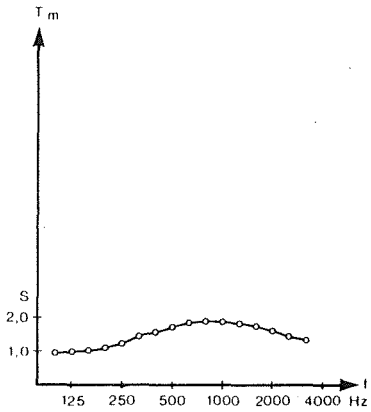
Størrelsen af de værdier for $10 \log \frac{T_s(f)}{T_o} + 10 \log \frac{T_m(f)}{T_o}$, som støjsignalets effektniveau skal korrigeres med, kan bestemmes på grundlag af eksisterende målinger af efterklangstiden i umøblerede opholdsrum i indflytningsklart boligbyggeri. Ud fra 123 målinger af efterklangs-



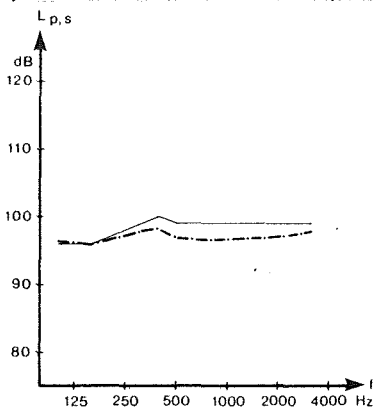
Figur 3.2.10. Udstrålet effektniveau



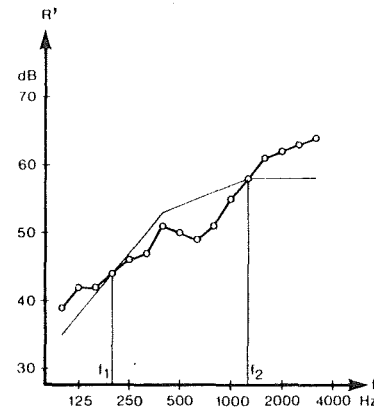
Figur 3.2.11. Efterklangstid i senderum



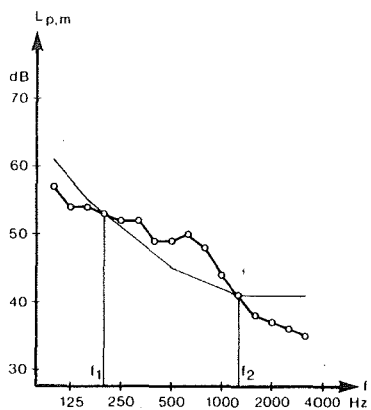
Figur 3.2.12. Efterklangstid i modtagerum



Figur 3.2.13. Lydtrykniveau i senderum



Figur 3.2.14. Tilsyneladende reduktionstal



Figur 3.2.15. Lydtrykniveau i modtagerum

tiden i umøblerede opholdsrum, er der fundet følgende middelværdier af $10 \log T(f)$ (i denne forbindelse ses bort fra størrelsen $-10 \log T_0$, da kun frekvensafhængige størrelser har betydning).

Tabel 3.2.1.

Centerfrekvens
 $10 \log T(f)$

Hz	100	125	160	200	250	315	400	500
dB	-0,4	-0,1	0,1	0,5	0,9	1,3	1,7	2,1
Hz	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3150
dB	2,3	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	1,6	1,2

Ved hjælp af de tre eksempler er princippet i den simple målemetode forklaret. Det benyttede støjsignal tager hensyn til forløbet af den normkurve, der benyttes ved en vurdering efter I_a -systemet, samt til et sandsynligt forløb af efterklangstiden i tomme indflytningsklare rum. I princippet er målemetoden analog til

flere tidligere forslag. Lydtrykniveauet i senderummet bestemmes med et filter indskudt, der ikke dæmper signalet i frekvensområdet 100 Hz til 3150 Hz (C-filter), mens lydtrykniveauet i modtagerummet bestemmes med et A-filter indskudt. Støjsignalet, der anvendes, svarer meget nær til lyserød støj, men er dog, som nævnt ovenfor, modificeret for at opnå bedst mulig overensstemmelse mellem 1/3 oktav målingen og den simple måling. Dette støjsignal benævnes i det følgende ΔL -støj.

