

### Indledning

Hvis vi tænker på den kendte erfaring, at klokkeklangens skønhed bestemmes af klokkerummets art, står vi straks over for et vigtigt problem. I praksis har man jo gentagne gange erfaret, at et lukket klokkerum, altså et tårnrum, hvis glamhuller er dækket med skodder, ofte får klokkerne til at klinge fuldere og mere sonort end et helt åbent rum. Hermed opstår spørgsmålet, hvad denne virkning kan bero på.

Lægmanden, der i almindelighed står langt mere subjektivt og direkte i forbindelse med klokken end den analyserende sagkyndige, taler her gerne om den mulighed, at et "lukket" tårnrum kan skabe en sikrere lydblanding. Den sagkyndige kan dog slet ikke acceptere en sådan udtalelse, eftersom en klangblanding principielt må være en temmelig gådefuld proces.

Det kan heller ikke være rigtigt at forestille sig klokkerummet som resonator, thi også i så fald gøres der uret mod ordets virkelige indhold. Det må derfor udtrykkelig fastslås, at en lydblanding i ordets direkte betydning må hænregnes til umulighederne. Man kan absolut ikke påstå, at klokkeklangen i klokkerummet først blandes og så forlader rummet! En nøjere analyse af problemet må derfor være nødvendig.

Ved en sådan undersøgelse vil det være rimeligt at optegne alle klokkerummets betydningsfulde facetter og egenskaber, at gruppere dem fornuftigt og om muligt at tilkende dem en funktion ved dannelsen af klokkenes klang.

Følgende egenskaber ved et klokkerum kan bemærkes:

1. Klokkerummets dimension og form.
2. Glamhullernes størrelse, form og placering.
3. Skoddernes størrelse, form og stilling.

4. Det materiale, væggene, loftet og gulvet er lavet af.

5. Klokkens (klokkernes) plads i klokkerummet.

6. Klokkens (klokkernes) tonehøjde.

7. Akustiske hindringer, såsom klokkestole, åbent loft o.s.v.

Sluttelig kan naturligvis hertil føjes, på hvilken måde klokketårnet er anbragt i sine omgivelser. Om dette aspekt i almindelighed er der ikke meget at sige, da det i høj grad afhænger af de lokale omstændigheder. Derfor vil vi kun indirekte medtage det i vore betragtninger

#### Klokkerummets genlydstid

Det første, man skal undersøge, må utvivlsomt være klokkerummets genlyd. I praksis bliver nemlig en påfaldende egenskab ved klokkerummet kun alt for ofte sat i direkte forbindelse med dets genlyd. I den tyske litteratur finder man f. eks. gentagne gange den tankegang, at jo længere klokkelysten kan forblive i klokkerummet, altså jo længere genlydstiden er (!), des mere intensiv vil klangblandingen være. Således skulle klokken opnå sin skønneste klang.

Et sådant ræsonnement er naturligvis yderst naivt, ja endog urigtigt og vi må derfor besvare spørgsmålet, hvad årsagen til den skønnere klang så kan være. Thi selv om forklaringen turde være fejlagtig, kan alle og enhver konstatere en behageligere klang.

Afgørende for genlyden er alle de tidligere nævnte faktorer. For at gøre billedet enkelt antager vi et klokkerum på  $5 \times 5 \times 7$  m med fire glasmuller a  $2 \times 4\frac{1}{2}$  m, og hvis beklædning består af rå mursten såvel på væggene som på loft og gulv. Desuden forudsætter vi, at der ikke findes nogen akustisk hindring i dette tårnrum, at glasmullerne ikke har skodder, og desuden - hvad der er yderst fantasifuldt - at klokken er reduceret til en teoretisk punktformet lydkilde. Senere skal vi vise, at der ved denne betydelige forenkling ikke forsømmes noget væsentligt.

Faktisk skal til alt dette føjes, at der hersker en kaotisk bølgefordeling, hvilket vil sige, at der ikke finder nogen energi-transport sted på noget enkelt punkt i dette rum. Det må være tydeligt, at det er vanskeligt at realisere et ønske herom, så længe der i hvert fald findes rette lydkilder og absorberende flader. Hvis man ikke gør disse afvigelser fra det teoretiske billede for store, behøver man dog ikke at være bekymret for grove og forstyrrende fejl.

