



## Lydisolation

DØRES LYDISOLATION II

Ved akademiingeniør Jørn Kjær

### RESUMÉ:

I notatet omtales resultaterne fra målinger af entrédøres lydisolation i praksis. Døres lydisolation ved forskellige udførelsesmangler er illustreret gennem to eksempler. Der kan ved målinger i praksis være væsentlige unøjagtigheder, som influerer på måleresultaterne. Vurderingen af resultaterne kan ske på flere måder, i notatet omtales to og der foretages en sammenligning af resultaterne baseret på edb-behandling af 250 måleresultater. Det vises, at der er en sammenhæng mellem de to vurderingsmetoder, men at den ene måske bedre end den anden sikrer lydisolationen ved højere frekvenser. Det viser sig endvidere, at kun ca. 30% af måleresultaterne opfylder kravene i bygningsreglementet og at der ingen signifikant virkning er af den i 1972 indførte DS-mærkning.

Byggeriets Akustiske Målestation, april 1974

YDERLIGERE OPLYSNINGER KAN FÅS VED HENVENDELSE TIL:

Forfatteren

Eftertryk tilladt med kildeangivelsen SBI-NOTAT og nr. Ved brudstykkevis gengivelse er det dog en forudsætning, at ovenstående resultater tages, da meninger og resultater kan forkædes, hvis tekst eller illustrationer tages ud af den oprindelige sammenhæng.

15. JUL. 1974 ex 3

## INDLEDNING

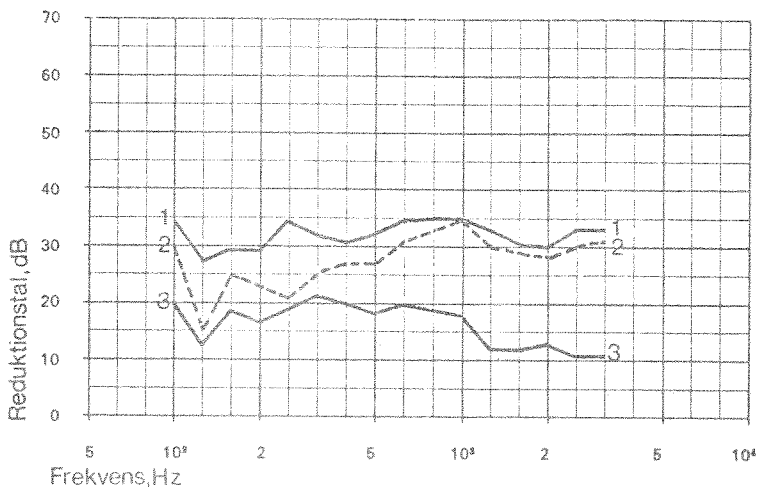
Når en dør indsættes i en væg, vil den resulterende lydisolations af den sammensatte væg være betinget af såvel væggen som dørens reduktionstal. I almindelighed har døre et væsentligt mindre reduktionstal end de vægge, hvori de er indsat og det resulterende reduktionstal for den sammensatte væg vil derfor hovedsagelig være bestemt af døren. Det skyldes bl.a., at døre har en mindre fladevægt end den omgivende væg og den omstændighed, at døre, for at opfylde deres formål, skal kunne åbnes og lukkes uden for stor kraftudfoldelse. Det kan derfor ofte knibe med at opnå en tilstrækkelig tætning af dørfalsen. Selvom disse problemer i princippet relativt nemt kan løses, drejer det sig dog om praktiske krav, som må tilgodeses, uanset om de modvirker lydtekniske krav. Ofte er disse praktisk betonede krav dog tilgodeset i så rigelig grad, at der ikke opnås den lydisolations, som er mulig, dørenes lydmæssige kvalitet taget i betragtning.

I april 1969 trådte bestemmelsen i BR 66 vedrørende entrédørens lydisolations i kraft. Det har siden da været et krav, at entrédørens middelreduktionstal målt i bygningen skal være mindst 30 dB. BAM har fra april 1969 og frem til april 1974 udført 250 målinger af entrédørens lydisolations i forbindelse med rekvirerede akustiske undersøgelser i etågeboligbyggeri. En omtale af disse målinger vil blive givet i det følgende.

