



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

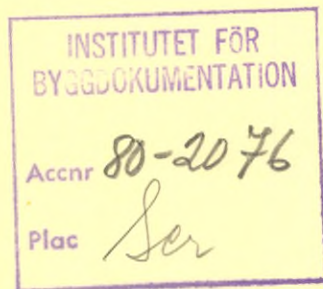
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



## Balkongers dämpning av vägtrafikbuller

En litteraturstudie

Esse Kamph



K  
90/8

**BYGGDOK**

Institutet för byggdokumentation  
Hälsingegatan 49  
113 31 Stockholm, Sweden  
08-34 01 70

Byggeforskningsrådet

Ser

R130:1980

BALKONGERS DÄMPNING AV VÄGTRAFIKBULLER  
En litteraturstudie

Esse Kamph

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800105-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till IFM Akustik-  
byrån AB, Göteborg.

I Bygghforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R130:1980

ISBN 91-540-3354-3  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 057018

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING . . . . .	5
BETECKNINGAR . . . . .	7
TABELLFÖRTECKNING . . . . .	11
FIGURFÖRTECKNING . . . . .	13
1 INLEDNING . . . . .	15
2 PROBLEMSTÄLLNING . . . . .	17
3 LITTERATURSTUDIER . . . . .	19
3.1 Allmänt . . . . .	19
3.2 Teoretisk beräkningsmodell . . . . .	19
3.2.1 Skärmteori . . . . .	20
3.2.2 Beräkningsmodell för balkongers tillskottsdämpning . . . . .	21
3.3 Experimentella resultat . . . . .	27
3.3.1 Modellmätningar enligt Oldham/Mohsen (1977), (1979) . . . . .	27
3.3.2 Fullskalemätningar enligt May (1979) . . . . .	34
3.3.3 Fullskalemätningar enligt Gustafsson/Einarsson (1973) . . . . .	37
3.3.4 Fullskalemätningar enligt Gilbert et al (1968) . . . . .	39
LITTERATUR . . . . .	47



## SAMMANFATTNING

En litteraturgenomgång av experimentella/teoretiska arbeten på balkongers dämpning av vägtrafikbuller har genomförts. Syftet har varit dels att få en bättre bild av de förbättringar som kan erhållas med balkonger dels att sammanställa referenser med empiriskt/teoretiskt material som kan utgöra underlag för en beräkningsmetod. Beräkningsmetoden skall i första hand vara avsedd för förhandsberäkning av den dämpning av ljudnivån inomhus som kan erhållas med balkonger av olika utformning.

I de genomgångna referenserna är endast en teoretisk modell redovisad som avser beräkning av balkongers tillskottsdämpning. Modellen som presenterats av Oldham/Mohsen (1977), (1979) bygger på skärmdämpningsteori vid punktljudkälla enligt Kurze/Anderson (1971). Den är även tillämplig på ljudnivåer utomhus på atriumgårdar. En likartad men något enklare metod för det senare fallet har presenterats av Ettouney/Fricke (1973) och Fricke (1977).

Ett flertal referenser behandlar experimentella undersökningar både i modellskala och i fullskala. Studier av atriumgårdar har bedömts vara av mindre intresse för aktuellt projekt. Resultat som presenterats av Ettouney/Fricke (1973), Fricke (1977) och Oldham/Mohsen (1979), (1979a) redovisas därför ej här.

Oldham/Mohsen (1977), (1979) har genomfört omfattande modellmätningar och jämfört mätta och beräknade dämpningar av den A-vägda ljudnivån inomhus. I samtliga fall användes endast en balkong. Inverkan av t ex intilliggande eller ovanföriggande balkonger ingår därför inte. Balkong och fasad var i samtliga fall av akustiskt hårt material. De parametrar som varierades var bl. a fasadöppning, balkongdjup, balkongens höjd och avstånd till väg, fasadorientering mot väg. Den övervägande delen av mätningarna avser otätade fönsteröppningar.

Vid beräkning av balkongens dämpning av ljudnivån inomhus antar Oldham/Mohsen att denna beror på dämpningen av ljudeffekten som faller in mot fönsteröppningarna. Man tar alltså inte hänsyn till om ljudreduktionen hos fönsteröppningen är frekvensberoende. Vid konstruktioner, t ex 2- eller 3 glasfönster, med starkt frekvensberoende ljudisoleringskoefficient kan antagandet leda till alltför höga dämpningsvärden.

Resultaten enligt Oldham/Mohsen visar att den föreslagna beräkningsmetoden ger relativt god överensstämmelse mellan mätta och beräknade värden. Metoden ger dock i genomsnitt för höga dämpningsvärden. Av de olika mätfallen är det endast ett fåtal som leder till förstärkning av ljudnivån inomhus och då med högst ca 1 dBA. Uppmätta dämpningar vid punktljudkälla varierar mellan ca -1 och ca 12 dBA.

Dämpningar på ca 6-7 dBA har beräknats för en linjeljudkälla (trafikström) och 2 m djupa balkonger med tätt räcke. Med detta erhållna resultat bedöms metoden vara intressant att bygga vidare på. En modifiering som kan vara aktuell är att basera dämpningen på till rummet instrålad ljudeffekt.



Den enda av referenserna som behandlar ljudnivån utomhus på balkonger är en artikel av May (1979). Mätningar har gjorts på en balkong med tätt räcke, tak och sidoväggar utan och med absorberbentbeklädnader. Ett viktigt resultat är att balkonger utan absorberbentbeklädnad kan medföra ljudnivåförstärkningar i storleksordningen 5 dBA i punkter som ligger högre än balkongräcket. Ljudabsorbent i taket eliminerar detta. Med ljudabsorbentbeklädnad torde en tillskotts-dämpning om ca 5 dBA kunna erhållas i huvudhöjd för en sittande person. För lågt belägna punkter kan dämpningar om ca 10 dBA erhållas med lämplig absorberbentbeklädnad. Praktiskt kan detta medföra lägre krav på ljud-dämpningen för lågt placerade luftintag.

Inomhusmätningar som utförts av Gustavsson/Einarsson (1973) på balkonger med sidoväggar, tak och tätt räcke tyder på att en god ljudabsorbent i tak kan sänka ljudnivån inomhus med 4-5 dBA.

Gilbert et al (1968) har utfört en studie liknande Gustavsson/Einarssons (1973) men mer omfattande. Bl a har man mätt tersbandsvis (100-3150 Hz) och även utan balkong. Mätresultaten är också mer bearbetade och redovisar bl a balkongernas tillskotts-dämpning inomhus i dBA för fallen med öppet och stängt fönster. Sex olika balkongtyper har studerats: tak och golv; tätt räcke, tak och golv; tätt räcke, tak, golv och sidoväggar; i alla tre fallen utan och med absorberbentbeklädnad.

Mätningar och beräkningar visar att vid låga höjdvinklar (långt placerad balkong) kan de mer öppna balkongtyperna medföra en mindre (<2 dBA) förstärkning av ljudnivån inomhus. Vidare gäller att dämpningen ökar med ökad höjdvinkel och med ökad avskärmning (räcke, sidoväggar). Absorberbentbeklädnaden medför ökad dämpning. Speciellt betydelsefull är den för balkong med tak, räcke och sidoväggar. Vid öppet fönster är dämpningen vid låga höjdvinklar (<30°) endast ett par dBA. Vid stora höjdvinklar (>30°) varierar dämpningarna av ljudnivån inomhus mellan 6-13 dBA. Stora höjdvinklar är vanligt vid innerstadsbebyggelse.

De balkongtyper Gilbert et al har studerat är relativt grunda (ca 1 m). Med större balkongdjup kan man sannolikt uppnå högre dämpningar. Gilberts et al studier är väl dokumenterade. De borde därför kunna utgöra ett delunderlag vid framtagande av en beräkningsmetod.

Avslutningsvis kan man konstatera att i litteraturen redovisade tillskotts-dämpningar på balkonger visar att dessa kan vara betydelsefulla konstruktionselement för att reducera vägtrafikbuller inomhus. Dämpningar i storleksordningen 5-10 dBA förefaller rimligt att uppnå. Beklädnad av balkongytorna med lämpliga ljudabsorbenter är en mycket betydelsefull åtgärd för att uppnå god effekt av balkongen. Existerande beräkningsmetod bör modifieras och testas ut på mer aktuella balkongtyper, bl a med olika absorberbentbeklädnader.



## BETECKNINGAR

A	avstånd ljudkälla-skärmkrön	m
$A_e, A_f$	ljudabsorptionsmängd efter resp före införandet av extra ljudabsorbenter	$m^2$ Sabine
$A_j$	A-vägningsfiltrets dämpningsfaktor inom tersband j	
B	avstånd skärmkrön-mottagarpunkt	m
c	avstånd ljudkälla-mottagarpunkt	
d	skillnad i gångväg diffrakterad-direkt-ljudväg	m
$D_j$	dämpningsfaktor för skärmen inom tersband j	
$D_{ni}$	normerad fasadisolering för tersband i	dB
$D_{jk}$	dämpningsfaktor för skärm inom tersband j för ljudväg k	
$D_{ijk}$	dämpningsfaktor för skärm inom tersband j för delyta i och ljudväg k	
$I_o, I_s$	ljudintensitet utan resp med skärm	$W/m^2$
$I_{Sj}$	ljudintensitet med skärm inom tersband j	$W/m^2$
i	index	
J	antal tersband	
j	index	
K	antal ljudvägar	
k	index	
$L_{Aq}$	ekvivalent ljudnivå	dB(A)
$L_A(t)$	moment ljudnivå	dB(A)
$L_{Ti}$	ljudintensitetsnivå inom tersband i	dB
$L_{pei}$	ljudtrycksnivå i efterklangsfältet inom tersband i	dB
$L_{pm}$	ljudtrycksnivå med skärm	dB
$L_{pu}$	ljudtrycksnivå utan skärm	dB
m	index	
$N_j$	Fresnels tal, dito för ljudväglängden vid mittfrekvensen för tersband j	
n	index	

$\overline{SR}$	avstånd ljudkälla-mottagarpunkt utan skärm	m
$\overline{SR}_k$	avstånd ljudkälla-mottagarpunkt utan skärm för ljudväg k	m
$\overline{SR}_{ik}$	avstånd ljudkälla-mitten på delyta i utan skärm för ljudväg k	m
$\overline{SdR}$	avstånd ljudkälla-mottagarpunkt mätt via skärmkrön	m
T	tidsperiod	s
$T_i$	efterklangstid inom tersband i	s
t	tid	s
W	ljudeffekt	W
$w_j$	ljudeffekt inom tersband i	W
X	koordinataxel	
$X_d, X_S, X_R$	koordinat för diffraktionspunkt på skärmkrön, ljudkälla resp mottagarpunkt	m
Y	koordinataxel	
$Y_d, Y_S, Y_R$	koordinat för diffraktionspunkt på skärmkrön, ljudkälla resp mottagarpunkt	m
Z	koordinataxel	
$Z_d, Z_S, Z_R$	koordinat för diffraktionspunkt på skärmkrön, ljudkälla resp mottagarpunkt	m
$\alpha$	ljudabsorptionsfaktor	
$\alpha_{jk}$	ljudabsorptionsfaktor inom tersband j för ljudväg k	
$\alpha_{ijk}$	ljudabsorptionsfaktor inom tersband j för delyta i för ljudväg k	
$\Delta A$	delyta	$m^2$
$\Delta L_{abs}$	ljudnivåsänkning p g a ljudabsorbenter	dB
$\Delta L_{Aq}$	dämpning av ekvivalent ljudnivå p g a balkong	dB
$\Delta L_{ber}$	ber. sänkning av ekvivalent ljudnivå p g a ljudabsorbenter	dB
$\Delta L_{binne}$	uppmätt ljudnivåsänkning inomhus p g a balkong	dB
$\Delta L_b$	beräknad dämpning av infallande ljudeffekt	dB

$\Delta L_1, \Delta L_2$	medelvärde av ljudnivåsänkning	dB A
$\Delta L_{ps}$	dämpning av ljudtrycksnivå p g a skärm	dB
$\lambda$	ljudvåglängd	m
$\lambda_j$	ljudvåglängd vid mittfrekvensen för tersband j	m
$\phi_o \phi_o$	höjdvinkel mätt från relativt horisontalplanet, dito för $\gamma = 0$	grader
$\gamma$	sidovinkel mätt från vertikalplan vinkelrät mot fasad	grader
$\theta, \theta'$	infallsvinkel mätt från fasadens normal	grader



## TABELLFÖRTECKNING

- Tabell 3.1      Statistiska parametrar för figur 3.12-3.14.
- Tabell 3.2      Mätta och beräknade tillskottsdämpningar i dBA på g a absorberbeklädning.  $\Delta L_{ber}$  är beräknade värden.  $\Delta L_1$  är medelvärdet av mätvärden på 7 olika höjder.  $\Delta L_2$  är medelvärdet av mätvärden på höjderna 0,9, 1,2 resp 1,5 m.
- Tabell 3.3      Uppmätt tillskottsdämpning vid olika balkongutformningar angiven som medelvärde för oktavbanden med mittfrekvenser 63-4000 Hz.
- Tabell 3.4      Tillskottsdämpning i dBA med balkong vid olika höjd-vinklar  $\phi_0$ . Vägen parallell med fasaden. 10 mm tjockt enkelglas i fasadöppningar.
- Tabell 3.5      Tillskottsdämpning i dBA med balkong vid olika höjd-vinklar  $\phi_0$ . Vägen parallell med fasaden. Öppet fönster.