Opfyldes billedet af den kaotiske bølgefordeling på fornuftig vis, kan, hvad glamhullerne angår, deres plads være ganske vilkårlig. Naturligvis gælder dette dog ikke for den retning, hvorfra klokkeklngen når tilhøreren.

Ved en videre præcisering vil det ikke være vanskeligt at indse, at genlyden i høj grad er afhængig af de tilbagekastende fladers absorberende evne. Men hvis vi antager, at <sup>væggen</sup> gulvet og loftet absorberer al den iørefaldende lyd, vil der ikke være tale om nogen genlyd.

En sådan flade finder vi i de fuldstændig åbne glamhuller, der naturligvis ikke tilbagekaster noget af den lyd, der når dem. I dette grænsetilfælde møder vi således det fuldstændig åbne "klokkerum", som så at sige ikke kender til nogen genlyd. I praksis er dette f. eks. realiseret i de seks- eller ottekantede lanterner, der findes i mange tårne.

Den anden yderlighed må det klokkerum være, hvis vægge tilbagekaster alt. Naturligvis kender sådan et rum ingen glamhuller, således at den lyd, som klokken danner, aldrig vil nå til den lyttende. Genlydstiden vil her ved en kaotisk bølgeblanding være uendelig lang.

Praksis kender alle mellemstadier. Man møder her også en første vanskelighed. Genlydstiden må jo angive tiden, indtil klokkelyden er døet helt hen. Hvis man ved bestemmelsen heraf ville bygge på udtrykket "helt hendøet", skulle der naturligvis noteres tider, som var subjektive og vanskelige at sammenligne med hinanden. Derfor bliver det definitionsmessigt fastlagt, at genlydstiden er den tid, hvori lyden svækkes med 60 dB, hvilket stemmer med en formindskelse af lydenergien med en faktor på  $10^6$ .

I et givet klokkerum er altså i første række de tilbagekastende fladers absorptionskoefficienter<sup>2</sup> bestemmende for genlydstiden. En eviggyldig værdi, som er uafhængig af lydens frekvens, kan dog ikke angives her. I almindelighed viser det sig nemlig, at en væggs absorberende evne bliver større, hvis lyden, der rammer den, har en højere frekvens. Maksimum ligger således ved høje toner. Dette maksimum kan dog bringes betydeligt ned, hvis hele væggen bringes i vibration, hvad der f. eks. kan forekomme ved paneler. Men i tårnrummet vil man gennemgående træffe konstruktive materialer. Disse besidder desuden den påfaldende egenskab, at absorptionen kun er spåre ringe, nemlig for alle frekvenser i en størrelsesorden af nogle få procent indtil maksimalt 10 % af lydens energi. Men anbringer vi på disse mure at dække af hårfilt på f. eks. 2½ cm, stiger absorptionen indtil 70-80 %.

I det tidligere nævnte klokkerum er genlydstiden let at beregne f. eks. ved hjælp af Sabines formel.

Resultaterne af disse beregninger er samlet i fig. 1. Man ser, at genlyden kun i ringe grad er afhængig af tonehøjden.

Til sammenligning har vi også udstrakt vore beregninger til det klokkerum, som er helt dækket med filt. På grund af materialets meget større absorption kan man forvente en kortere efterklangstid, hvad grafen da også viser. En undtagelse udgør dog de dybeste toner, hvor der tydeligt optræder en ikke så stor absorption.

Den grafiske fremstilling af genlydstiden giver anledning til en vigtig bemærkning. Hvis man nemlig betænker, at f. eks. en g<sup>1</sup>-klokke med en vægt på ca. 690 kg bør have en efterklangstid for grundtonen på ca. 70 sekunder, at klokken altså kan høres mere end et minut, så er det naturligvis tydeligt, at genlydstiden, der ligger i en størrelsesorden på 1 sekund, herved helt forsvinder. Allerede af denne grund må man kunne slutte, at et klokkerums genlydstid formodentlig har meget ringe betydning.

Ved alt dette opstår ganske naturligt det spørgsmål, hvordan en kort eller lang genlydstid i klokkerummet erfares af den lyttende udenfor. Situationen er nemlig her helt anderledes end ved fag-akustikken, hvor genlyden i høj grad bidrager til, hvordan tilhøreren vurderer det talte ord eller et musikværk. Men det lader sig vanskeligt bevise, at tilhøreren udenfor også skulle erfare genlyden som sådan. Al den lyd, der kommer ud fra tårnet, forsvinder, hvis vi lader tilbagekastningen fra f. eks. huse ude af betragtning. Der synes da heller ikke at være nogen mening i at forøge genlydstiden. Alligevel kan en kort omtale heraf være nyttig, da der dog undertiden gøres forsøg derpå.