## DØRES LYDISOLATION

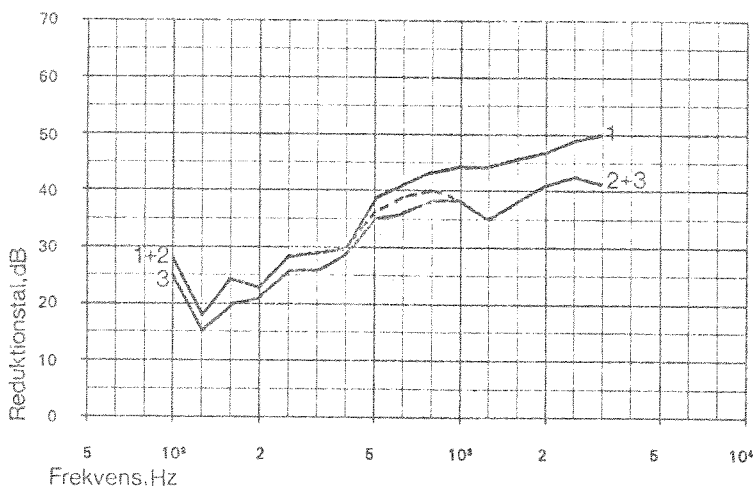
Erfaringer fra de målinger af entrédørens lydisolations, som BAM har udført viser, at lydisolationsen i almindelighed er ringere end de minimumskrav, der er angivet i BR. Det er konstateret, at årsagen hertil i de fleste tilfælde ikke alene skal søges i en mangelfuld lydisolations af de anvendte dørplader, men i ligeså høj grad må søges i lydteknisk set helt elementære mangler. Således er tætning af dørfalsen ofte enten helt udeladt eller mangelfuldt udført, ligesom brevskilte ofte er forhindret i at lukke tæt på grund af små skævheder. Mangelfuld stopning mellem karm og væg er også en hyppigt forekommende lydteknisk fejl i forbindelse med

entredøre. En omhyggelig stopning er imidlertid vanskelig at udføre og at få udført i praksis. Erfaringer fra en række forsøg i praksis har vist, at det som regel er nødvendigt at forsegle fugen på den ene side med en plastisk eller elastisk fugemasse for at opnå en lydisolations af fugen svarende til en omhyggelig og tæt stopning.



Figur. 1. Lydisolation som funktion af frekvensen for entredøre. Kurve 1: Korrekt indsats og stoppet, 2: Mangelfuld stopning, 3: Stopning udeladt.

Resultater fra målinger på en dør udført som dobbeltkonstruktion er vist i figur 1. Døren havde dobbelt fald med en enkelt tætningsliste af neoprene, og havde ifølge fabrikanten et middelreduktionstal på 34 dB. Den nederste kurve (3) viser resultatet, når der overhovedet ingen tætning var foretaget mellem dørkarm og væg. Herved blev opnået et middelreduktionstal på 16 dB. Den mellemste kurve (2) viser resultatet af en omhyggelig stopning af fugen mellem dørkarm og væg. Herved blev middelreduktionstallet forøget til 27 dB, men der mangler endnu en del, specielt ved lave frekvenser. Det skyldes en fejl, som forekommer meget ofte i praksis, nemlig en mangelfuld stopning under underkarmstykket. Virkningen af en omhyggelig stopning ses af den øverste kurve (1). Det endelige resultat blev et middelreduktionstal på 32 dB.



Figur 2. Lydisolation som funktion af frekvensen for entrédør. Kurve 1: Korrekt indsat, ingen fugeutætheder, 2: Normal udført fals, 3: Ingen understopning af karm.

I figur 2 ses resultater fra en måling på en dør udført som dobbeltkonstruktion. Døren havde dobbeltfals med en enkelt tætningsliste af neoprene og havde ifølge fabrikanten et middelreduktionstal på 36 dB. Den øverste kurve (1) viser dørens reduktionstal som funktion af frekvensen når alle andre transmissionsveje end selve dørpladen kunne udelukkes. Her ved blev der opnået et middelreduktionstal på 36 dB. Ved tilføjelse af inddrage dørfalsen i målingen faldt middelreduktionstallet til 33 dB. Endelig blev stopningen under døren fjernet. Som det fremgår af nederste kurve (3) med en yderligere forringelse af reduktionstallet til følge.