3.3 Simpel måling af I_a -værdien

I (1) er det påvist, at der eksisterer en simpel sammenhæng mellem på den ene side I_a -værdien og på den anden side differensen mellem lydtrykniveauerne i sender- og modtagerum målt totalt over det relevante frekvensområde. Efter antagelser om efterklangstiden i sender- og modtagerum, og afvigelseernes størrelse i forhold til den forskudte normkurve, er følgende sammenhæng påvist:

$$\begin{aligned} I_a = & (L_{p,s} (C) - L_{p,m} (A)) \Delta L\text{-støj} & (3.3.1) \\ & + (L_{p,m} (C) - L_{cal,m} (C)) T\text{-støj} \\ & - (L_{p,ref} (C) - L_{cal,ref} (C)) T\text{-støj} \\ & + 10 \log \frac{S}{0,16 V_{ref}} + 0,8 \text{ dB} \end{aligned}$$

hvor

$L_{p,s} (C)$ er det C-vejede lydtrykniveau i senderummet af ΔL -støj,

$L_{p,m} (A)$ er det A-vejede lydtrykniveau i modtagerummet af ΔL -støj,

$L_{p,m} (C)$ er det C-vejede lydtrykniveau i modtagerummet af T-støj,

$L_{p,ref} (C)$ er det C-vejede lydtrykniveau i referencerummet af T-støj,

$L_{cal,m} (C)$ er det C-vejede lydtrykniveau i modtagerummet af T-støj målt i et fikseret punkt tæt foran højttaleren,

$L_{cal,ref} (C)$ er det C-vejede lydtrykniveau i referencerummet af T-støj målt i samme punkt foran højttaleren som $L_{cal,m} (C)$.

Af de i 3.3.1 anførte støjsignaler er ΔL -støjen tidligere omtalt. T-støjsignalet anvendes ved bestemmelse af korrektionen for modtagerummets ækvivalente absorptionsareal A (jvf. (3.1.1.)). T-støjsignalet er således modificeret, at det i et referencerum, indreguleret til den typiske efterklangstid for umøblerede opholdsrum i boliger (jvf. side 11), giver et frekvensuafhængigt lydtrykniveau. Forskellen mellem 2. og 3. led i (3.3.1) er udtryk for forskellen mellem absorptionsmængden i det aktuelle modtagerum og referencerummet.

Til brug ved modifikation af støjsignalerne ΔL -støj og T-støj, og ved måling af referenceniveauerne i forbindelse med bestemmelse af korrektionen for modtagerummets absorption (jvf. 3.1.1.), er der brug for et rum, hvis efterklangstid er indreguleret svarende til den typiske efterklangstid i umøblerede opholdsrum i boliger. Som referencerum er her anvendt rum 011 i bygning 355, Laboratoriet for Akustik, DTH.

I udtrykket (3.3.1.) indgår 6 lydtrykniveauer, men heraf kan de 2 niveauer i referencerummet bestemmes ved en enkelt måleserie, således at der for $L_{p,ref}(C)$ og $L_{cal,ref}(C)$ kan indsættes faste værdier. Bestemmelsen af I_a -værdien ved den simple målemetode reduceres herved til bestemmelse af 4 bredbandede lydtrykniveauer og opmåling af den adskillende bygningsdels areal. I de tilfælde hvor arealet af den adskillende bygningsdel er mindre end 10 m^2 sættes $S = 10 \text{ m}^2$ i overensstemmelse med ISO/R 717.

Måleproceduren bliver herefter: Med højttaleren placeret i senderummet måles det C-vejede lydtrykniveau i senderum og det A-vejede lydtrykniveau i modtagerum; der anvendes ΔL -støj som støjsignal. Højttaleren placeres derefter i modtagerummet, hvor det C-vejede lydtrykniveau af T-støjen måles; til kalibrering af denne måling bestemmes desuden lydtrykniveauet i et fikseret punkt umiddelbart foran højttaleren. Sluttelig bestemmes arealet af den adskillende bygningsdel.

For at opnå bedst mulig overensstemmelse mellem de målte lydtrykniveauer og de størrelser, som teorien forudsætter målt, må følgende praktiske regler overholdes:

Hvis der måles mellem rum på samme etage, placeres højttaleren i et hjørne modsat den adskillende væg og måles en etageadskillelse, vælges det nederste rum til senderum. Højttaleren skal søges anbragt på samme måde som i referencerummet, idet lydtrykniveauet afhænger af højttalerens placering i forhold til rummets begrænsende flader, mens kalibreringsniveauet er uafhængigt heraf. Lydtrykniveauerne måles med en transportabel lydtrykmåler i stilling "slow"; for at sikre repræsentative middellydtrykniveauer, må der midles mellem mindst 3 positioner, der ikke må vælges nærmere end 1 m ved rummets begrænsningsflader, og ikke tæt ved højttaleren.