Med en sådan forbedring - om det da er en forbedring - er betydelige vanskeligheder forbundet. Materialet på væggene o.s.v. har jo i almindelighed en sådan tilbagekastende evne, at den næppe synes at kunne forøges. Den eneste løsning må da være formindskelsen af glamhullerne. I så fald forsvinder nemlig ved hver tilbagekastning en mindre del ud i luften, og det kan således forventes, at energisvindet i overensstemmelse hermed ikke vil ske så hurtigt. I fig. 2 har vi derfor vist virkningen af forstørrelse og formindskelse af glamhullerne i det tidligere omtalte klokkerum.

For nu ikke at gøre det hele for indviklet antager vi en middelabsorptionskoefficient for hele frekvensområdet. Den andrager for rå mursten 3,7 %. At arbejde med et sådant middeltal er i dette tilfælde tilladeligt, da materialets absorptionskoefficient kun i ringe grad er afhængig af frekvensen. Herom henvises endnu en gang til fig. 1.

I fig. 2 er genlydstiden afsat lodret, medens der vandret er noteret det samlede antal  $m^2$  glamhuller (indvendigt mål), hvilket desuden er udtrykt i procenter af vægoverfladen. Af denne graf kan læses nogle interessante ting. Den mest markante kendsgerning er nok, at vil man virkelig have genlyden til at øges, bliver det nødvendigt at gøre klokkerummet praktisk talt helt lukket. Konsekvensen af den således skabte øgelse af genlydstiden er dog, at tilhøreren kun får en meget

mager klockelyd!

I praksis møder man dog også andre metoder til at forøge genlydstiden. En af disse er f. eks. anbringelsen af træ-skillevægge mod murene. I almindelighed kan denne kostbare fremgangsmåde ikke have nogen betydning, da materialets absorption i forhold til mursten kun ligger 1 % lavere. Det vil da altid være bedre at tilpasse den mindre kostbare metode, som består i anbringelse af enkelte lag murmaling, hvorved absorptionen daler med næsten 2 %. Men også da vil genlydstiden kunne stige med maksimalt 2 %, således at der ikke kan forventes nogen hørbare resultater heraf.

### Ekkovirkning

Det er slet ikke så dumt ved løsningen af et vist problem at søge et berøringspunkt med communis opinio<sup>1</sup>, også selvom man med rette mener, at formuleringen deraf er urigtig. Det er da rimeligt ud fra den kendsgerning, at en "klangblanding" bedst kommer i stand i klokkerum med ikke altfor åben struktur, at finde en relation mellem denne "blanding" og genlydstiden. Men sidstnævnte størrelse bliver i høj grad bestemt af de tilbagekastende fladers natur. Man må kunne stille det spørgsmål, om ikke dette kan være et direkte tilknytningspunkt. Og det må virkelig være tilfældet. Ved en gånstig lytterpost vil ikke blot den direkte lyd være hørlig, men også en række på hinanden følgende ekkoer. Vi mener, at det karakteristiske ved et "lukket" klokkerum fremfor alt ligger her.

Det er let at beregne, at ved et ikke altfor stort klokkerum er tilhøreren ikke i stand til at genkende de individuelle ekkoer. En forskel i vejlangde på f. eks. 10 m mellem direkte lyd og første ekko stemmer med en tidsforskel på 0,03 sek., et tidsinterval, som ikke bemærkes af tilhøreren. Følgen heraf er, at anslagsmomentet tilsyneladende

---

1. den almene mening.

dende udstrækkes over et vist tidsinterval ved sammenfald af disse ekkoer. Skulle der måske være noget abrupt ved klokkeklngen, vil det afgjort kunne mildnes ved disse ekkoer. Hertil kommer også, at de efter hinanden følgende ekkoer ikke alle er lige kraftige. Ved den første tilbagekastning bliver f. eks. 5 % energi absorberet, altså en afsvækkelse indtil 95 %, ved den anden indtil 90 %, ved den tredje til 85 % o.s.v. Også herved formildes således skarpe nuancer.