#### MÅLINGERNES UDFØRELSE

Entrédørens lydisolation blev målt med anvendelse af trappe- rummet som senderum og det umiddelbart bag døren beliggende rum, entré eller opholdsrum, som modtagerum. Af måletekniske grunde og for at få et veldefineret modtagerumsvolumen, var det ved en del af målingerne nødvendigt at foretage en afgrænsning af modtagerummet. Dørens reduktionstal  $R_D$  som funktion af frekvensen i 1/3 oktavbånd, og målt i bygningen, blev bestemt ud fra følgende udtryk:

$$R_D = L_S - L_M + 10 \log \frac{S_D}{A_M} \quad (1)$$

hvor  $L_S$ ,  $L_M$  er den aritmetiske middelværdi af lydtrykniveauerne målt i 3 mikrofonpositioner i henholdsvis sender- og modtagerum

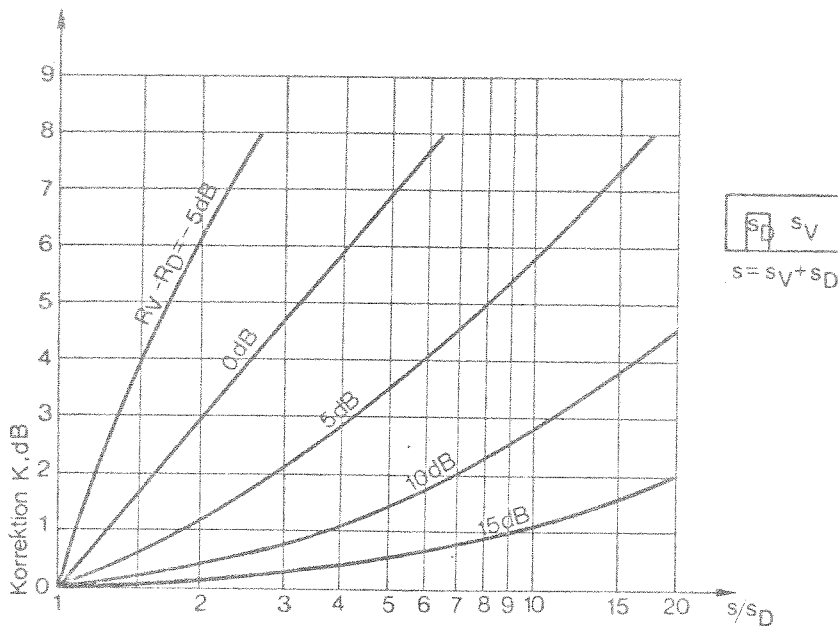
$S_D$  er dørens areal i  $m^2$   
 $A_M$  er modtagerummets absorption i  $m^2$  Sab.

Absorptionen  $A_M$  blev bestemt på grundlag af den aritmetiske middelværdi af efterklangstiderne målt i 3 positioner i modtagerummet.

Middelreduktionstallet  $R_m$  blev bestemt som gennemsnittet af reduktionstallene i de 16 trediedelsoktavnåbånd, som dækker frekvensområdet fra 90 Hz - 3550 Hz.

#### MÅLENØJAGTIGHED

Udtrykket (1), efter hvilket dørenes reduktionstal blev bestemt, har som grundlæggende forudsætning, at lydfeltet i såvel sende- som modtagerummet er diffust. I praksis kan et diffust lydfelt dog kun realiseres med en vis tilnærmelse. Denne tilnærmelse er ofte meget grov i forbindelse med målinger af dørens lydisolations i bygninger, især ved lave frekvenser. Det skyldes bl.a., at modtagerum ved disse målinger almindeligvis er relativt små. De systematiske fejl, der her ved indføres i målingen, kan ikke undgås, omend nogle af dem kan formindskes ved særlige forholdsregler, som dog er for omkostnings- og tidskrævende i praksis. De systematiske fejl gør det kompliceret at bestemme eller blot skønne over den nøjagtighed, hvormed reduktionstallet er bestemt. Som tidligere nævnt gør dette problem sig især gældende ved lave frekvenser. Ses i stedet på målepræcisionen, og dermed på målingens reproducerbarhed kan denne, udtrykt ved standardafvigelsen på reduktionstallet, beløbe sig til adskillige dB ved lave frekvenser, aftagende mod højere frekvenser. Det betyder, at standardafvigelsen på middelreduktionstallet  $R_m$  almindeligvis ikke er mindre end 1-2 dB. En anden forudsætning for anvendelse af udtrykket (1) er, at lydtransmissionen udelukkende skal ske gennem døren. Denne forudsætning vil i praksis være opfyldt, hvis forskellen mellem væggen og dørens reduktionstal er ca. 10-15 dB i de enkelte 1/3 oktavnåbånd. I modsat flad vil lydtransmissionen gennem væggen bevirke, at det ved (1) bestemte reduktionstal alt andet lige bliver for lavt og derfor bør korrigeres.