## FIGURFÖRTECKNING

- Figur 3.1 Perspektivskiss av skärm
- Figur 3.2 Skärmdämpning  $\Delta L$  vid punktljudkälla och halv-  
oändlig skärm i  $\frac{P_s}{P_i}$  rymd som funktion av Fresnels  
tal  $N$ . Enligt Maekawa (1968): ——. Enligt formel  
(3.4): ●-●-●-●
- Figur 3.3 Spegling av ljudkälla och mottagare vid reflek-  
terande ytor.
- Figur 3.4 Geometri vid beräkning av ljuddämpning utomhus.
- Figur 3.5 Princip för spegling av mottagarpunkter i reflek-  
terande ytor på balkong. Mottagarpunkten ligger i  
fasadens plan. Varje mottagarpunkt räknas därför  
som 2 för att ta hänsyn till reflexerna mot fasaden.
- Figur 3.6 a,b Geometri utan och med balkong som ljudskärmande  
element.
- Figur 3.7 Modell och mätupställning.
- Figur 3.8 Referensspektrum för vägtrafikbuller enligt Oldham/  
Mohsen (1977): -·-·-, och enligt Jonasson (1974) ~~·-·-·~~
- Figur 3.9 Sammanställning av geometriska parametrar. Mått  
avser  $m$  i verklig skala. Balkongbredden var i samt-  
liga fall 3 m.
- Figur 3.10 Teoretiska och mätta reduktionstalskurvor för glas  
och acetat. Glas: —, teoretisk: ●—●, mätt.  
Acetat: —, teoretisk: ○—○ mätt.
- Figur 3.11 Uppmätta tillskottsdämpningar i dBA för balkong  
med resp utan glasad fönsteröppning.
- Figur 3.12a,b Korrelation mellan mätt tillskottsdämpning inom-  
hus  $\Delta L_{binne}$  och beräknad tillskottsdämpning  $\Delta L_b$  av  
infallande ljudeffekt för balkongen på första  
våningsplanet. Vägavstånd 7,5 m resp 12,5 m från  
fasaden. Regressionslinje: —, 95% konfidens-  
intervall: -----
- Figur 3.13a,b Korrelation mellan mätt tillskottsdämpning inomhus  
 $\Delta L_{binne}$  och beräknad tillskottsdämpning  $\Delta L_b$  av in-  
fallande ljudeffekt för balkongen på  tredje   
våningsplanet. Vägavstånd 7,5 m resp 12,5 m från fasaden.  
Regressionslinje: —, 95% konfidensintervall:  
-----
- Figur 3.14a,b Korrelation mellan mätt tillskottsdämpning inomhus  
 $\Delta L_{binne}$  och beräknad tillskottsdämpning  $\Delta L_b$  av in-  
fallande ljudeffekt för balkongen på  fjärde   
våningsplanet. Vägavstånd 7,5 m resp 12,5 m från fasaden.  
Regressionslinje: —, 95% konfidensintervall:  
-----



- Figur 3.15a,b Kumulativa ljudnivåer inomhus utan (—) och med (—·—) balkong på våning 1, 3 resp 5. Uppskattade ekvivalenta ljudnivåer  $L_{Aq}$  har markerats med fylld cirkel.
- Figur 3.16 Sektion genom balkong med mätpunkternas lägen.
- Figur 3.17 Skillnad  $\Delta L_{Aq}$  mellan ekvivalent ljudnivå i en referenspunkt 2,4 m framför balkongen och i punkter på olika höjd över balkonggolvet. Normalt balkongutförande.
- Figur 3.18 Reduktion av  $L_{Aq}$  i punkter på olika höjd över balkonggolvet vid absorbentbeklädning. (1) enbart tak, (2) enbart tak och bakvägg, (3) samtliga ytor.
- Figur 3.19 Skillnad  $\Delta L_{Aq}$  mellan ekvivalent ljudnivå i en referenspunkt 2,4 m framför balkongen och i punkter på olika höjd över balkonggolvet vid absorbentbeklädning. (1) enbart tak, (2) enbart tak och bakvägg, (3) samtliga ytor.
- Figur 3.20 Balkongutförning och mikrofonplaceringar.
- Figur 3.21 Tillskotts-dämpningen inom olika oktavband för balkongfall 6.
- Figur 3.22 Fasad utan balkonger
- Figur 3.23 Balkongutförningar utan absorbentbeklädning: (1) tätt tak och golv, glest räcke; (3) tätt tak, golv och räcke; (5) tätt tak, golv, räcke samt tre täta sidoväggar.
- Figur 3.24. Definition av geometri vid mätning med högtalare.
- Figur 3.25a,b Uppmätt ljudisolering  $D_{ni}$  i mättrum 1 (undre kurvskala) och 2 (övre kurvskala): utan balkong, ———; balkongtyp (5), -----; balkongtyp (6), ······; a) höjdvinkel  $\phi=30^\circ$ , sidvinkel  $\gamma=0$ , b) höjdvinkel  $\phi=30^\circ$ , sidvinkel  $\gamma=54$  resp  $64^\circ$ .
- Figur 3.26 Referensspektrum för vägtrafikbuller enligt Gilbert et al (1968).

## 1 INLEDNING

Vägtrafiken är den idag mest utbredda och för bullersituationen i bostäder oftast mest störande bullerkällan. Speciellt gäller detta städer och andra tätbebyggda områden.

Vid nybyggnad av väg eller bostäder i glesbebyggda områden som t ex städernas ytterområden kan man i allmänhet skapa en acceptabel bullermiljö både ute och inne. Exempel på åtgärder som då kan tillämpas är lämplig orientering och placering av husen, stort avstånd mellan hus och väg, bullerdämpande skärmar eller vallar utefter vägen.

Vid byggnation inom tätbebyggda innerstadsdelar är däremot tillämpliga bullerdämpande åtgärder oftast mycket begränsade. De åtgärder vad gäller bullermiljön inne som normalt diskuteras vid förnyelse eller ombyggnad i centrala stadsdelar är fönster med hög ljudisolering, ljuddämpade friskluftsintag eller tilluftssystem.

För flerrumslägenheter i nya hus kan bullermiljön inne påverkas genom planlösningen. Enligt trafikbullerutredningens förslag SOU (1974) bör vid nybebyggelse invid större trafikleder och förnyelse av befintlig bebyggelse ljudnivån utanför fönstret till minst hälften av boplingsrummen i en lägenhet vara  $\leq 55$  dBA för dygn. Denna gräns är satt med tanke på att man med öppet fönster skall kunna få en acceptabel inomhusmiljö. För fårumslägenheter är det dock inte alltid möjligt att undvika en ensidig orientering mot gatan. Vid ombyggnad av äldre hus är det svårt att förändra planlösningen.

Då det gäller utemiljön förläggs uteplatsen inom flerfamiljsbostäder ofta så att fastigheten fungerar som bulleravskärmning mot vägtrafiken. Många lägenheter inom befintlig bebyggelse har dock balkonger orienterade åt gatan. Även nya fastigheter förses av olika skäl med balkonger mot gatan.

Det är därför värdefullt om man genom en lämplig utformning av sådana balkonger kan förbättra trafikbullermiljön inne både vid öppet och stängt fönster. Resultat i litteraturen visar att ljudnivåsänkningar på upp till ca 10 dBA kan uppnås i vissa fall. Balkongens tillskottsdämpning kan leda till lägre krav på ljudisoleringen hos fönster, balkongdörrar och eventuella friskluftsintag. Dessutom kan utemiljön på balkongen förbättras.

Syftet med föreliggande projekt är att på sikt få fram en lämplig beräkningsmetod och/eller en sammanställning av empiriska resultat för balkongens ljuddämpning mot i första hand vägtrafikbuller vid olika balkongutformningar. Projektarbetet som redovisas i denna rapport har omfattat en sammanställning av i litteraturen redovisade teoretiska och experimentella arbeten på balkongers ljuddämpande effekt.



## 2 PROBLEMSTÄLLNING

Ur ljudsynpunkt fungerar vissa delar på balkongen som avskärmningar medan andra fungerar som reflektorer. Ljudfältet på balkongen kommer därför att byggas upp av ljudvågor som dels påverkats av skärmar dels reflekterats mot olika ytor på balkongen.

Skärmningsegenskaperna som varierar med ljudvåglängden, dvs är frekvensberoende, beror bl a på skärmens storlek, ljudkällans och mottagarens avstånd till skärmen i förhållande till ljudvåglängden. Även reflektorernas inverkan är våglängdsberoende men beror också i hög grad på ytans akustiska reflexionsförmåga, som också kan vara frekvensberoende.

Ljudfältet på balkongen kan således förväntas ha en mycket komplicerad uppbyggnad och vara svårt att bestämma noggrant enbart på teoretisk grund. Därmed blir det indirekt även svårt att bestämma ljudfältet inomhus.

Exempel på parametrar som kan vara aktuella och ingå i en beräkningsmodell för bestämning av balkongers dämpning av vägtrafikbuller är bl a.

- o djup, bredd och höjd hos balkongen
- o balkongräckets täthet och höjd
- o sidoväggar och bredden hos dessa
- o med och utan ovanpåliggande balkong
- o indragen resp utanpåliggande balkong
- o placering, omfattning samt typ av ljudabsorbenter
- o balkongens läge (höjd, avstånd) i förhållande till vägen

Vidare är det önskvärt att kunna bestämma ljudfältets variation på balkongen med hänsyn till bl a betydelsen av fönsteröppningars och eventuella friskluftintags placering.

Normalt är man i vägtrafikbullersammanhang intresserad av A-vägda ljudnivåer ute och inne. Eftersom trafikbullret, balkongens, fönsterkonstruktionernas och rummets akustiska egenskaper är frekvensberoende måste detta kunna beaktas i beräkningsmetoden. Det frekvensområde som vanligen är betydelsefullt för bestämningen av A-vägda ljudnivåer omfattar oktavbanden med mittfrekvenser 125-2000 Hz.

Det expositionsått som skall användas vid bedömning enligt SOU (1974) är ekvivalenta ljudnivåer i dBA för dygn som definieras

$$(2.1) \quad L_{Aq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{10}^{L_A(t)/10} dt$$

där  $L_A(t)$  är momentana ljudnivån i dBA och T är aktuellt tidsintervall (t ex dygn). Detta innebär att man normalt måste ta hänsyn till bullerkällorna på i stort sett hela vägavsnittet som kan ses från balkongen. Balkongens dämpningseffekt kan förväntas variera med riktningen till bullerkällan, vilket också måste kunna beaktas.



### 3 LITTERATURSTUDIER

#### 3.1 Allmänt

Målet för litteraturstudien har varit att ta fram dels eventuella existerande beräkningsmodeller dels sådana mätresultat som kan ligga till grund för en beräkningsmetod.

I de genomgångna referenserna är endast en teoretisk modell redovisad som avser beräkning av balkongers tillskottsdämpning. Metoden som presenterats av Oldham/Mohsen (1977), (1979) är även tillämplig på atriumgårdar ("courtyards"). En likartad men något enklare metod, som tillämpats på atriumgårdar, har redovisats av Ettouney/Fricke (1973) och Fricke (1977). I avsnitt 3.2 återges metoden enligt Oldham/Mohsen.

Ett flertal referenser behandlar experimentella undersökningar både i modellskala och i fullskala. Studier av atriumgårdar (i markplanet) har bedömts vara av mindre intresse för aktuellt projekt. Resultat som presenterats av Ettouney/Fricke (1973), Fricke (1977), och Oldham/Mohsen (1979), (1979a) redovisas därför ej här. Vad gäller de förstnämnda referenserna är dessa av mindre intresse eftersom mätningarna gjorts för endast ett smalt frekvensområde (bandbredd 150 Hz, mittfrekvens 2000 Hz).