Disse regler svarer nøje til, hvad der er praksis i forbindelse med den ordinære måling.

4. ANVENDELSE AF DEN SIMPLE MÅLEMETODE

For at undersøge den simple målemetode er der foretaget en række målinger af lydisolation. Alle disse målinger er udført af Byggeriets Akustiske Målestation. Målingerne er udført i 2 serier, dels et mindre antal detaljerede målinger, 2⁴, hvor der er anvendt normal instrumentering, dels et større antal målinger, 5⁴, hvor der er anvendt et "simpelt måleudstyr". Alle målinger er udført sideløbende med BAMs rekvirerede målinger.

4.1 Første måleserie

Bearbejdningen af måleresultaterne fra første måleserie er foretaget af Lydteknisk Laboratorium og beskrevet i (1). Resultatet af denne bearbejdning viste, at standardafvigelsen på den simple måling af I_a -værdien er ca. 3 gange så stor som standardafvigelsen på målinger af I_a -værdien udført pr. 1/3 oktav, nemlig henholdsvis 1,9 dB og 0,6 dB.

Det viste sig endvidere, at standardafvigelsen på den simple måling primært domineres af standardafvigelsen på korrektionen for modtagerummets absorption (1,7 dB).

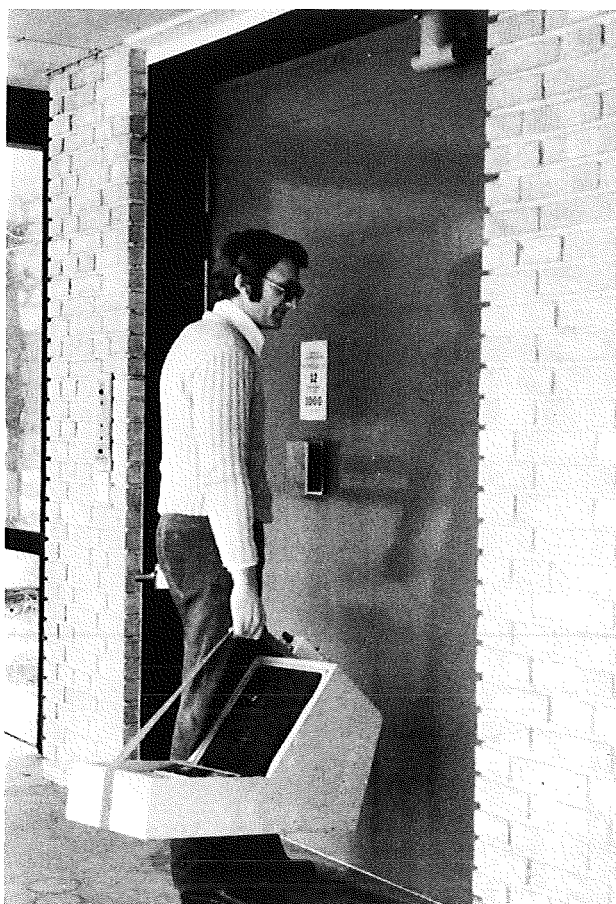
4.2 Anden måleserie

Mens der i første måleserie blev udført et mindre antal målinger med henblik på en detaljeret analyse af

målemetoden, var formålet med anden måleserie at udføre et større antal målinger med et egentligt simpelt måleudstyr, således at det var muligt at få en statistisk viden om, hvilke forskelle der kunne forekomme mellem en simpel måling af I_a -værdien og en bestemmelse af I_a -værdien (I_a (BAM)) på grundlag af en måling udført pr. 1/3 oktav.

Der blev i anden måleserie udført 54 målinger efter den simple målemetode sideløbende med BAMs rekvirerede målinger.

Det anvendte måleudstyr blev fremstillet på Lydteknisk Laboratorium og bestod af en højttalerenhed med indbygget effektforstærker (Philips 22 RH 541) og en kassettebåndoptager (Grundig CN 700) med tilhørende støjbånd, hvorpå de ønskede støjsignaler (ΔL -støj og T-støj) var indspillet. De to enheder blev sammenbygget i en transportkasse. Ved de simple målinger anvendtes desuden en lydtrykmåler B&K 2203. Med den nævnte lydkilde kunne der i referencerummet frembringes et lydtrykniveau på ca. 105 dB(C).