Figur 3. Diagram til beregning af korrektion til ligning (1) i afhængighed af arealforholdet  $S/S_D$  og forskellen mellem væggenes og dørens reduktionstal.

Korrektionen  $K$ , hvormed det ved (1) bestemte reduktionstal  $R_D$  skal forøges, er afbildet i figur 3 som funktion af arealforholdet  $S/S_D$ . Parameteren er forskellen mellem væggenes og dørens reduktionstal,  $R_V - R_D$ . Er eksempelvis forholdet  $S/S_D = 4$  og  $R_V - R_D = 5$  dB ses det af fig. 3, at korrektionen er 3 dB. Forskellen mellem dørens og væggenes reduktionstal ved lave frekvenser er ofte mindre end 10 dB. Ved høje frekvenser er forskellen mellem væggenes og dørens reduktionstal sædvanligvis så stor, at fejlen kan negligeres.

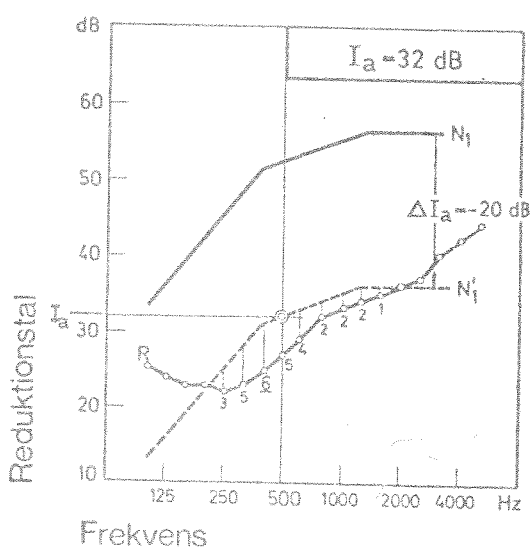
Sammenfattende kan det, i forbindelse med feltmålinger af døres lydisolations, fastslås, at jo mindre modtagerummet bliver, jo mindre bliver fejlen ved at forudsætte at lydtransmissionen udelukkende sker gennem døren, men til gengæld bliver også lydfeltets diffusitet mindre, og den måleusikkerhed som herved indføres større. Den store usikkerhed som ligger i bestemmelsen af dørens reduktionstal ved lave frekvenser gør det tvivlsomt, om man skal tillægge reduktionstallet ved lave frekvenser nogen særlig vægt, når det er bestemt på grundlag af målinger i det praktiske byggeri.

Middelreduktionstallet  $R_m$  beregnes også på grundlag af reduktionstallene ved lave frekvenser og selvom fejlen ved disse frekvenser ikke i samme grad overføres til middelreduktions-

tallet, er der stadig grund til at tvivle på det hensigtsmæssige i at anvende middelreduktionstallet som mål for døres lydisolations målt i bygningen. Desuden indeholder middelreduktionstallet alene ingen information om frekvensforløbet af reduktionstallet og er derfor en inkommensurabel størrelse. Endelig udgør en entrédør en del af en boligafgrænsende væg til hvilken man principielt må stille det samme krav til lydisolations, som gælder for de øvrige vægge som afgrænser boligen. Selvom et sådant krav er urealistisk kan det dog motivere, at man til vurdering af døres lydisolations i bygninger ved en kommende revision af BR, og som en mulig løsning på den ovenfor omtalte problemer, indfører en frekvensvejning af det ved (1) bestemte reduktionstal. Formålet hermed skulle være at opnå en vurdering, der i højere grad lagde vægt på døres reduktionstal ved højere frekvenser.