Oldham/Mohsen (1977), (1979) har genomfört omfattande modellmätningar och jämfört mätta dämpningar med beräknade. Metoden som beskrivs i avsnitt 3.2.2 har använts för beräkningarna. Dessa undersökningar redovisas i avsnitt 3.3.1.

I avsnitt 3.3.2 redovisas en undersökning gjord av May (1979) avseende ljudnivån utomhus på balkonger vid olika absorberbeklädnader på balkongytorna. Denna artikel är den enda av de genomgångna referenserna som behandlar detta problem.

Gustavsson/Einarsson (1973) har genomfört mätningar av balkongutformningens inverkan på ljudtrycksnivåerna inomhus. Mätresultaten avser dämpningsvärden för olika oktavband (63-4000 Hz). Mätningarna beskrivs i avsnitt 3.3.3 nedan.

Gilbert et al (1968) har utfört en studie liknande Gustavssons/Einarssons (1973) men mer omfattande. Bl a har man mätt tersbandsvis (100-3150 Hz) och även utan balkong. Mätresultaten är också mer bearbetade och redovisar bl a balkongernas tillskottsdämpning inomhus i dBA för fallen med öppet och stängt fönster. Gilberts et al studie beskrivs i avsnitt 3.3.4.

#### 3.2 Teoretisk beräkningsmodell

Det har under de senaste 10-20 åren publicerats en mångfald metoder för beräkning av dämpningseffekter av skärmar (t ex jordvallar, plank, byggnader) vid framförallt vägtrafikbuller. Metoderna baseras ofta på teoretiskt/empiriskt underlag. Bl a är det vid skärmdämpningsberäkning väsentligt att beakta inverkan av markytan och dess beskaffenhet både framför och bakom skärmen.



Den beräkningsmetod som Oldham/Mohsen (1977) har angett bygger på en teori för halvoändliga skärmar och punktljudkälla i fri rymd, som presenterats av Kurze/Anderson (1971). Denna teori gäller således för fallet utan mark på ömse sidor om skärmen. Oldham/Mohsen har tagit hänsyn till sådana ytor genom att tillämpa ett speglingsförfarande för ljudkälla och mottagarpunkt.

I avsnitt 3.2.1 återges kortfattat Kurze/Andersons teori och i avsnitt 3.2.2 beskrivs Oldham/Mohsens beräkningsmetod.

### 3.2.1 Skärmteori

Kurze/Anderson (1971) har härlett tillskottsdämpningen p g a diffraction kring ett skärmkrön vid ljudutbredning från en punktkälla. Skärmen antas vara en tunn, styv, hård och halvoändlig platta.

Skärmdämpningen  $\Delta L$ , uttryckt i dB definieras som skillnaden i ljudtrycksnivå utan  $L_{pu}^{ps}$  och med  $L_{pm}$  skärm.

$$(3.1) \quad \Delta L_{ps} = L_{pu} - L_{pm} \quad \text{dB}$$

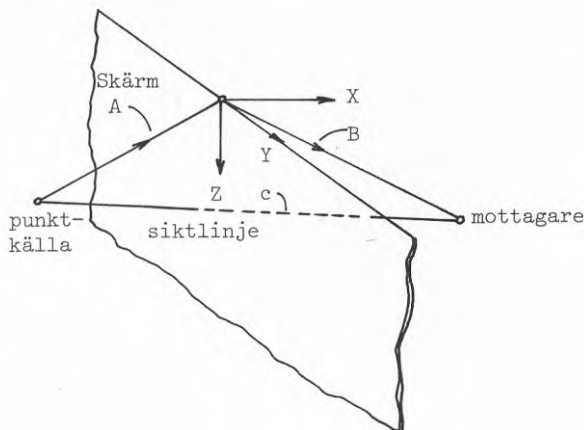
Skärmdämpningen varierar med geometri och ljudets våglängd, dvs är frekvensberoende vid given geometri. Som parameter för att ange skärmdämpningen använder Kurze/Anderson Fresnels tal

$$(3.2) \quad N = 2d/\lambda$$

där  $\lambda$  är ljudvåglängden och  $d$  är gångvägsskillnaden som med beteckningar enligt figur 3.1 nedan kan skrivas

$$(3.3) \quad d = \pm (A + B - c)$$

där negativt tecken gäller då siktlinjen mellan punktkälla och mottagare inte bryts av skärmen.



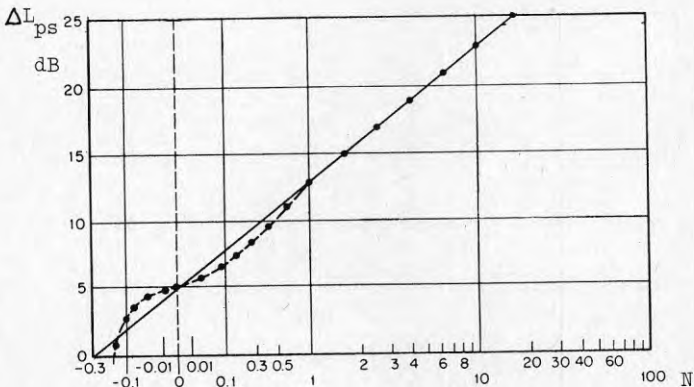
Figur 3.1 Perspektivskiss av skärm.



Dämpningen som funktion av Fresnels tal  $N$  kan då skrivas

$$(3.4) \quad \Delta L_{ps} = \begin{cases} 20 \log (\sqrt{2\pi N} / \tanh \sqrt{2\pi N}) + 5 \text{ dB} & \text{för } N \gg 0 \\ 20 \log (\sqrt{2\pi |N|} / \tan \sqrt{2\pi |N|}) + 5 \text{ dB} & \text{för } 0 > N > -0,2 \\ 0 & N < -0,2 \end{cases}$$

I figur 3.2 nedan anges (punkter) dämpningen enligt formel (3.4). I diagrammet redovisas (heldragen linje) för jämförelse även resultaten (regressionslinje) av mätningar utförda av Maekawa (1968). Notera den speciella skalan på abscissan för  $N < 1$ , som använts av Maekawa för att få en rät linje i diagrammet.



Figur 3.2 Skärmdämpning  $\Delta L_{ps}$  vid punktljudkälla och halvoändlig skärm i fri rymd som funktion av Fresnels tal  $N$ . Enligt Maekawa (1968):  
 ———. Enligt formel (3.4): •—•—•—•—•.

Som framgår av figur 3.2 är skillnaderna mellan teoretiska och mätta värden små, < ca 1 dB.

Det bör noteras att Kurze/Andersons teori endast ger beloppet av skärmdämpningen och ingen information om fasen hos ljudvågorna som når mottagarpunkten. Teorin medger därför inte en fasriktig addition av direktljud resp reflekterat ljud framför fasad. En okritisk tillämpning av teorin för att bestämma skärmdämpningar i t ex mottagarpunkter som ligger nära reflekterande ytor kan därför leda till fel. Betydelsen av fasriktig addition är mest accentuerad vid bestämning av dämpningar inom smala frekvensband, se Lindblad (1977).

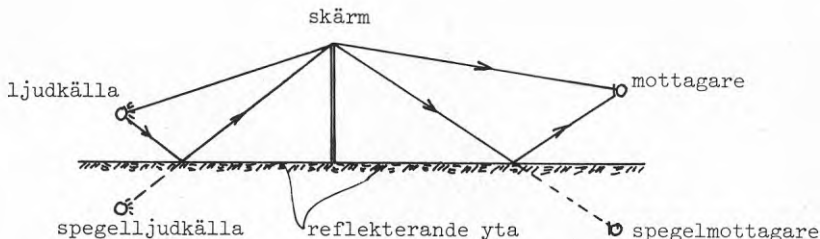
### 3.2.2 Beräkningsmodell för balkongers tillskottsdämpning

Beräkningsmodellen enligt Oldham/Mohsen (1977), (1979) är avsedd för beräkning av balkongers dämpning av ljudnivån både inne och ute. Den kan också tillämpas på atriumgårdar ("courtyards").

Modellen bygger på följande antaganden.

- o balkongen betraktas som en skärm. Skärmdämpningen beräknas enligt Kurze/Andersons teori för punktkälla beskriven i avsnitt 3.2.1 ovan.
- o ljudtrycksnivån inomhus är direkt relaterad till den ljudeffekt som faller in mot öppningar (fönster, dörrar) i fasaden.

- o ljudtrycksnivån utomhus i en punkt är relaterad till ljudintensiteten hos infallande ljudvågor.
- o hänsyn till ljudreflexer mot marken på källsidan och golv, väggar etc på mottagarsidan tas genom spegling av ljudkälla resp mottagarpunkt enligt principen i figur 3.3 nedan. Reflekterade ljudvågor dämpas genom absorption i proportion till ytans ljudabsorptionsfaktor.
- o samtliga ljudbidrag från olika spegelljudkällor resp mottagare antas okorrelerade. Ljudintensiteterna adderas utan hänsyn till inbördes fasrelationer mellan olika ljudvågor.



Figur 3.3 Spegling av ljudkälla och mottagare vid reflekterande ytor.

Beträffande dessa antaganden kan man notera följande.

Kurze/Anderssons teori gäller för halvoändliga skärmar. Vid applikation i balkongfallet sker diffraktion kring en ändlig del av skärmen (= balkongräcket).

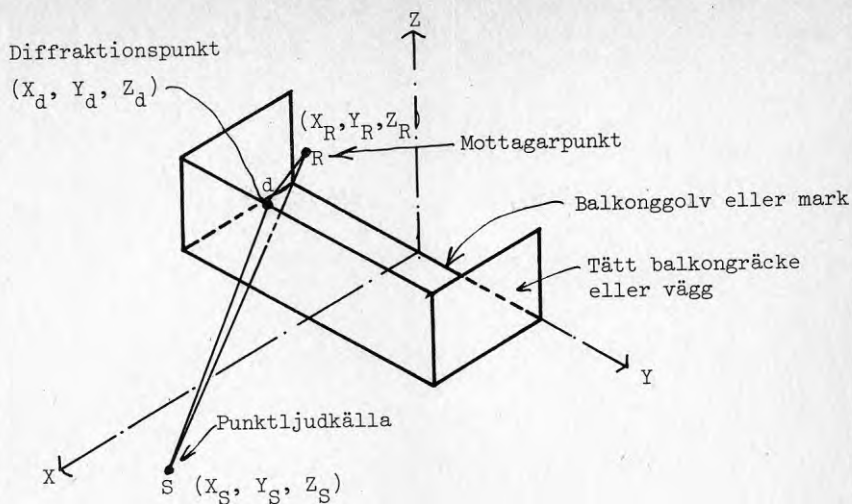
Att basera ljudtrycksnivån inomhus på infallande ljudeffekt är diskutabelt när det gäller ett brett frekvensområde, i aktuellt fall oktavbanden 125-2000 Hz. Man tar då inte hänsyn till fönstrets och rummets frekvensberoende akustiska egenskaper. Normalt varierar fönstrets ljudisolering avsevärt inom det intressanta frekvensområdet. Det andra antagandet förutsätter också att de aktuella öppningarna är dominerande för fasadens ljudtransmission och har likvärdig ljudtransmissionsförmåga.

Det sistnämnda antagandet kan som påpekats i avsnitt 3.2.1 vara irrelevant för beräkning av ljudtrycksnivåer utomhus i punkter nära reflekterande ytor. För beräkning av vägtrafikbullernivån i dBA i punkter som inte ligger alltför nära ljudreflekterande ytor torde dock antagandet vara rimligt, jfr Lindblad (1977).

Beräkningsgången enligt modellen beskrivs nedan.

#### Ljuddämpning utomhus

Antag först att reflexer mot vägbana, balkonggolv etc kan försummas. Med beteckningar enligt figur 3.4 blir beräkningsgången enligt följande.



Figur 3.4 Geometri vid beräkning av ljuddämpning utomhus.