Målingerne blev udført først med lydkilden placeret i et hjørne i senderummet, hvor der udsendtes ΔL -støj. Operatøren bestemte svarende hertil middellydtrykkniveauerne i dB(C) i senderummet og i dB(A) i modtagerummet. Dernæst blev lydkilden flyttet til et hjørne i modtagerummet, hvor den udsendte T-støj. Operatøren bestemte derefter middellydtrykkniveauet målt i dB(C) i modtagerummet og lydtrykkniveauet målt i dB(C) i referencepunktet tæt ved lydkilden. På grundlag af disse måleværdier, arealet af den fælles bygningsdel samt målinger i referencerummet dels af middellydtrykkniveauet i rummet dels af lydtrykkniveauet i referencepunktet tæt ved lydkilden, bestemtes I_a -værdier efter udtrykket (3.3.1.)

Den således bestemte I_a -værdi benævnes i det følgende $I_a(\Delta L, T)$. Desuden målt $I_a(\Delta L, \Delta L)$, idet målingen med lydkilden placeret i modtagerummet blev gentaget med ΔL -støj i stedet for T-støj.

Da det ved resultatbearbejdningen ikke er den målte lydisolations der har interesse, men derimod forskellen mellem målinger udført pr. 1/3 oktav (I_a (BAM)) og de tilsvarende målinger udført efter den simple målemetode, er differensen mellem disse størrelser blevet statistisk behandlet og resultatet heraf er vist i nedenstående tabeller.

	I_a (BAM)- I_a ($\Delta L, T$)	I_a (BAM)- I_a ($\Delta L, \Delta L$)
Middelværdi	- 0,9 dB	- 0,4 dB
Standardafvigelse	2,6 dB	2,6 dB
Variationsområde	- 7,3 dB	- 6,8 dB
	+ 5,5 dB	+ 6,0 dB

Tabel 4.1

	I_a (BAM)- I_a ($\Delta L, T$)	I_a (BAM)- I_a ($\Delta L, \Delta L$)
Middelværdi	- 0,8 dB	- 0,3 dB
Standardafvigelse	2,4 dB	2,4 dB
Variationsområde	- 7,3 dB	- 6,8 dB
	+ 5,5 dB	+ 6,0 dB

Tabel 4.2 I_a (BAM) bestemt uden anvendelse af 8 dB-reglen.

Af tabel 4.1 fremgår det, at standardafvigelsen af differenserne mellem de af BAM udførte standardiserede målinger og de tilsvarende målinger udført efter den simple målemetode er 2,6 dB.

Denne standardafvigelse er noget større end man har kunnet konstatere i andre undersøgelser. Det skal dog påpeges, at resultatet af denne undersøgelse er i god overensstemmelse med resultater opnået ved tilsvarende tyske undersøgelser af simple målemetoders nøjagtighed (12).

Sammenlignes resultaterne i tabel 4.1 med delresultaterne for de simple målinger finder man, at korrektionen for modtagerummets absorption er bestemt med en nøjagtighed svarende til en standardafvigelse på 2,2 dB.

I første måleserie fandtes den tilsvarende standardafvigelse at være 1,7 dB.

Af tabel 4.2 ses, at standardafvigelsen kun reduceres uvæsentligt, når der ved bestemmelse af I_a (BAM) er set bort fra 8 dB-reglen i ISO/R 717. Det samme gælder variationsområdet af differenserne. Den samme tendens fandtes også for resultaterne i første måleserie, jvf. (1).

I praksis kan det altså konstateres, at overensstemmelse mellem I_a (BAM) og I_a ($\Delta L, T$) henholdsvis I_a ($\Delta L, \Delta L$) er ret uafhængig af 8 dB-reglen i ISO/R 717. ISO/R 717 er for tiden under revision og meget tyder på, at 8 dB-reglen i den nye udgave af ISO/R 717 vil udgå.

Af begge måleserier fremgår det, at standardafvigelsen på den simple måling primært domineres af usikkerheden på bestemmelsen af korrektionen for modtagerummets absorption, hvori den primære fejlkilde er målingen af lydtrykket tæt ved lydkilden.

Den relativt store usikkerhed der indføres ved korrektionen for modtagerummets absorption har givet anledning til udførelse af følgende beregning på grundlag af resultaterne fra anden måleserie. Differensen mellem I_a (BAM) og niveauforskellen mellem sende- og modtagerum målt med ΔL -støj og korrigeret med $10 \log \frac{S}{A}$ er beregnet for samtlige målinger under den forudsætning, at efterklangstiden i modtagerummene er $1\frac{1}{2}$ sekund uafhængig af frekvensen. Differensen kan skrives:

$$D = I_a \text{ (BAM)} - (L_{p,s} \text{ (C)} - L_{p,m} \text{ (A)} + 10 \log \frac{S \cdot t}{0,16 V})$$

hvor $t = 1\frac{1}{2}$ sekund.