#### VURDERING AF ENTRÉDØRES LYDISOLATION

Som en mulig fremgangsmåde til vurdering af døres lydisolations målt i byggeriet kan den i ISO/R 717 beskrevne vurderingsmetode tænkes anvendt. Vurderingen af dørens lydisolations skal i så fald baseres på reduktionstallet bestemt ved udtrykket (1).

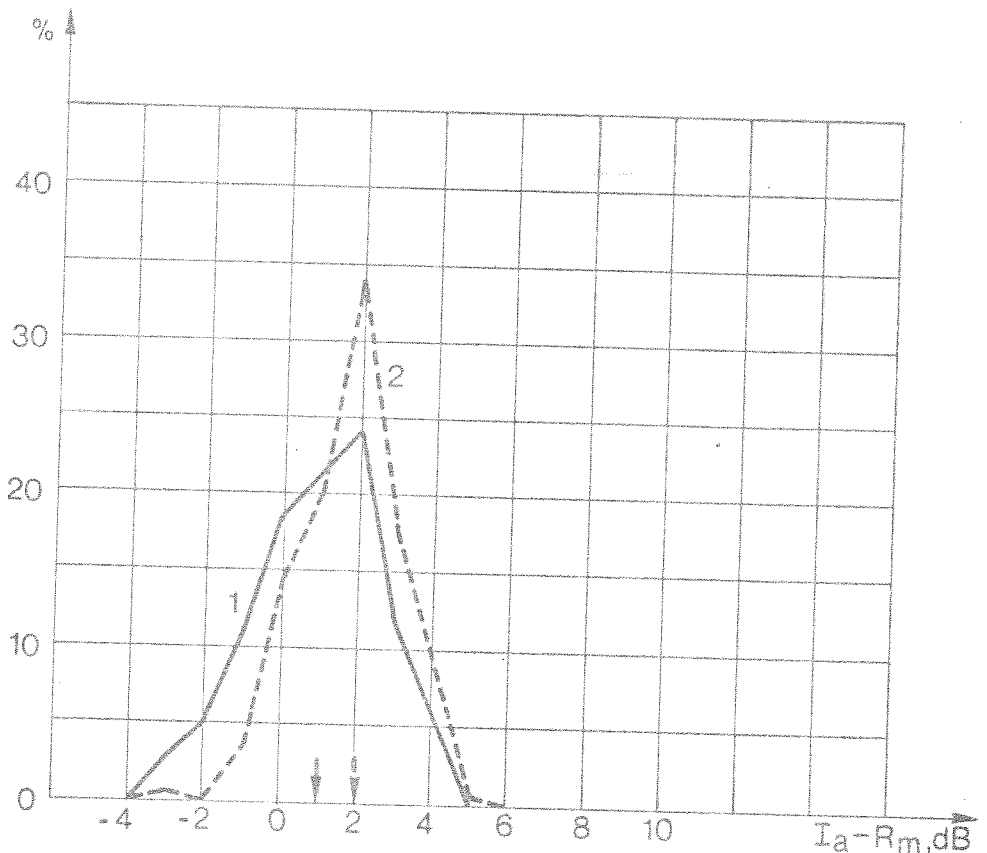


Figur 4.  
Vurdering af lydisolations efter ISO/R 717.

Man går i ISO R 717 frem på følgende måde ved vurderingen af den opnåede lydisolations, jvf. figur 4. Kravkurven eller referencekurven  $N_1$ , hvis forløb svarer til de i BR anvendte

kravkurver, forskydes op eller ned i forhold til den målte kurve for reduktionstallet indtil summen af afvigelser under referencekurven ( $N_1'$ ), ved de normerede målefrekvenser så nært som muligt, men maksimalt bliver 32 dB. Dog må afvigelsen ved en enkelt målefrekvens ikke blive større end 8 dB. Den for døren opnåede lydisolations karakteriseres talmæssigt ved den værdi referencekurven har ved 500 Hz, når ovennævnte afvigelseskriterium er opfyldt. Denne værdi betegnes  $I_a$  og kaldes indeks for luftlydisolation.