Den direkta (oskärmade) ljudvägen från punktljudkällan S till mottagarpunkten R är

$$(3.5) \quad \overline{SR} = \{(X_S - X_R)^2 + (Y_S - Y_R)^2 + (Z_S - Z_R)^2\}^{1/2}$$

Den oskärmade ljudintensiteten vid mottagarpunkten R, dvs utan balkong är

$$(3.6) \quad I_0 = W/4\pi \overline{SR}^2$$

där W är ljudkällans ljudeffekt. Ljudvägens längd för det skärmade (diffraktion via balkongräckets kant) ljudet är

$$(3.7) \quad \overline{SdR} = \{(X_S - X_d)^2 + (Y_S - Y_d)^2 + (Z_S - Z_d)^2\}^{1/2} \\ + \{(X_R - X_d)^2 + (Y_R - Y_d)^2 + (Z_R - Z_d)^2\}^{1/2}$$

För att bestämma ljudintensiteten i mottagarpunkten i det skärmade fallet används skärmdämpningsteorin enligt Kurze/Anderson, se avsnitt 3.2.1. Dämpningsparameter är Fresnels tal

$$(3.8) \quad N_j = 2d/\lambda_j = 2(\overline{SdR} - \overline{SR})/\lambda_j$$

där  $\lambda_j$  är ljudvåglängden. Eftersom dämpningen är frekvensberoende görs beräkningarna tersbandsvis. Därvid är  $\lambda_j$  = ljudvåglängden vid j:te tersbandets mittfrekvens. Ljudkällans totala akustiska effekt W antas uppdelad på J tersband enligt

$$(3.9) \quad W = \sum_{j=1}^J w_j \cdot A_j$$

där  $w_j$  är den akustiska effekten inom  $j$ :te tersbandet.  $A_j$  är de linjära värdena av de vägningsfaktorer som används vid A-vägning av ljudeffektspektrum. Utan A-vägning sätts alla  $A_j=1$ .

Den skärmade ljudintensiteten inom  $j$ :te frekvensbandet blir nu

$$(3.10) \quad I_{Sj} = w_j \cdot A_j \cdot D_j / 4 \sqrt{SR}^2$$

där

$$D_j = 10^{-\frac{\Delta L_{psj}}{10}} = \text{skärmdämpningen inom } j\text{:te frekvensbandet;}$$

$\Delta L_{psj}$  är skärmdämpningen i dB enligt formel (3.4) i avsnitt 3.2.1.

Den totala skärmade ljudintensiteten summerad över alla  $J$  tersbanden är således

$$(3.11) \quad I_S = \sum_{j=1}^J I_{Sj}$$

Med formel (3.6), (3.9) och (3.11) erhålls bredbandsdämpning (hela det studerade frekvensområdet) uttryckt i dB eller dBA som

$$(3.12) \quad \Delta L_b = 10 \log (I_0 / I_S) =$$

$$= 10 \log \left( \frac{\sum_{j=1}^J w_j A_j / 4 \sqrt{SR}^2}{\sum_{j=1}^J w_j A_j D_j / 4 \sqrt{SR}^2} \right) \text{ dB, dBA}$$

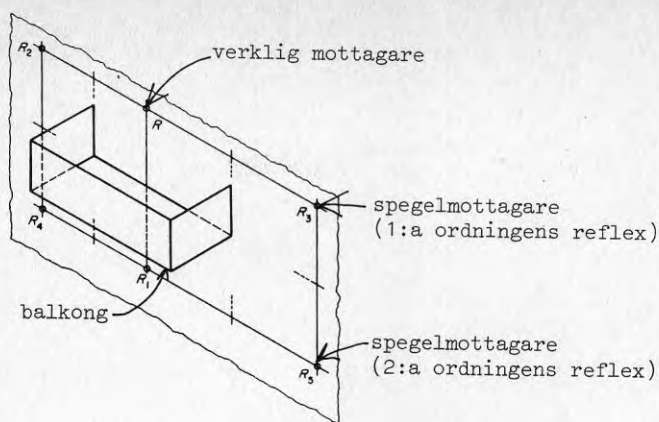
På motsvarande sätt kan hänsyn tas till reflekterande ytor genom att ljudkälla resp mottagarpunkter speglas i väggbana respektive balkongens väggar och golv enligt principen i figur 3.3 ovan.

Balkongens ljuddämpning bestäms genom att addera ljudintensiteterna i alla tänkbara mottagarpunkter (verkliga och speglade) från verklig och speglad ljudkälla med respektive utan balkong.

Den totala bredbandiga dämpningen motsvarande formel (3.12) då alla tänkbara ljudvägar beaktas kan skrivas

$$(3.13) \quad \Delta L_{bute} = 10 \log \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w_j A_j (1 - \alpha_{jk}) / \sqrt{SR}_k^2}{\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w_j A_j D_{jk} (1 - \alpha_{jk}) / \sqrt{SR}_k^2} \quad \text{dB, dBA}$$

där  $k$  anger den aktuella ljudvägen och  $\alpha_{jk}$  ljudabsorptionskoefficienten som är associerad med tersband  $j$  och ljudväg  $k$  (t ex reflexion mot ljudabsorberande balkongvägg). Utan skärm finns det bara 4 ljudvägar - från verklig respektive speglad ljudkälla till mottagare. I det skärmade fallet finns det 24 tänkbara vägar - 2 källpunkter och 12 mottagarpunkter - om både första och andra ordningens reflexer beaktas. Detta illustreras i figur 3.5 nedan.

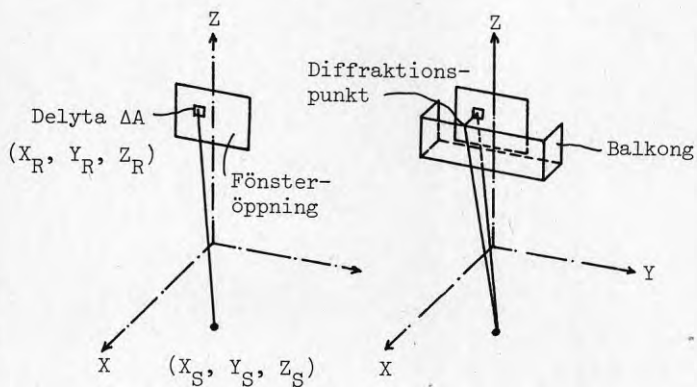


Figur 3.5 Princip för spegling av mottagarpunkter i reflekterande ytor på balkong. Mottagarpunkten ligger i fasadens plan. Varje mottagarpunkt räknas därför som 2 för att ta hänsyn till reflexerna mot fasaden.

Endast sådana ljudreflexer som verkligen kan nå mottagarpunkten skall beaktas i formel (3.13).

#### Ljuddämpning inomhus

I princip samma metod som beskrivits ovan används, men istället beräknas den ljudeffekt som faller in mot fönsteröppningar utan och med balkong. Fönsteröppningen delas därvid in i mindre delytor  $\Delta A$ , se figur 3.6. Ljudintensiteten antas konstant över resp delyta.



Figur 3.6 a,b. Geometri utan och med balkong som ljudskärmande element.

Ljudeffekten  $\Delta W$  som faller in mot en delyta kan skrivas

$$(3.14) \quad \Delta W = \left( \frac{W}{4\pi SR^2} \right) \cdot \Delta A \cdot \cos\theta$$



där  $\overline{SR}$  är avståndet från punktkällan till ytelementets mitt och  $\theta$  är ljudets infallsvinkel relativt ytelementets normalriktning. Vinkel  $\theta$  bestäms av sambandet, jfr figur 3.6.

$$(3.15) \quad \cos \theta = X_S / \overline{SR}$$

Den totala effekten som faller in mot fönsteröppningen erhålls genom att summera delbidragen till varje delyta  $\Delta A$ .

För att beräkna balkongens skärmningseffekt måste man som tidigare dela in ljudkällans ljudeffektspektrum i frekvensband, formel (3.9). Vidare skall skärmdämpningen beräknas till varje delement och eventuella spegelljudkällor resp -mottagare beaktas.

Den totala bredbandiga dämpningen inne kan då skrivas, jfr formel (3.13).

$$(3.16) \quad \Delta L_{\text{binne}} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^{m \cdot n} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 w_j \cdot A_j (1 - \alpha_{ijk}) \overline{SR}_{ik}^3}{\sum_{i=1}^{m \cdot n} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w_j \cdot A_j \cdot D_{ijk} (1 - \alpha_{ijk}) \overline{SR}_{ik}^3} \text{ dB, dBA}$$

där  $i$  anger mottagarpositionen på fönsteröppningen som delats in i  $m \cdot n$  delytor. I detta fall är endast 12 skärmade ljudvägar möjliga eftersom man studerar mot fasaden infallande ljudintensitet, jfr figur 3.5 ovan.

Det skall påpekas att Oldham/Mohsen använt samma vinkel  $\theta$ , formel (3.15), både utan och med balkong. Detta förefaller något tveksamt men det att ljudvägens infallsriktning förändras på grund av diffractionen, vid balkongräckets krön, jfr figur 6b. Infallsvinkeln  $\theta'$  torde för de aktuella balkongfallen då bli mindre än  $\theta$ , dvs  $\cos \theta' > \cos \theta$ . Infallande ljudeffekt, jfr formel (3.14), blir i så fall högre än den som Oldham/Mohsen antagit (nämnaren i formel (3.16)). Därmed blir beräknad dämpning på balkongen lägre.

Notera att formel (3.16) ger sänkningen av ljudnivån i dBA inomhus enbart under förutsättning att fönsteröppningens ljudreduktion och rummets inverkan (absorption) är frekvensoberoende.

I de fall man har fönster är ljudreduktionen hos dessa normalt kraftigt frekvensberoende. Utan balkong dominerar den A-vägda infallande ljudeffekten av högfrekventa komponenter medan inomhusnivån dominerar av lågfrekventa komponenter. Eftersom balkongen skärmar de högfrekventa komponenterna mest ger formel (3.16) en överskattning av ljudnivåsänkningen inomhus. Beräkningsförfarandet skulle dock kunna utvecklas ytterligare genom att istället beräkna till rummet transmitterad ljudeffekt samt ta hänsyn till rummets ljudabsorption inom olika frekvensband.

I fallet med öppet fönster varierar dock öppningens ljuddämpning relativt lite med frekvensen.

### 3.3 Experimentella resultat

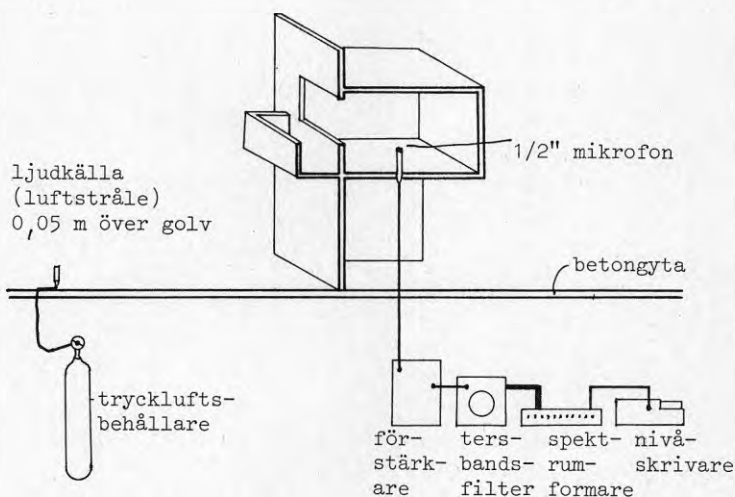
#### 3.3.1 Modellmätningar enligt Oldham/Mohsen (1977), (1979)

Resultaten nedan har i huvudsak hämtats från den senare artikeln (1979).

Jämförelse har gjorts mellan mätta och beräknade dämpningar av den A-vägda ljudnivån inomhus för utbyggda balkoner. I samtliga mätfall användes endast en balkong. Inverkan av t ex intilliggande eller ovanförliggande balkonger har således inte studerats. Både fasad och balkong var i samtliga fall utförd av akustiskt relativt hårt material (ljudabsorptionsfaktor  $< 0.1$ ). Mätningarna har begränsats till att bestämma A-vägda ljudnivåer.

#### Modell

Modellen av uppbyggd av lamellträ i skala 1:10. Modelluppbyggnad och mätuppställning framgår av figur 3.7.



Figur 3.7 Modell och mätuppställning

Mätningarna gjordes i ett ljuddött rum med golv av betong, som utgjorde markyta i modellen. Betongens ljudabsorption är försumbar i detta fall.

Modellrummet motsvarar ett normalt bostads- eller kontorsrum med dimensionerna  $3 \times 4 \times 2,8 \text{ m}^3$  (bredd x djup x höjd). För att efterlikna ett vanligt rum försågs golvet med ljudabsorberande täcksikt som gav en efterklangstid om ca 0,05 sekunder. Detta motsvarar 0,5 sekunder i verklig skala (typiskt värde för möblerade rum).