Middelværdien og standardafvigelsen af differenserne fandtes at blive:

$$\text{Middelværdi} = -0,1 \text{ dB}$$

$$\text{Standardafvigelse} = 2,6 \text{ dB}$$

Ved sammenligning med tabel 4.1 ses, at standardafvigelsen er den samme i begge tilfælde. Korrektionen for modtagerummets absorption synes altså at kunne gøres

endnu mere enkel end ved den simple måling, uden at nøjagtigheden derved bliver ringere.

5. KONKLUSION

Undersøgelsen af den simple målemetodes anvendelighed i praksis viser, at standardafvigelsen på den simple måling primært domineres af standardafvigelsen på korrektionen for modtagerummets absorption, hvori den primære fejlkilde skyldes målingen af lydtrykket tæt ved lyd-kilden.

Den nøjagtighed, hvormed den simple måling kan udføres i praksis, jøvnfør tabel 4.1, set i forhold til den I_a -værdi der opnås ved den standardiserede måling, er for ringe.

Hovedkonklusionen er derfor, at den simple målemetode, som har ligget til grund for denne undersøgelse, ikke med rimelighed kan anvendes som alternativ til den standardiserede måling af I_a -værdier.

Det er overhovedet et spørgsmål, om det er muligt at udvikle en simpel målemetode, der med rimelig nøjagtighed kan blive et alternativ til den standardiserede, og i virkeligheden ret avancerede og detaljerede målemetode.

I de sidste par år er der imidlertid sket en betydelig udvikling af akustiske analysatorer til blandt andet bestemmelse af lydisolationen efter den standardiserede målemetode. Tendensen i denne udvikling går primært på apparatur, der er meget betjeningsvenligt, let at anvende, let at transportere og relativt billigt. Når dette måleapparatur bliver en realitet, vil det betyde, at ikke-akustikere kan kontrollere en bygnings lydforhold ret godt allerede på råhusstadiet og rette eventuelle fejl allerede da. Denne tendens i udviklingen vil endvidere betyde, at behovet for en forenkling af den standardiserede målemetode til bestemmelse af lydisolations (I_a -værdien) formentlig vil blive stadig mindre i tiden fremover.

6. LITTERATUR

- (1) Olsen, John Klinkby og Michelsen, Nic. 1980. En simpel målemetode til bestemmelse af lydisolationen i boligbyggeri. Lydteknisk Laboratorium, Rapport nr. 19.
- (2) Arne, Paavo & Borenius, Juhani. 1962. On the Correlation of the Results of Air Borne Sound Insulation. ICA. 1962 M11.
- (3) Gösele, K. und Koch, S. 1970. Bestimmung der Luftschalldämmung von Bauteilen nach einem Kurzverfahren. Veröffentlichungen aus dem Institut für Technische Physik Stuttgart. Berichte aus der Bauforschung, pag. 85. Berlin.
- (4) Siekman, W., Yerges, J. F. and Yerges, L. F. 1971. A simplified Field Sound Transmission Test. Sound and Vibration, vol. 5 oct. pag. 17.
- (5) Stephens, D. H. 1973. Airborne sound insulation referred to the "A"-weighting curve. Applied Acoustics (6) pag. 151.
- (6) Quindry, T. L. and Flynn, D. R. 1973. On a simplified field measurement of noise reduction between spaces. Inter-Noise, pag. 199.
- (7) Eijk, J. van den. 1959. My Neighbours Radio. ICA.
- (8) Hilz, E. 1968. Ein vereinfachtes Messverfahren für bauakustische Messungen. Acustica, vol. 19, pag. 178.
- (9) Stephens, D. H. 1976. Measurement of sound insulation with a sound level meter. Applied Acoustics, vol. 9, pag. 131.
- (10) Olsen, John K. 1974. Eksamensprojekt ved Laboratoriet for Akustik.
- (11) Gösele, K. und Engel, V. 1975. Kurzmessverfahren zur Bestimmung der Luftschalldämmung in Bauten. Forschungsbericht F 1305. Fraunhofer-Gesellschaft, Institut für Bauphysik, Stuttgart.
- (12) Dämmig, P., Bethke, C., Raabe, G. und Fischer, H. 1978. Messunsicherheit Bauakustischer Kurzprüfverfahren. PTB, Braunschweig. Kurzbericht aus der Bauforschung nr. 10/78-139.
- (13) Schultz, T. I. 1979. Rationale for ASTM's Simple Test for Sound Isolation in Buildings. Noise Control Engineering. Vol. 13, No. 3.