BAM har foretaget en sammenligning af entrédøres lydisolations udtrykt ved henholdsvis middelreduktionstallet  $R_m$  og indekset for luftlydisolation  $I_a$ . Resultatet heraf fremgår af det følgende.

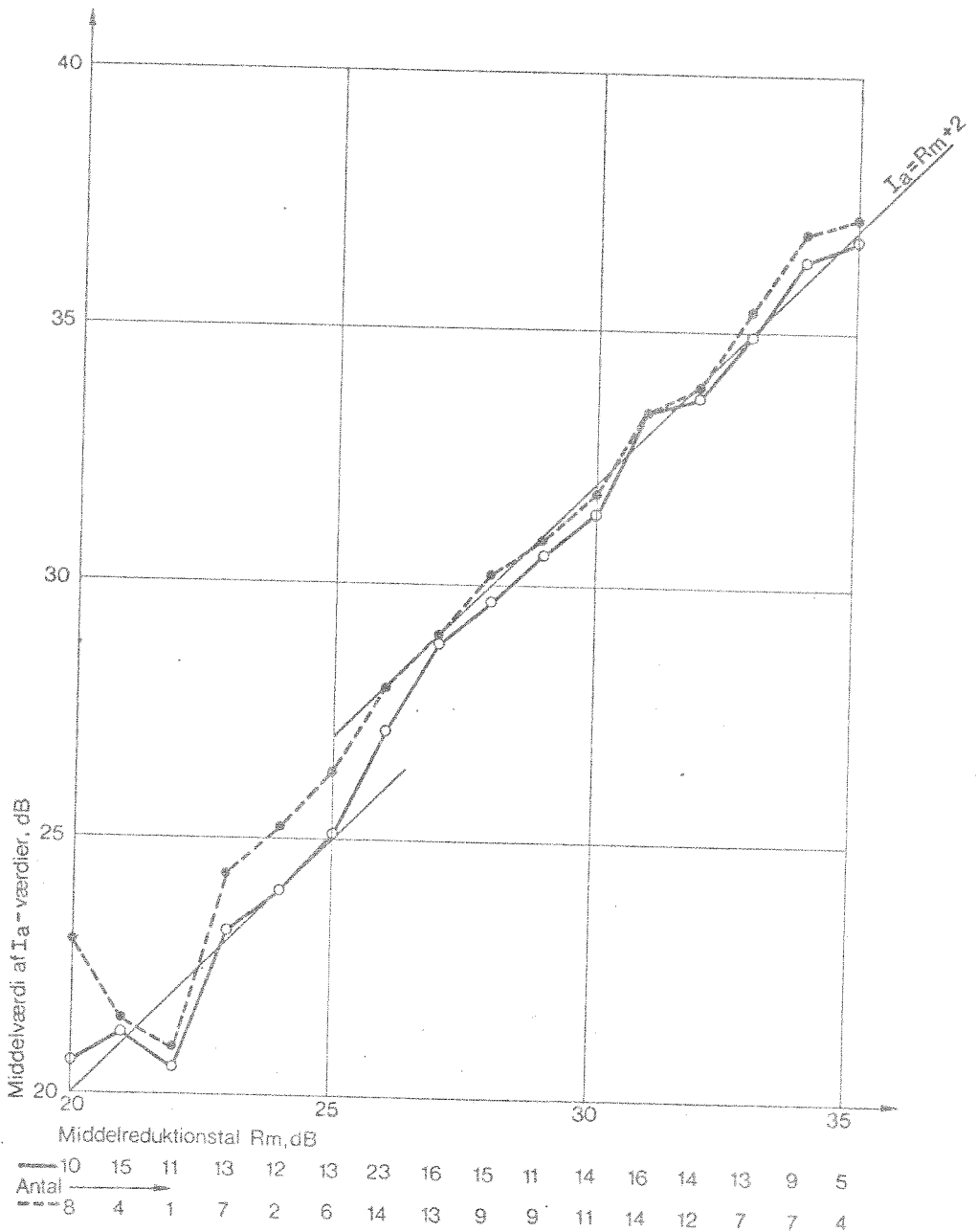


Figur 5. Fordeling af 1: 250 entrédøre og 2: 139 entrédøre med  $I_a$ -værdier bestemt af 32 dB-reglen, efter differensen  $I_a - R_m$ .