Tre olika fasadöppningar och fyra olika balkongutformningar studerades. Balkongbredden var i samtliga fall lika med rummets bredd, 3 m. De olika fasadutformningarna samt övriga varianter av balkongplacering, fasadläge etc redovisas i figur 3.9 nedan.

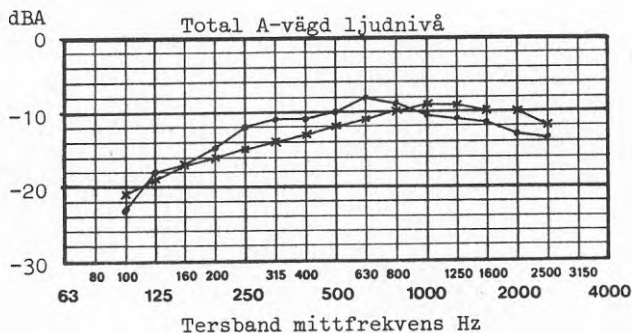
Det övervägande antalet mätningar gjordes utan "fönster" i fönsteröppningar. För att simulera en fönsterkonstruktion (enkelglas) användes en tunn acetatskiva.

#### Mätförfarande

Ljudkällan utgjordes av en stationär luftstråle vars frekvensspektrum var bredbandigt och utan rena tonkomponenter. Ljudkällans uteffekt uppgavs reproducerbar inom  $\pm 2$  dB. Vidare var ljudkällan tämligen rundstrålande i horisontalplanet. Vertikalt däremot uppgick maximala avvikelser till ca 7 dB.

Ingen korrektion har gjorts för luftabsorptionen. Maximal inverkan var för aktuella mätavstånd  $< 0.5$  dBA.

Ljudkällans spektrum överensstämde inte med verkligt referensspektrum enligt figur 3.8. Detta har kompensrats på mottagarsidan med en spektrumformare bestående av ett antal prallellkopplade tersbandsfilter.







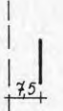




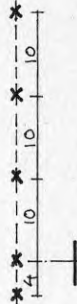


Figur 3.8 Referensspektrum för vägtrafikbuller enligt Oldham/Mohsen (1977): —●— och enligt Jonasson (1974): —×—

Som jämförelse visas i figur 3.8 referensspektrum enligt Jonasson (1974) vilket ligger till grund för den samnordiska beräkningsmetoden för vägtrafikbuller, statens naturvårdsverk (1979). Jonassons spektrum är som synes något mer högfrekvent.

I mottagarrummet mättes ljudnivån i 5 eller 9 mätpositioner 0,1 m (1 m i full skala) över golvet.

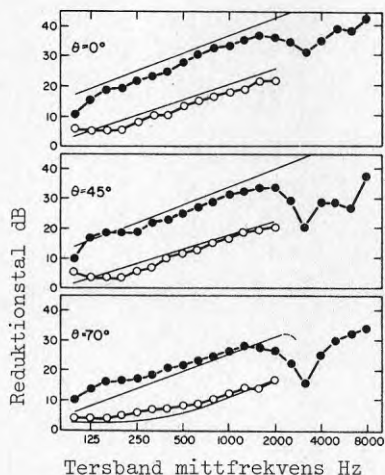
Totalt omfattade mätningarna 270 olika fall. En sammanställning av de ingående geometriska parametrarna ges i figur 3.9.

Fönster- öppning (m)	Balkong- typ (m)	Mikrofon- position	Avstånd till väg (m)	Fasad- orien- tering	Käll- position (m)	Vånings- plan, höjd
 1,3 x 1,5	   	 höjd över golv = 1 m	 	  		1:a 4 m 3:e 10,2 m 4:e 13,3 m

Figur 3.9 Sammanställning av geometriska parametrar. Mått avser m i verklig skala. Balkongbredden var i samtliga fall 3 m.

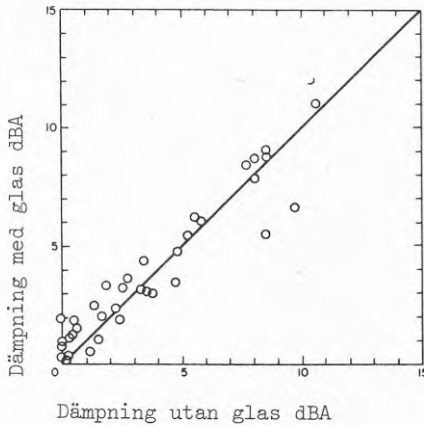
#### Mätresultat

Ett begränsat antal fall studerades med och utan "glas" i fönsteröppningen. I figur 3.10 nedan redovisas reduktionstalskurvan för en enkelruta av verkligt fönsterglas respektive modellglaset vid olika infallsvinklar (mot fönstrets normal). Som synes är frekvensberoendet likartat utom för de lägsta frekvensbanden.



Figur 3.10 Teoretiska och mätta reduktionstalskurvor för glas och acetat. Glas: —, teoretisk; ●—●, mätt. Acetat; —, teoretisk; ○—○, mätt.

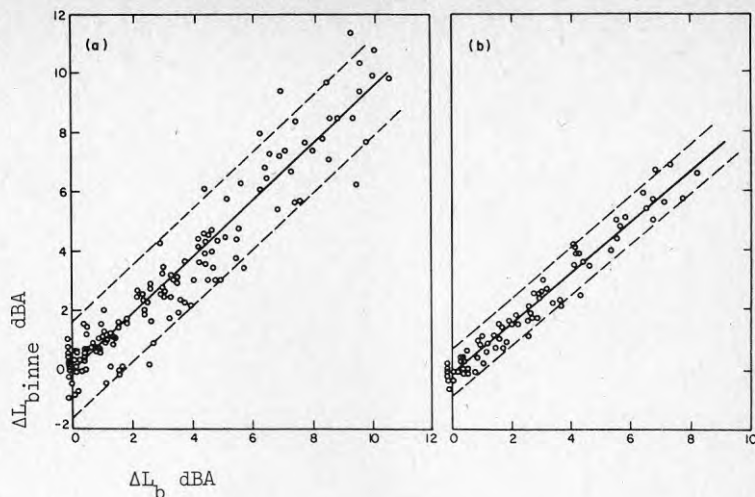
I figur 3.11 nedan jämföres uppmätta balkongdämpningar i dBA med och utan glasad fönsteröppning. Som framgår förändras inte balkongens tillskottsdämpning markant p g a glasningen. Mot bakgrund av detta har merparten av mätningarna genomförts utan glasning för att förbättra signal/brusförhållandet på mottagarsidan.



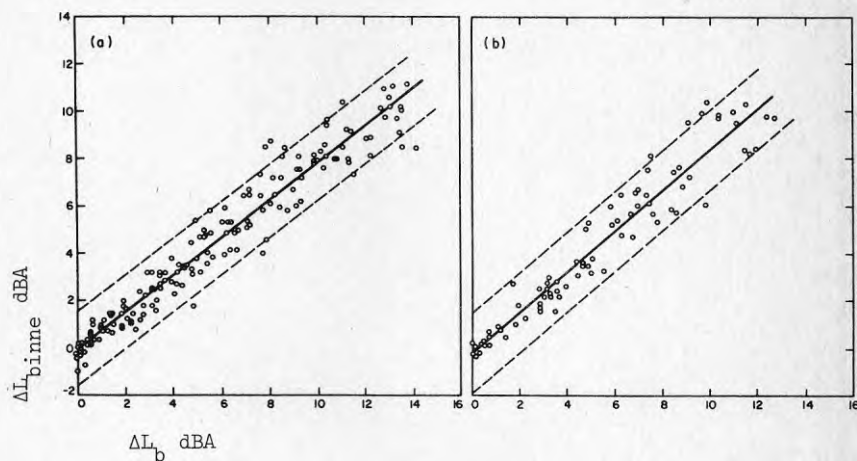
Figur 3.11 Uppmätta tillskottsdämpningar i dBA för balkong med resp utan glasad fönsteröppning.

Det bör påpekas att modellens "fönster" har ett betydligt svagare frekvensberoende än en normal 2- eller 3-glaskonstruktion. Som antytts tidigare i avsnitt 3.2.2 kan man för sådana fönsterkonstruktioner förvänta sig lägre dämpningar i dBA än vid helt öppet fönster.

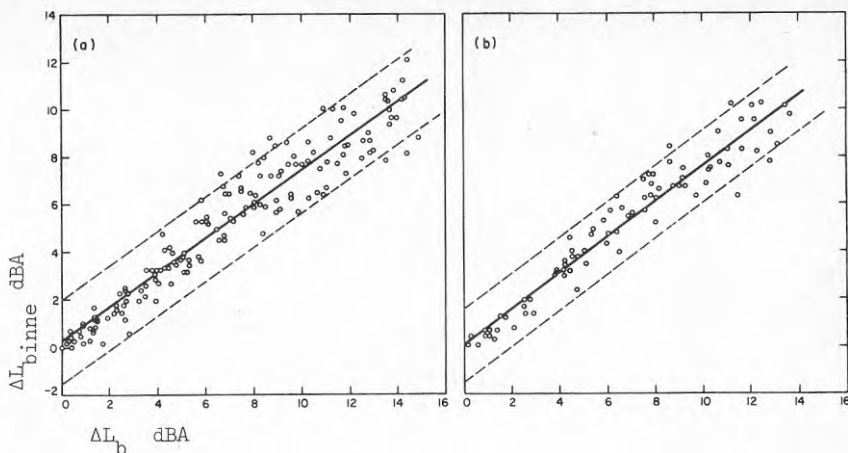
I figur 3.12 - 3.14 nedan redovisas uppmätta och beräknade tillskottsdämpningar för balkonger på olika våningar och för olika avstånd ljudkälla-fasad. Beräkning av tillskottsdämpningar har gjorts med den metod som beskrivits i avsnitt 3.2.2 ovan. Det framgår inte klart av artikeln om hänsyn tagits till reflexer mot balkongens golv eller sidoväggar.



Figur 3.12 a, b. Korrelation mellan mätt tillskotts­dämpning inomhus  $\Delta L_{\text{binne}}$  och beräknad tillskotts­dämpning  $\Delta L_b$  av infallande ljud­effekt för balkongen på första våningsplanet.  $\Delta L_b$  Vägavstånd 7,5 m resp 12,5 m från fasaden. Regressionslinje: —, 95% konfidensinter­vall: - - - - -



Figur 3.13 a, b. Korrelation mellan mätt tillskotts­dämpning inomhus  $\Delta L_{\text{binne}}$  och beräknad tillskotts­dämpning  $\Delta L_b$  av infallande ljud­effekt för balkongen på tredje våningsplanet. Vägavstånd 7,5 m resp 12,5 m från fasaden. Regressionslinje: —, 95 % konfidensinter­vall: - - - - -



Figur 3.14a,b. Korrelation mellan mätt tillskottsdämpning inomhus  $\Delta L_{binne}$  och ber. tillskottsdämpning  $\Delta L_b$  av infallande ljudeffekt för balkongen på fjärde våningsplanet. Vägavstånd 7,5 m resp 12,5 m från fasaden. Regressionslinje: —, 95 % konfidensintervall:----

Mätta och beräknade värden har behandlats med linjär regressionsanalys. De statistiska parametrarna ges i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Statistiska parametrar för figur 3.12 - 3.14

Våningsplan	Avstånd	Korrelationskoefficient	Regressionslinje	Standardavvikelse
1	7,5	0,958	$\Delta L_{binne} = 0,95 \Delta L_b$	0,81 dBA
1	12,5	0,980	$\Delta L_{binne} = 0,85 \Delta L_b - 0,11$	0,40 dBA
3	7,5	0,971	$\Delta L_{binne} = 0,78 \Delta L_b + 0,01$	0,77 dBA
3	12,5	0,964	$\Delta L_{binne} = 0,87 \Delta L_b - 0,20$	0,83 dBA
4	7,5	0,961	$\Delta L_{binne} = 0,73 \Delta L_b + 0,23$	0,88 dBA
4	12,5	0,966	$\Delta L_{binne} = 0,75 \Delta L_b + 0,08$	0,76 dBA

Av resultaten enligt tabell 3.1 dras följande slutsatser i artikeln.

- En hög korrelation finns mellan mätta och beräknade värden.
- En rimlig uppskattning av dämpningen av inomhusnivån kan göras utgående från beräknade dämpningar av mot fönsteröppningen infallande ljudeffekt.
- Lutningen hos regressionslinjen varierar från fall till fall. Vid givet avstånd minskar gradienten med våningshöjden (minskad gradient innebär ökad differens mellan mätta och beräknade värden). Vid given våningshöjd ökar gradienten vid ökat avstånd till vägen.