Skønt det ikke er et fuldstændig identisk fænomen, træffer man noget lignende hos en, der taler under åben himmel. Ikke blot hans stemmes volumen synes at være anderledes, men også sonoriteten og mildheden. Det er somom savnet af tilbagekastende flader er følbart. Det kan vel ikke kaldes påfaldende, at en lignende mildhed også mærkes, når man lytter til klokker, skønt denne karakteristiske klang også kan skyldes en svækkelse af de højere overtoner. Det sidste er nemlig et andet aspekt af det "lukkede" klokkerum. Det vender vi senere tilbage til.

Det må vel nu være tydeligt, at en klokke opstillet i det fri mister alle ekkovirkningens fordele og derfor vil klinge tyndt og uden varme.

I fig. 3 har vi prøvet på at fremstille de nævnte ekkovirkninger så anskueligt som muligt. Man ser der et lodret tværsnit af et vilkårligt valgt klokkerum. Det kan på ganske enkelt måde ses af disse skitser, at det kun er lidt af den direkte lyd der kommer udenfor. Størstedelen af klokkeklngen kan nemlig kun nå den lyttende, når den én eller flere gange er blevet tilbagekastet i tårnet. For at udtrykke dette tilstrækkelig tydeligt i skitserne er der i hver af de enkelte figurer tegnet et lydbundt.

På basis af de her givne eksempler på tilbagekastning i tårnet skulle man kunne fastslå, at lytteren ikke i alle tilfælde kan høre ekkoerne, eller sagt på en anden måde, at lytterens plads åbenbart er af stor betydning. Erfaringen lærer, at dette utvivlsomt er rigtigt til en vis grad; men på den anden side skal man omhyggeligt vogte sig

for overdrivelse. For i praksis vil de her så skarpt tegnede lydbundter sikkert ikke optræde på den måde. I næste afsnit bliver det da også vist, at lyden ganske vist følger de i figurerne angivne hovedretninger, men samtidig spredes og afbøjes af enkelte sidefacetter, ikke mindst glamhulsskodder. Især de lavere toner er meget følsomme herfor. Alt dette betyder da også, at fig. 3 kun skal angive tendenser i de retninger, lyden følger, således at tilhøreren i virkeligheden skal kunne iagttage flere ekkoer fra én og samme lytterplads. Dette bliver desuden fremhjulpet af de vægge, der naturligvis ikke er indtegnet i figuren, idet et sådant idealiseret tårnrum med stive vægge næsten aldrig vil forekomme.

Alt dette hindrer imidlertid ikke, at denne figur tillader at forklare den også i praksis gentagne gange bekræftede erfaring, at på stor afstand fra et lukket klokkerum er der næsten ikke mere at spore af ekkovirkningen. Denne typiske virkning af den slags klokkerum bliver da også især erfaret som sådan på relativ kort afstand. Man må åbenbart antage, at trods den ret vage begrænsning af ekkobundterne og deres vifteformede forplantning finder sammenfald af flere ekkoer på større afstand ikke længere sted - kan i hvert fald ikke konstateres.

I ovenstående skulle der være givet en rimelig forklaring på den kendsgerning, at et lukket klokkerum har en behagelig og formildende virkning på klokkeklangen. Åbenbart må man heri som en essentiel faktor se de på hinanden følgende ekkoer, der ikke kan skelnes individuelt fra hinanden. En sådan nøjagtig formulering leder os til et følgende spørgsmål, nemlig ved hvilke mål i tårnrummet anlagenes ekkoer vil kunne skelnes fra hinanden. Men naturligvis ville det fænomen aldrig blive accepteret, da hurtige klokkeslag i rækkefølge jo blot er at betragte som hindrende og uskønne.

Skønt man teoretisk skulle tage hensyn til fænomenet, lærer en simpel beregning på basis af lydens forplantningshastighed, at den behagelige ekkovirkning kan resultere i en hindrende splittelse af

klokkeklangen,, hvis tårnrummet har åbnormt store mål f. eks. et tværsnit på over 30 m. Ved normale tårne behøver man således ikke at være bekymret for noget af alt dette.