I figur 5 er vist fordelingen (1) af samtlige 250 døre, som BAM har målt, efter differensen mellem indeks for luftlydisolationen  $I_a$  og middelreduktionstallet  $R_m$ . Fordelingens



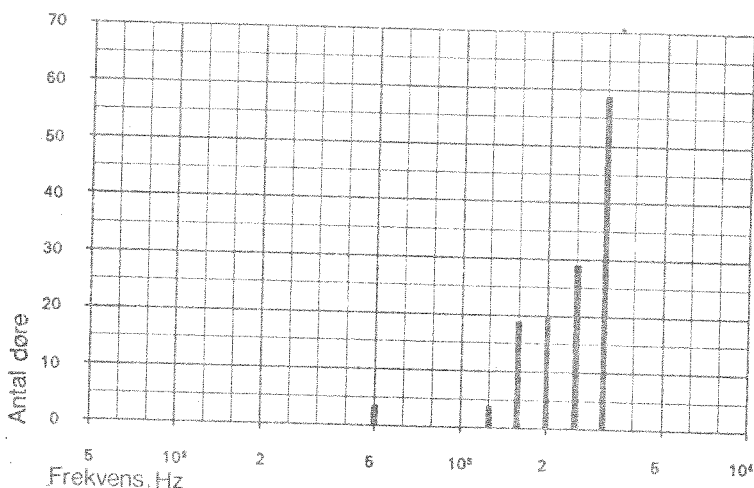
tyngdepunkt ligger ved  $I_a - R_m = 1$  dB. Skævheden i fordelingen skyldes hovedsageligt, at ca. halvdelen af dørene har en  $I_a$ -værdi, som er bestemt af reglen om maksimalt 8 dB's afvigelse. Dette forhold fremgår af fordelingen (2), i hvilken de døre, hvor  $I_a$ -værdierne var bestemt af 8 dB-reglen, ikke indgår. I det sidste tilfælde ligger fordelings tyngdepunkt ved 2 dB.



Figur 6. Middelværdien af  $I_a$ -værdier som funktion af middelreduktionstallet  $R_m$ . Den punkterede kurve gælder for  $I_a$ -værdier bestemt af 32<sup>m</sup> dB-reglen.

Figur 6 viser middelværdien af  $I_a$ -værdier for døre med middelreduktionstallet  $R_m$ . Antallet af døre med et bestemt re-

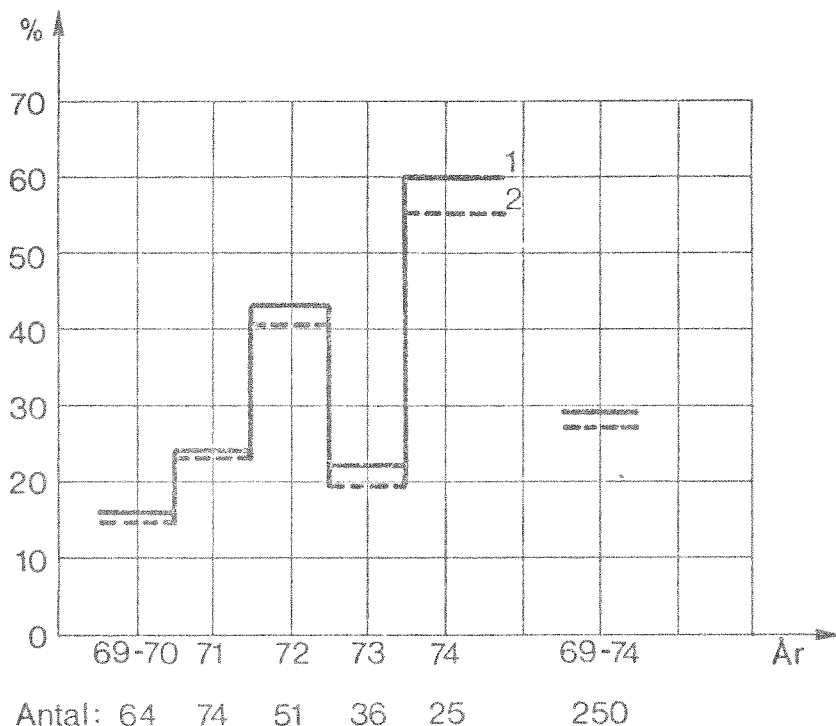
duktionstal er angivet nederst i figuren. Den punkterede kurve 2 gælder for middelværdien af  $I_a$ -værdier som var bestemt alene af 32 dB-reglen. Det fremgår af figuren, at afstanden mellem kurverne 1 og 2 mindskes og at de begge nærmer sig linien  $I_a = R_m + 2$  med voksende middelreduktionstal. Dette forhold skyldes, at dørenes reduktionstal ved lave frekvenser får voksende indflydelse på  $I_a$ -værdien, når middelreduktionstallet øges. Det ses endvidere, at det hidtil gældende krav til entrédøre om et middelreduktionstal på 30 dB svarer til et  $I_a$ -krav på 32 dB. Et sådant krav vil imidlertid betyde en lidt strengere bedømmelse af dørenes lydisolation ved højere frekvenser. På grund af utætheder er lydisolationen ved disse frekvenser ofte mangelfuld, hvilket også fremgår af figur 7, hvor fordelingen i 1/3 oktavnåbånd af døre med  $I_a$ -værdier bestemt alene af 8 dB-reglen er vist.