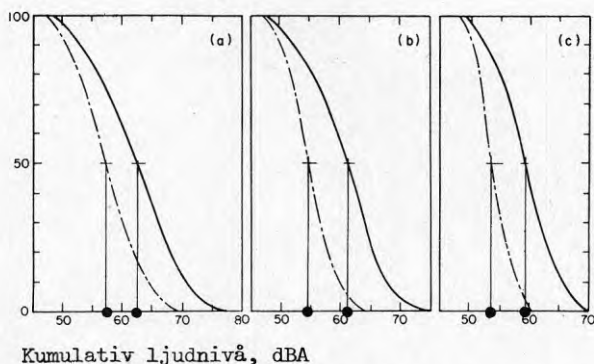
- Regressionslinjens "nollgenomgång" varierar svagt från fall till fall.

Vidare redovisas följande allmänna observationer:

- För en given källposition gav den 2 m djupa och med tätt räcke försedda balkongen högst dämpning. Lägsta värde erhöles för balkongen som var 1 m djup och utan räcke. Detta är ett rimligt resultat m h t olika gångvägsskillnader i de olika fallen.
- För den 2 m djupa balkongen erhöles högre dämpning med källan nära fasaden medan dämpningen blev högre vid de bortre källpunkterna för den 1 m djupa balkongen med räcke. Samma trend erhöles både vid mätning och beräkning.
- Dämpningen varierade lite mellan olika fönsteröppningar. Högst värde erhöles för den "vertikala" och minst för den "horisontella" öppningen. Även här är detta ett rimligt resultat m h t skärmverkan.
- Vid vinkling av fasaden mot vägen erhöles för en given källposition högre dämpning än med fasaden parallell med vägen. Störst dämpning erhöles för de längst bort belägna punkterna.

Det skall också nämnas att man försökt förfina beräkningsmetoden genom att införa en empiriskt baserad korrektionfaktor för regressionslinjens lutning (se tabell 3.1). Korrektionfaktorn var en funktion av balkongens höjd över marken och avståndet till vägen. Förfarandet bedöms dock vara av mindre intresse.

Utgående från de dämpningsvärden som erhöles med punktkällor i olika lägen har Oldham/Mohsen beräknat ljudnivån inomhus vid en fordonsström. Därvid har dämpningen beräknats för ett antal punktljudkällor som antagits vara okorrelerade. Ett exempel på beräknade ljudnivåer utan och med balkong på våningsplanen 1, 3 resp 5 redovisas i figur 3.15. nedan. Exemplet avser 1000 fordon/tim, varav 20 % tunga fordon och hastigheten 50 km/tim. Balkongerna hade djupet 2 m och 1 m högt räcke. Våningsplanen var 4, 10,2 resp. 16,4 m över markytan. Uppgift om avstånd till väg saknas. Diagrammen anger kumulativa ljudnivåer, dvs den ljudnivå som överskrids en viss del av totala tiden. Uppskattade värden på ekvivalenta ljudnivån  $L_{Aq}$  har markerats.



Figur 3.15 a, b, c. Kumulativa ljudnivåer inomhus utan (—) och med (---) balkong på våning 1, 3 resp 5. Uppskattade ekvivalenta ljudnivåer  $L_{Aq}$  har markerats med fylld cirkel.



Av figur 3.15 framgår att dämpningen av de ekvivalenta ljudnivåerna inomhus p g a balkongen är i storleksordningen 6-7 dBA.

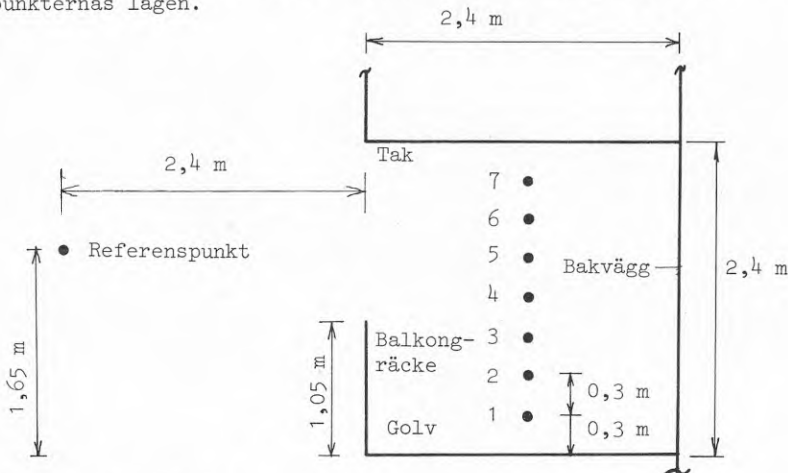
Avslutningsvis kan man konstatera att den av Oldham/Mohsen föreslagna beräkningsmetoden ger förhållandevis god överensstämmelse mellan mätta och beräknade dämpningar av ljudnivån inomhus. Beräkningsmetoden leder dock i genomsnitt till för höga dämpningsvärden. Vidare har man endast studerat fallet med enstaka balkong utan sidoväggar eller tak. M h t de erhållna resultaten bedöms metoden vara intressant att bygga vidare på. Modifieringar som kan vara aktuella är t ex att basera dämpningsberäkningen på den till rummet instrålade ljudeffekten istället för den mot fönsteröppningen infallande ljudeffekten.

### 3.3.2 Fullskalemätningar enligt May (1979)

Syftet med mätningarna var bl a att undersöka ljudnivåfördelningen på en högt belägen balkong och absorpentbeklädners effekt på ljudnivåerna utomhus.

#### Mätobjekt

Mätningarna utfördes på en balkong belägen på 17:e våningen (= 45-50 m över markytan) i ett bostadshus ca 80 m från en 15-filig motorväg. Balkongen var av utanpåliggande typ med tätt räcke och täta sidoväggar. Både över och under fanns motsvarande balkonger. Figur 3.16 visar en sektion genom balkongen och mätpunkternas lägen.



Figur 3.16 Sektion genom balkong med mätpunkternas lägen.

#### Mätningar

Samtliga mätresultat avser ekvivalent ljudnivåer i dBA.

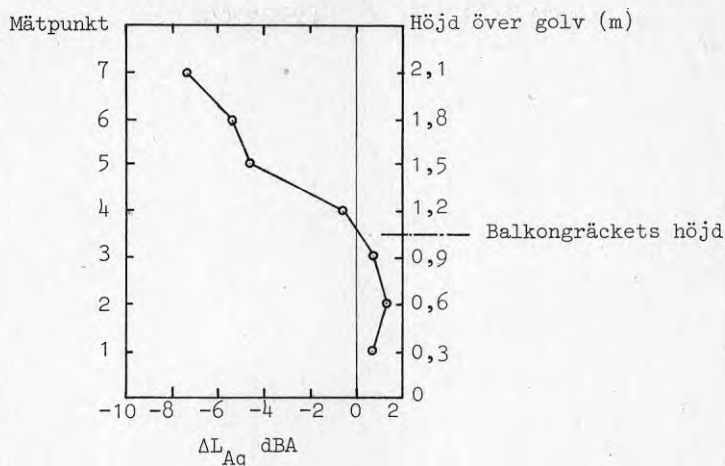
För att bestämma balkongens ljuddämpning mättes ekvivalenta ljudnivåer dels mitt på balkongen på 7 olika höjder (0,3-2,1 m över golv) dels i en referenspunkt 2,4 m framför balkongen, se figur 3.16. Ljudnivåhöjningen i referenspunkten p g a fasadreflexer bedömdes vara ca 3 dBA relativt ljudnivån p g a enbart den infallande ljudvågen (= s k frifältsvärde).

Dessa mätningar genomfördes för balkong i dels normalutförande (hårda ytor) dels med absorpentbeklädnar på olika ytor.



### Mätresultat

I figur 3.17 nedan redovisas för balkongen i normalutförande uppmätta dämpningar relativt ljudnivån i referenspunkten.



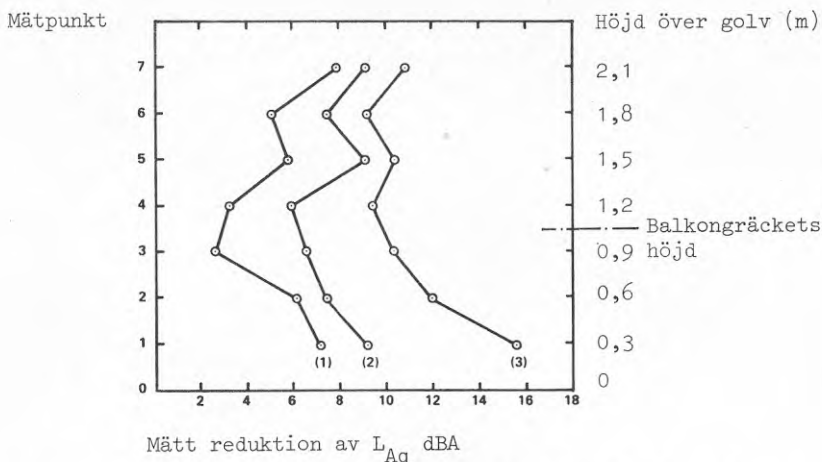
Figur 3.17. Skillnad  $\Delta L_{Aq}$  mellan ekvivalent ljudnivå i en referenspunkt 2,4 m framför balkongen och i punkter på olika höjd över balkonggolvet. Normalt balkongutförande.

Av figur 3.17 framgår att balkongen ger viss dämpning, <2 dBA, i de punkter (1-3) som ligger lägre än balkongräckets överkant. I de högre belägna punkterna erhålls ingen dämpning utan en ljudnivåförstärkning på upp till ca 7 dBA. Enligt May skulle detta sannolikt bero på kombinationen av ett diffust ljudfält och det direkta ljudfältet som faller in mot balkongen.

Mays antagande om att det "diffusa" ljudfältet skulle bidra nämnvärt förefaller dock något omotiverat. Av dämpningsvärdena i de lägre punkterna, där det "diffusa" bör dominera, framgår att detta ljudfält medför 6-8 dBA lägre ljudnivåer än de som erhålles i de högre belägna punkterna. Det förefaller troligare att det är kombinationen av ljudreflexerna mot taket, bakväggen och sidoväggarna som medför den kraftiga ljudförstärkningen (jfr Oldham/Mohsens beräkningsmetod i avsnitt 3.2.2 ovan).

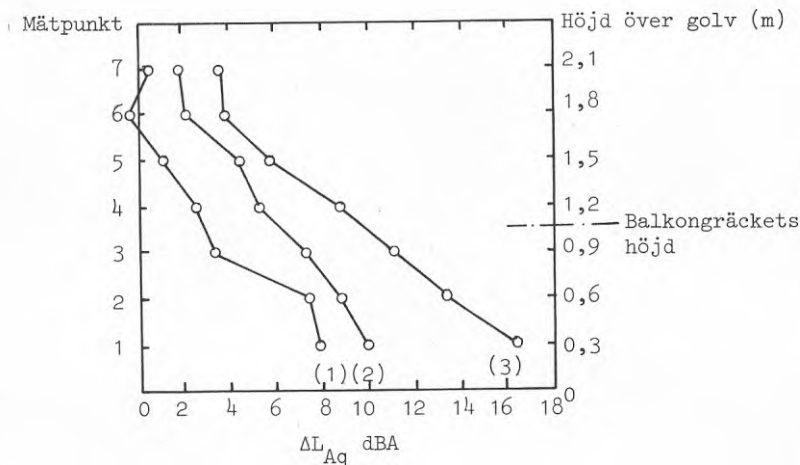
Motsvarande mätningar har gjorts med absorberbeklädnad på olika ytor: (1) enbart tak, (2) enbart tak och bakvägg, (3) alla ytor (även golv). Absorbenten var av 25 mm tjock glasfiberull (volymvikt 70 kg/m<sup>3</sup>) monterad med 30 mm luftspalt bakom. Absorptionskoefficienten i frekvensområdet runt 500 Hz anges till ca 0,9.

I figur 3.18 nedan redovisas uppmätta dämpningar i de tre absorberfallen. Angivna dämpningar är relaterade till ljudnivån på balkongen utan absorber.



Figur 3.18 Reduktion av  $L_{Aq}$  i punkter på olika höjd över balkonggolvet vid absorpentbeklädnad. (1) enbart tak, (2) enbart tak och bakvägg, (3) samtliga ytor.