Naturligvis kan man også nærme sig ekkovirkningen fra den anden side og spørge sig selv, hvilke minimale mål tårnrummet bør have, for at ekkøerne ikke skal falde således sammen med hinanden, at der ikke længere kan høres en tydelig virkning. Desværre er en sådan grænse vanskelig at finde, skønt erfaringen vel tydeligt har belært én om, at man i almindelighed opnår gunstigere resultater ved relativt store klokkerum (f. eks. med et tværsnit på 10-15 m) end ved mindre. Heraf fremgår desuden, at især klokkerummets tværsnit er betydningsfuldt. Høje og smalle klokkerum har ikke nogen særlig betydning i forbindelse med dannelsen af ekko. For øvrigt har også her det klassiske tårnbyggeri ubevidst tilpasset sig de optimale resultater. Ikke for intet viser det sig atter og atter, at klokkelyden kommer behageligst til sin ret i det traditionelle tårnbyggeri.

#### Glamhulskodderne

I det foregående er der ikke talt om den indflydelse, som glamhulskodderne har på spredningen af klokkeklangen. Først må da bemærkes, at navnet glamhulskodde (galmbord) ofte med urette leder tanken hen på bestemte associationer med lyd. Meningen med disse træbrætter i glamhullerne har oprindelig ikke været, at de skulle sørge for f. eks. en bedre afbøjning af lyden, men snarere at de skulle beskytte tårnets indre mod regn. Hvis ikke ordet glamhulskodder var så almindeligt, havde det måske været bedre at tale om regnskodder (regenbord).

At man ofte fejlagtigt forudsætter, at skodderne sørger for en gunstig afbøjning af lyden, kan måske henføres til den urigtige tro, at lyd ved sin spredning og tilbagekastning opfører sig på samme måde som lys. I første udkast til en teori som i det foregående angående ekkovirkningen er det virkelig tilladeligt, men ved nøjere præcisering

bør man også henvise til de tydelige forskelle mellem lysets og lydens spredning.

Såvel praktiske undersøgelser som teoretiske betragtninger viser, at så snart lysets eller lydens bølgelængde bliver sammenlignelig med dimensionerne på den genstand, hvorpå lyset eller lyden falder, kan der næppe længere tales om en virkelig tilbagekastning. Snarere skal lyden eller lyset så bøjes om genstanden. Da lysets bølgelængde er yderst lille, vil dette fænomen i praksis ikke spille nogen rolle for lysets vedkommende. Men hvad lyden angår, er det helt anderledes. Forskellige forsøg kan tydeligt vise dette. Hvis man f. eks. i en kirke sidder bag ved en søjle, kan man stadig høre præsten. Lyden bliver øjensynlig bøjet noget omkring søjlen, men tilbagekastning fra kirkens mure spiller naturligvis også en rolle. Men hvis man efterhånden øger søjlens diameter, således at bølgelængden af den lyd, der rammer den, bliver mindre end dette tværsnit, så vil søjlen optræde som lydtilbagekaster, således at man lige bag søjlen kun kan forstå meget lidt af, hvad der bliver sagt. Også for klokker kan den slags eller lignende situationer være af betydning. For at vise dette har vi i nedenstående tabel gengivet enkelte toners bølgelængde og dernæst klokkenes størrelse, hvis disse toner skulle være lige så mange klokkeres grundtone.

| tone<br>( $a^1=440$ ) | frekvens<br>i Hz | bølgelængde<br>i meter | grundtonen ved en klokke med<br>diameter (cm)   vægt (kg) |        |
|-----------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|
| c                     | 64               | 5,16                   | 317                                                       | 21.000 |
| c                     | 128              | 2,58                   | 155                                                       | 2.400  |
| c <sup>1</sup>        | 256              | 1,29                   | 77                                                        | 290    |
| c <sup>2</sup>        | 512              | 0,64                   | 43                                                        | 55     |
| c <sup>3</sup>        | 1024             | 0,32                   | 28                                                        | 20     |
| c <sup>4</sup>        | 2048             | 0,16                   | 21                                                        | 12     |
| c <sup>5</sup>        | 4096             | 0,08                   | 18                                                        | 10     |

Af ovenstående tabel kan der drages nogle interessante slutninger.

I almindelighed må man nemlig fastslå, at den sædvanlige klokkelyds bølgelængde ligger i samme størrelsesorden som de hindringer, lyden møder under sin spredning. Derfor er det rimeligt at undersøge, om ~~kl~~ klokkelyden bliver kastet tilbage fra hindringerne og så bøjes omkring dem. Der kommer endnu en tredje faktor til, nemlig lydens spredning.