Figur 7. Fordeling i 1/3 oktavnåbånd af døre med  $I_a$ -værdier bestemt af 8 dB-reglen.

For at finde, om der gennem årene eventuelt skulle kunne spores en vis forbedring af lydisolationen af de døre, som BAM har målt blev det undersøgt, hvor mange procent af dørene målt i de enkelte år som opfyldte kravet om et middelreduktionstal på mindst 30 dB. Resultatet af denne undersøgelse er vist i figur 8. Nederst i figuren er antallet af døre målt i de enkelte år angivet. Selvom de døre, som er målt i 1973, udviser en relativ lav opfyldelsesgrad synes der dog at være sket en vis forbedring gennem årene. Den punkterede kurve 2 viser antallet af døre som samtidigt op-

fyldte kravene om henholdsvis et middelreduktionstal på mindst 30 dB og en  $I_a$ -værdi på mindst 32 dB. Forskellen mellem kurverne 1 og 2 er ikke særlig stor og skyldes i det væsentlige den lidt strengere bedømmelse af lydisolationen ved højere frekvenser, som  $I_a$ -kravet medfører.



Figur 8. Antal døre i procent som i de enkelte år opfyldte kravene

1.  $R_m \geq 30$  dB
2.  $R_m \geq 30$  dB  
 $I_a \geq 32$  dB

#### KONKLUSION

Kravet i BR til entrédøres lydisolationskrav trådte i kraft for 5 år siden. BAM har siden da foretaget måling af 250 entrédøres lydisolationskrav og kun ca. 30% af disse døre opfyldte bygningsreglementets minimumskrav. Den i 1972 indførte standisering og mærkning af "lyddøre" synes ikke endnu at have betydet nogen signifikant forøgelse af opfyldelsesgraden. Resultatet er meget nedslående både fordi bygningsreglementets krav burde have været opfyldt i alle tilfældene og fordi en i dag hyppigt anvendt planløsning, hvor adgangen fra trapperum eller fælles gang sker direkte til opholdsrum faktisk kræver en lydisolationskrav, svarende til kravet til de vægge som iøvrigt afgrænser boligen, altså en lydisolationskrav, der er meget større end den som kan opnås selv med en korrekt indsat 30 dB-dør.

Reduktionstallet for døre målt i byggeriet er i mange tilfælde meget unøjagtigt bestemt ved lave frekvenser. En løsning på dette problem vil være at anvende en vurderingsmetode, ved hvilken der lægges større vægt på døres lydisolation ved højere frekvenser. Ved at anvende den i ISO/R 717 beskrevne vurderingsmetode opnår man principielt en sådan vurdering. I praksis viser det sig, at denne vurderingsmetode ikke adskiller sig ret meget fra en vurdering på grundlag af middelreduktionstallet. Dog opnår man ved anvendelse af ISO/R 717 en lidt strengere bedømmelse af lydisolationen ved de højere frekvenser og en vurdering, ved hvilken dørenes lydisolation ved lavere frekvenser kun indgår med lille vægt.