Av figur 3.18 framgår att absorpentbeklädnaderna har en avsevärd ljudreducerande effekt som ökar med mängden ljudabsorbenter. Det är också intressant att studera totaleffekten av en absorpentbeklädd balkong. I figur 3.19 visas dämpningar (sammanslagning av effekterna i figur 3.17 - 3.18) relaterade till ljudnivån i referenspunkten framför balkongen.



Figur 3.19 Skillnad  $\Delta L_{Aq}$  mellan ekvivalent ljudnivå i en referenspunkt 2,4 m framför balkongen och i punkter på olika höjd över balkonggolvet vid absorpentbeklädnad. (1) enbart tak, (2) enbart tak och bakvägg, (3) samtliga ytor.

Man noterar i figur 3.19 att takabsorbent (1) eliminerade den ljudförstärkning som erhöles vid de högst belägna punkterna. Vid lågt belägna punkter erhöles en tillskottsdämpning på upp till 7-8 dBA.

Ljuddämpningen i huvudhöjd för en sittande person (ca 1,2 m) varierar mellan ca 2-9 dBA i de olika fallen. I det praktiska fallet är absorbentbeklädnad enligt fall (3) utesluten, men en beklädnad motsvarande fall (2) torde inte vara orealistisk. En tillskottsdämpning om ca 5 dBA i huvudhöjd (sittande) förefaller då rimlig att uppnå.

Det är intressant att konstatera att man i lågt belägna punkter kan få betydande dämpningar m h a absorbenter. Praktiskt kan detta ha betydelse genom minskade krav på lågt placerade luftintags ljuddämpning.

Då det gäller ljudnivån inomhus kan man inte dra några säkra slutsatser av resultaten eftersom dämpningar endast redovisas för A-vägda ljudnivåer. Utomhus domineras den A-vägda ljudnivån av ljudbidrag i frekvensområdet runt 500 Hz. Vid öppet fönster och normalmöblerat rum torde detta även gälla inomhus. Ett grovt värde på dämpningen skulle då kunna fås genom ett medelvärde av dämpningsvärdena i de högst belägna punkterna.

May har gjort ett försök att beräkna tillskottsdämpningen p g a absorbentbeklädnaderna. Därvid antar han att kvoten mellan mängden ljudabsorption (i  $m^2$  Sabine) före  $A_f$  och efter  $A_e$  beklädnad är avgörande. Ljuddämpningen blir då

$$(3.17) \Delta L_{abs} = 10 \log (A_e/A_f) \text{ dB}$$

Öppningen i balkongen betraktas som en ljudabsorbent. Med absorptionskoefficienten  $\alpha = 0,9$  för absorbentmaterialet (ljudbidraget i frekvensområdet runt 500 Hz antas dominera den A-vägda ljudnivån) blir beräknad tillskottsdämpning enligt tabell 3.2. Resultaten jämföres med mätvärden.

Tabell 3.2. Mätta och beräknade tillskottsdämpningar i dBA p g a absorbentbeklädnad.  $\Delta L_{ber}$  är beräknade värden.  $\Delta L_1$  är medelvärdet av mätvärden på 7 olika höjder.  $\Delta L_2$  är medelvärdet av mätvärden på höjderna 0,9, 1,2 resp 1,5 m.

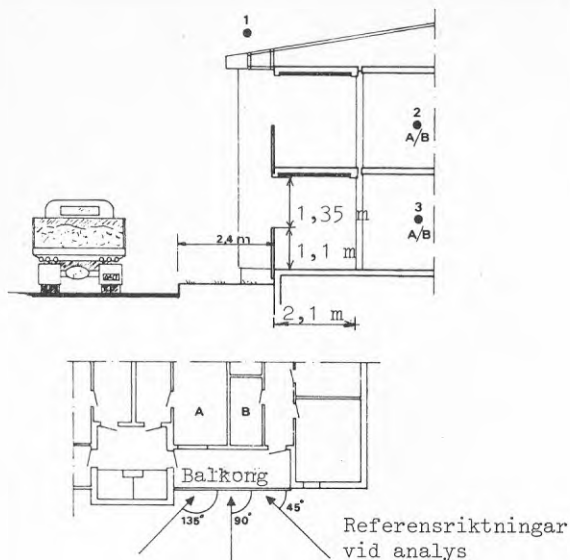
Fall	Absorbentbeklädd yta	$\Delta L_1$	$\Delta L_2$	$\Delta L_{ber}$
(1)	Tak enbart	5.2	3.8	4.1
(2)	Tak och bakvägg	7.7	7.1	6.2
(3)	Samtliga ytor	11.1	10.0	9.5

### 3.3.3 Fullskalemätningar enligt Gustafsson/Einarsson (1973).

Mätningarna omfattar både flyg- och vägtrafikbuller. Endast vägtrafikbullermätningarna redovisas här.

#### Mätobjekt

Balkong, vägbana och mikrofonplaceringar framgår av figur 3.20 nedan.



Figur 3.20. Balkongutformning och mikrofonplaceringar.

#### Mätningar

Samtidiga bandinspelningar utfördes i punkterna 1-3 vid förbikörning med lastbil. Inspelningarna analyserades med oktavbandsfilter och nivåskrivare. Avläsningar gjordes för tre olika infallsvinklar, se figur 3.20.

Följande balkongutformningar studerades.

1. Inget räcke, ingen absorpentbeklädnad.
2. Dito, men med tätt räcke med höjden 1.1 m.
3. Inget räcke, absorpent av 50 mm träullsplatta i tak.
4. Dito, men med tätt räcke.
5. Inget räcke, absorpent av 50 mm träullsplatta + 50 mm mineralull i tak.
6. Dito, men med tätt räcke.

Totalt gjordes tolv avläsningar för varje fall. Utvärderingen omfattade sju oktavband (63-4000 Hz). Dämpvärdena relaterades till fall 1 enligt ovan.

#### Mätresultat

I tabell 3.3 nedan redovisas för varje fall medelvärdet av dämpningarna inom de sju oktavbanden (84 värden).

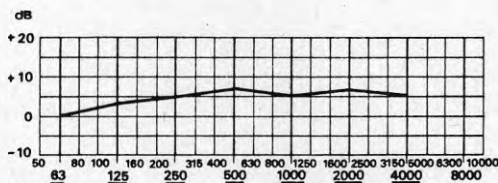
Tabell 3.3 Uppmätt tillskotts­dämpning vid olika balkongutformningar angiven som medelvärde för oktavbanden med mittfrekvenser 63-4000 Hz.

Fall	Tillskotts­dämpning i dB
1	Referens
2	2,5
3	1,2
4	3,2
5	1,7
6	4,5

Infallsvinkeln visade sig ha liten betydelse för ljud­dämpningen.

Tillskotts­dämpningen uppges vara nästan frekvensoberoende. I figur 3.21 återges dämpningen inom olika oktavband.

Tillskotts­dämpning



Oktavband mittfrekvens Hz

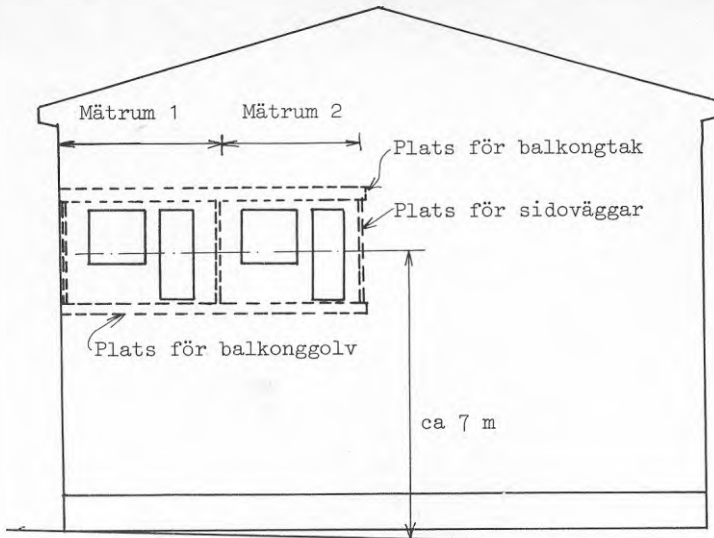
Figur 3.21. Tillskotts­dämpningen inom olika oktavband för balkongfall 6.

Resultaten i figur 3.21 tyder på att ljudnivån inomhus skulle kunna bli 4-5 dBA lägre med ett tätt räcke och ljudabsorbent i tak än med en helt öppen balkong (glest räcke) utan absorbent. Det skall dock påpekas att mätningarna inte ger någon information om balkongens inverkan på ljudnivån inomhus jämfört med fallet utan balkong.

### 3.3.4 Fullskalemätning enligt Gilbert et al (1968)

#### Mätobjekt

Fasadens utseende utan balkonger visas i figur 3.2.2 nedan. Det övre våningsplanet har använts vid mätningarna, som omfattar två rum med likadana öppningar (dörr + fönster) men med olika fönsterkonstruktioner. Total öppningsyta var 3,6 m<sup>2</sup>.



Figur 3.22 Fasad utan balkonger.

Mättrum 1 hade fönster av "traditionell" typ med bågar och karmar av trä och enkelglas (2,9 mm tjockt). I mättrum 2 var båda öppningarna försedda med 10 mm tjocka, fast monterade enkelglas, som täckte hela öppningarna. I övrigt var fasaden av tegel och ca 0,25 m tjock.

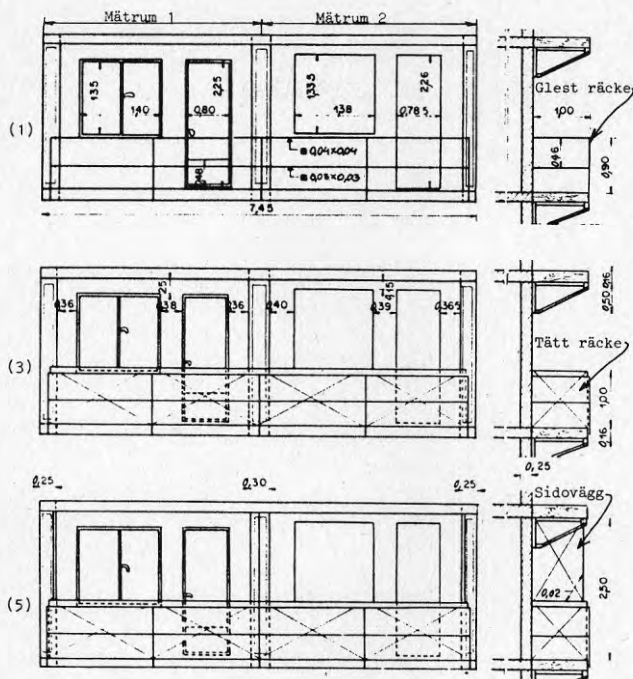
Rumsdimensionerna var 3,3 x 2,5 x 4,25 m<sup>3</sup> (bredd x höjd x djup) och rumsvolymer 34 m<sup>3</sup>.

Följande balkongtyper studerades.

1. Balkong med glest räcke.
2. Dito men med ljudabsorbent i taket. Absorbenten var av porös typ, 100 mm tjock och monterade med 50 mm luftspalt bakom. Absorptionskoefficienten uppges vara ca 0,8 inom oktavbandet 125 Hz och ca 0,4-0,6 inom oktavbanden 250-2000 Hz.
3. Balkong med 1 m högt tätt räcke.
4. Dito men med samma ljudabsorbent som i fall 2 i taket och på insidan av räcket.
5. Balkong med tätt räcke och hela sidoväggar.
6. Dito men med absorbentbeklädnad i tak, på insidan av räcket och på sidoväggar.

I figur 3.2.3 nedan visas typ 1, 3 resp 5.





Figur 3.23. Balkongutformningar utan absorberbeklädning: (1) tätt tak och golv, gläst räcke; (2) tätt tak, golv och räcke; (3) tätt tak, golv, räcke samt tre täta sidoväggar.

#### Mätningar

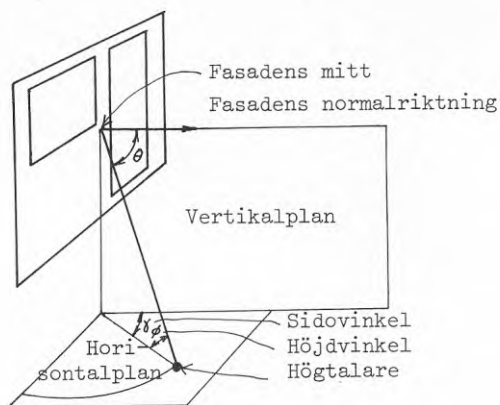
Fasadernas ljudisolering utan och med balkonger har mätts med högtalare som ljudkälla. Ljudintensiteten från högtalaren i olika riktningar har bestämts i fritt fält. Olika högtalare har använts beroende på frekvensområde och riktning till fasad.