Når man nærmer sig dette aspekt, må man holde sig det bekendte fænomen for øje, at det sædvanligvis er nemmere at fastslå, hvorfra høje toner kommer end dybe. Især gælder det, hvis disse toner skal passere gennem en smal åbning som f. eks. rummet mellem to skodder. Når bredden af en sådan spalte f. eks. er betydelig større end bølgelængden af den lyd, der skal passere spalten, kan der ikke blive tale om nogen ændring af retning eller spredning. Men hvis lyden har en dyb tone og således har en større bølgelængde, der er i samme størrelsesorden som spaltebredden, vil der efter lydens passage danne sig en ny bølgefront, der placerer lydets centrum i denne spalte.

I fig. 4 er det fremstillet anskueligt. Efter at være gået igennem en relativt snæver åbning vil lyden fra dybe klokker spredes i alle retninger, medens lyden fra høje klokker fortsat vil bevæge sig i samme oprindelige retning.

Når man nu ser de forskellige faktorer, altså tilbagekastning, afbøjning og spredning af lyden i relation til målene på skodderne (ca. 2 m) og åbningerne mellem dem (ca.  $1\frac{1}{2}$  m), og dersom man også tager forskellene mellem høje og lave toner med i betragtning, kan man fastslå, at kun lyden fra de små klokker (f. eks. højere end  $a^2$  med grundtone  $a^1 = 440$  Hz) vil kunne forplante sig i lige linie og ligeledes på ren geometrisk måde vil kunne kastes tilbage, således som det er tilfældet med lyset. Men jo dybere tonen bliver, des mere vil det ved dannelsen af nye bølgefronter efter passagen gennem skodderne blive tale om spredning og afbøjning. Desuden vil det være tydeligt, at især lyden fra små klokker hindres af f. eks. skodder, medens lyden fra dybe klokker bøjer sig udenom.

Den kendsgerning, at klokkelyden kan blive spredt, afbøjet eller afskærmet af skodderne, er naturligvis af stor betydning for ekko-virkningen i et klokkerum, ja er endda en væsentlig betingelse derfor! Hvis nemlig klokkeklangen er lav-tonet, vil skodderne sørge for en sådan spredning og afbøjning, at flere ekkoer, som oprindelig sandsynligvis ikke havde samme retning, dog vil falde sammen uden for tårnet. Tilhøreren vil da være i stand til at opfatte alle nødvendige ekkoer og således kunne værdsætte det lukkede klokkerum fuldt ud.

Når vi derpå gør os klart, at efterhånden som en klokkes tone bliver højere, og lyden derfor vil forplante sig mere retliniet (som f. eks. lyset), må det være tydeligt, at det lukkede klokkerums virkning på højere klængende klokker vil gå mere og mere tabt. På grund af de højere toners stærkere retningseffekt vil tilhøreren jo fra sin plads ikke kunne fornemme noget ekko eller kun et ganske ringe antal. De mange ekkoer, som ved klokker med dybe toner bliver spredt og afbøjet gennem skodderne og derigennem kan nå tilhøreren, skal jo ved højere klokker bevæge sig rent geometrisk og derved kun i undtagelsestilfælde på tilhørerpladsen falde sammen med den direkte lyd.

Det må da være tydeligt, at det lukkede klokkerum især er af betydning for dybere klingende klokker. Der er for øvrigt endnu en årsag at pege på. Hvis man nemlig tænker sig en klokke i et klokkerum lukket med skodder anbragt på det sted, hvorfra et optimalt kvantum direkte lyd kan nå den lyttende, så betyder det naturligvis slet ikke, at også al den indirekte lyd, altså ekkoerne, kan forlade tårnet lige så let. Hvis nemlig skodderne har mål, som er betydelig større end den høj-tonede klokkelyds bølgelængde - og som oftest er det vel tilfældet - og man derfor har givet den lille klokke en sådan plads, at den direkte lyd kan forlade tårnet bekvemt, så vil ekkoerne formodentlig kun med moeite kunne passere skodderne eller vil endog blive kastet tilbage i tårnet. Således vil det for højere-tonede klokkers vedkommende kun dukke meget lidt op af de så ønskede ekkovirkninger.

### Klokkens klangspektrum

I det foregående er der især talt om såvel høj- som dyb-tonede klokker i forbindelse med tårnrummet. Lignende betragtninger kan imidlertid også gøres gældende angående den enkelte klokke, hvis klang jo er opbygget af dybe og høje (over)toner. Således vil det ikke være vanskeligt at indse, at da skodderne er så afhængige af frekvensen i deres virkning, kan klokkens første lydspektrum næsten aldrig komme uforandret ud fra tårnet. Jo højere tone, jo mere retliniet den vil forplante sig, des mindre vil den kunne bøje sig om akustiske hindringer, og des mere vil den altså blive tilbagekastet af hindringerne.