Inomhus har ljudtrycksnivåerna registrerats med en roterande mikrofon.

Samtliga jämförelsemätningar utan och med balkong har gjorts med stängd dörr men helt öppet fönster i mättrum 1. Ytterligare mätningar har gjorts med stängt fönster i fallet utan balkong. Dessa behandlas dock ej här.

Ljudisoleringen har bestämts för fyra olika riktningar mot vertikallplanet ( $\gamma=0, 30, 60$  och  $75^\circ$ ) och fyra riktningar mot horisontalplanet ( $\phi=0, 30, 60$  och  $80^\circ$ ), se figur 3.24.





Figur 3.24. Definition av geometri vid mätning med högtalare.

Fasadens ljudisolering har bestämts för tersbanden med mittfrekvenser 100-3150 Hz enligt följande samband.

$$D_{ni} = L_{Ii} - L_{pei} + 10 \log(T_i/0,5) \text{ dB}$$

där

$D_{ni}$  = ljudisoleringen för tersband i normaliserad till efterklangstiden 0,5 s (dB)

$L_{Ii}$  = mot fasaden infallande ljudintensitetsnivå för tersband i (dB)

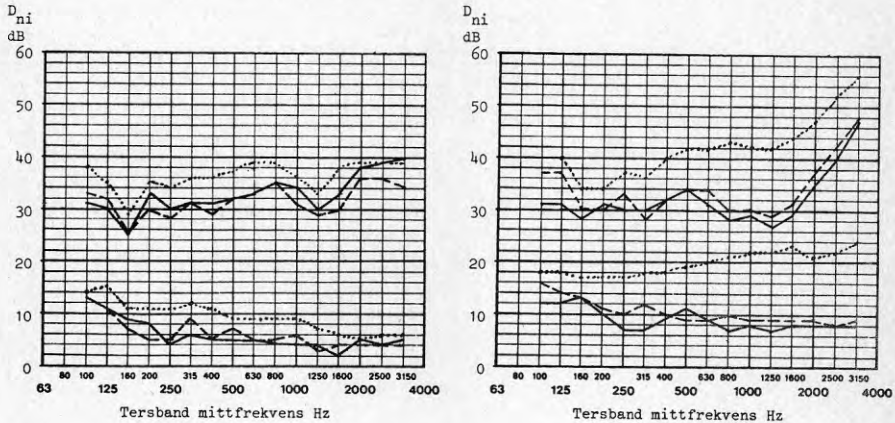
$L_{pei}$  = uppmätt ljudtrycksnivå i efterklangsfältet inomhus för tersband i (dB)

$T_i$  = uppmätt efterklangstid för tersband i (s)

#### Mätresultat

Redovisningen av resultaten är mycket omfattande. För varje mätfall redovisas uppmätta ljudisoleringvärden dels tersbandsvis, dels som medelvärden över tre frekvensområden 100-315, 400-1250 resp 1600-3150 Hz (tersband).

I figur 3.25 nedan visas ett exempel på uppmätt ljudisolering utan balkong samt med balkongtyp (5) respektive (6).

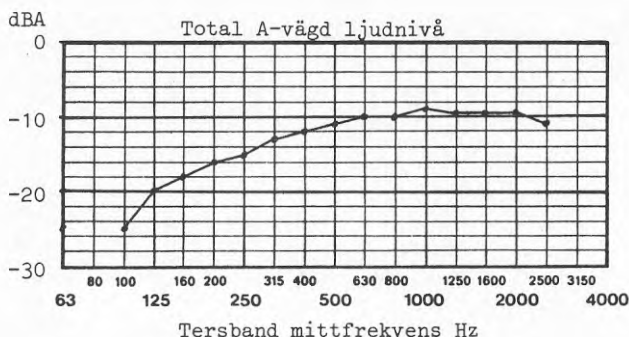


Figur 3.25 a, b. Uppmätt ljudisolering  $D_{ni}$  i mättrum 1 (undre kurvskala) och 2 (övre kurvskala): utan balkong, —; balkongtyp (5), - - - - -; balkongtyp (6), ······; a) höjdvinkel  $\phi=30^\circ$ , sidvinkel  $\gamma=0^\circ$  b) höjdvinkel  $\phi=30^\circ$ , sidvinkel  $\gamma=54$  resp  $64^\circ$ .

Av resultaten i figur 3.25 framgår att man inte kan förvänta sig någon betydande tillskotts-dämpning inomhus med balkongtyp (5) varken med stängt eller öppet fönster. Med ljudabsorbenter, typ (6), erhålls betydande tillskotts-dämpningar både med öppet och stängt fönster. Tillskotts-dämpningarna varierar relativt lite med frekvensen.

Man noterar också att ljudreduktionen för det 10 mm tjocka glaset har ett svagt frekvensberoende jämfört med en normal 2- eller 3-glas konstruktion. Vidare noteras att fönsteröppningens ljudisolering är i det närmaste frekvensoberoende, med högst isolering vid låga frekvenser.

I rapporten redovisas också beräknade ljudreduktioner i dBA som avser en linjeljudkälla. Uppmätta ljudreduktioner för olika infallsvinklar har därvid vägts samman med hänsyn tagen till vägens orientering i förhållande till fasaden. Beräkningar har utförts dels för olika höjdvinklar  $\phi_0$  - se figur 3.24 - dels för olika vinklar mellan fasad och väg. Det trafikbullerspektrum som använts redovisas i figur 3.26 nedan. Detta spektrum avviker obetydligt från det som redovisats av Jonasson (1974), jfr figur 3.8.



Figur 3.26. Referensspektrum för vägtrafikbuller enligt Gilbert et al (1968).

I tabell 3.4 och 3.5 nedan redovisas beräknade tillskottsdämpningar vid de olika balkongtyperna. Vägen förutsätts vara parallell med fasaden.

När det gäller värdena enligt tabell 3.4 (10 mm enkelglas) bör dessa inte tillämpas okritiskt i fall med normala 2- eller 3-glas konstruktioner. De sistnämndas ljudreduktion är normalt kraftigt frekvensberoende till skillnad från enkelglasets ljudreduktion (jfr figur 3.25). Beroende på tillskottsdämpningens frekvensberoende kan värdena enligt tabell 3.4 blir lägre vid normala 2- eller 3-glasfönster.

Tabell 3.4. Tillskottsdämpning i dBA med balkong vid olika höjdvinklar  $\phi_0$ . Vägen parallell med fasaden. 10 mm tjockt enkelglas i fasadöppningar.

Balkongtyp	$\phi_0$ :	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1		-1	-1	0	0,5	1,5	2
2		0	0	1,5	2	3	3,5
3		-1,5	-1	1	1,5	3,5	3,5
4		0	0,5	3	4	5,5	5,5
5		1,5	1	1	2	4,5	5,5
6		6	6,5	9	9,5	12	12

Tabell 3.5. Tillskottsdämpning i dBA med balkong vid olika höjd-  
vinklar  $\phi_0$ . Vägen parallell med fasaden. Öppet fönster.

Balkongtyp	$\phi_0$ :	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1		-1,5	-1	0	0	0	2
2		-1	0	0	1,5	3	6,5
3		-1,5	-0,5	1	1	1	2
4		-1	0,5	3	5	4,5	9,5
5		0,5	1,5	2	2	3	4,5
6		2	2,5	6	8	12	13,5

Man noterar i tabell 3.4-3.5 att dämpningarna är i stort sett lika med stängt respektive öppet fönster. Dämpningarna ökar i båda fallen med höjdvinkeln  $\phi_0$ . Vid låga höjdvinklar (lågt placerad balkong) medför de mer öppna balkongtyperna 1-4 en mindre förstärkning av ljudnivån inomhus. Balkongtyp 5 (utan absorberbentbeklädning) ger dock genomgående en dämpning. Detta kan jämföras med Mays (1979) mätningar - se avsnitt 3.3.2 - på en motsvarande balkongtyp vilka visade på en betydande förstärkning av ljudnivån utomhus.

En jämförelse mellan typ 1, 3 och 5 resp 2, 4 och 6 visar att dämpningen ökar med ökad avskärmning (räcke, sidoväggar).

Absorberbentbeklädning medför ökad dämpning. Speciellt betydelsefull är beklädningen för balkongtyp 5. Med stängt fönster ger den tillskottsdämpningar om 4-8 dBA. Vid öppet fönster är effekterna betydande först vid höjdvinklar  $\phi_0 > ca 30^\circ$ . Stora höjdvinklar är vanligt i innerstadsbebyggelse.

Avslutningsvis skall påpekas att de balkongtyper Gilbert et al har studerat är förhållandevis grunda (ca 1 m). Med större balkongdjup kan man förvänta sig större dämpningar, jfr avsnitt 3.3.1. Den absorberbent som använts är knappast lämplig för praktiskt bruk m h t tjockleken. Absorptionsförmågan är också anmärkningsvärt låg inom hela frekvensområdet utom runt 125 Hz där den är anmärkningsvärt hög. Högre ljudabsorption utom vid de lägsta frekvenserna kan uppnås med en betydligt tunnare porös absorberbent. Detta skulle kunna öka dämpningen ytterligare, åtminstone vid öppet fönster.

De studier Gilbert et al genomfört är omfattande och väl dokumenterade. De borde därför kunna fungera som ett delunderlag vid framtagande av en beräkningsmodell.



## LITTERATUR

- Ettouney S M, Fricke F R, 1973. Courtyard Acoustics. Applied Acoustics, vol 6, s 119-132. London
- Fricke, F R, 1977. The Protection of Buildings against Traffic Noise. Noise Control Engineering, vol 8, 1, s 27-32.
- Gilbert et al, 1968. Transmission du bruit a travers les façades. Centre Scientifique et Technique du Batiment. Rapport final de la Convention d'Etude. DGRST/CSTB 64-FR-136. Paris.
- Gilbert, 1969. Une etude sur la protection des habitations contre les bruits extérieurs pénétrant par les façades. Centre Scientifique et Technique du Batiment. Rapport 103. Paris.
- Gustavsson, J-I, Einarsson, S, 1973. Gallery houses with respect to traffic noise (Polyteknisk Forlag). Proceedings of Inter-Noise 73, s 271-275. Köpenhamn.
- Jonasson, H, 1974. Samhällsbuller med beräkningsmetod för vägtrafikbuller (SIGMA TRYCK), s 28, avdelningen för byggnadsakustik, Lunds tekniska högskola. Lund.
- Kurze, U J, Anderson, G S, 1971. Sound Attenuation by Barriers. Applied Acoustics, vol 4, s 35-53. London.
- Lindblad, S, 1977. Inverkan av avstånd till föremål, fasader och bafflar samt höjd över mark vid trafikbullermätning. Avdelningen för byggnadsakustik, Lunds tekniska högskola. Rapport V77-10. Lund.
- Maekawa, Z, 1968. Noise Reduction by Screens. Applied Acoustics, vol 1, s 157-173. London.
- May, D N, 1979. Freeway noise and high-rise balconies. The Journal of the Acoustical Society of America, vol 65(3), s 699-704. New York.
- Oldham, D J, Mohsen E A, 1977. Traffic Noise Reduction due to the Screening effect of Balconies on a Building Façade. Applied Acoustics, vol 10, s 243-257. London.
- Oldham, D J, Mohsen E A, 1979. The Acoustical Performance of Self-Protecting buildings. Journal of Sound and Vibration, vol 65(4), s 527-581. London.
- Oldham, D J, Mohsen E A, 1979a. A Model Investigation of the Acoustical Performance of Courtyard Houses with Respect to Noise from Road Traffic. Applied Acoustics, vol 12, s 215-230. London.
- Statens naturvårdsverk, 1979. Beräkningsmodell för vägtrafikbuller, Del 1: Beräkningsmodell. (Liber förlag). Stockholm.
- Statens offentliga utredningar, 1974. Trafikbuller, Del I, Vägtrafikbuller. (Kommunikationsdepartementet.) SOU 1974:60. Stockholm.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800105-7  
från Statens råd för byggnadsforskning till IFM Akustik-  
byrån AB, Göteborg.**

**R130: 1980**

**ISBN 91-540-3354-3**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700230**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 20 kr exkl moms**