Hvis vi benytter dette ved et klokkerum, der er lukket med skodder, vil det være tydeligt, at klokkelyden uden for tårnet vil være noget afsvækket i de højere og højeste overtoner. Faktisk får lytteren således ikke noget rigtigt billede af klokkeklangen, for han hører egentlig en klokke, der er mere eller mindre fattig på overtoner.

At den ovenfor skitserede situation ikke blot er teori kan man konstatere i praksis i særdeleshed, når det drejer sig om klokketårne i Tyskland. Der stiller man nemlig endnu det krav, at klokkerummet så vidt muligt skal være lukket, således at de højeste partialer hæmmes i styrke, og de lavere overtoner sammen med grundtonen giver klokken en varmere og mere sonor klang.

Hvis denne stræben skulle blive altfor stærkt gennemført, hvis man således skulle lave et klokkerum, hvor glamhullernes areal androg ca. 10 %, og disse glamhuller til overflod skulle lukkes med store brede skodder, da ville klokkelyden blive reduceret til en dyb og lang brummen. Således ville tilhøreren uden for tårnet aldrig kunne ganne sig et klart billede af klokkeklangen.

Naturligvis bliver den slags ekstreme normer med rette betragtet som forkastelige. Det er en yderst subjektiv tilnærmelse af klokkeklangen til et grænsetilfælde, og hertil kommer oven i købet et andet aspekt. Det må jo være tydeligt, at med overtonernes afsvækkelse vil også mæng-

den af klockelyd stadig blive mindre. Skulle man således på den ene side kunne juble over, at klokkeklangen bliver gjort varmere og mere sonor, må man på den anden side nære alvorlige betænkkeligheder ved afsvækkelsen af den totale mængde lyd, der kan komme ud fra tårnet. Og ved at konstatere det bliver man da også ført til en gylden middelvej, som i praksis kommer i <sup>mindst</sup> anvendelse. *ved hjælp af*

### Skoddernes mål og placering

Når man vil stille mere praktiske krav til klokkerummets udseende, er der naturligvis ikke nogen mening i at nævne en bestemt procent for glamhullernes areal, hvis dette ikke bliver umiddelbart forbundet med skoddernes størrelse. I fig. 5 har vi givet en anskuelig fremstilling heraf.

I skitsen længst til venstre har vi tegnet en temmelig ofte forekommende situation ved placeringen af skodderne. Betænkkeligt i denne opstilling er det især, at den øverste og den nederste skodde i virkeligheden reducerer den effektive passage hver med bredden af en skodde. Især ved ret brede skodder er det totale glamhulsareal i et sådant tårn således ikke så lidt mindre, end man ud fra et arkitektonisk synspunkt skulle formode.

Naturligvis kan sådan en vanskelighed overvindes på fornuftig måde, hvis de kritiserede skodder bliver anbragt uden nogen berøring med glamhullets over- eller underkant (2. skitse). Så kan hele glamhullets højde jo benyttes fuldt ud til at lade lyden slippe ud. Ville man i et sådant tilfælde angive glamhullets minimale areal, kunne man anslå det til mindst 25 %.

I skitse 2 på fig. 5 har vi tegnet temmelig store skodder i glamhullet. Man kan derfor stadig betragte det som en vanskelighed, at de højere toner bliver tilbagekastet fra disse skodder og i det uheldigste tilfælde vil gå til grunde i tårnrummet. Denne vanskelighed er meget tydeligt til stede, hvis der i et sådant rum anbringes en relativt lille klokke, f. eks. en klokke med en højere grundtone end a<sup>1</sup>

(= 440 Hz). Naturligvis kunne man delvis råde bod herpå ved at anbringe klokken sådan, at dens lyd kunne forlade tårnet i samme hældning som den, hvori skodderne var placeret. Men der er endnu en mulighed, nemlig i den afstand hvori skodderne overlapper hinanden. Hvis man kun skal være opmærksom på beskyttelsen mod regn, er det naturligtvis indlysende, at skodderne skal dække hinanden i nogen grad. Men man kan spørge sig selv, om det er nødvendigt i så ekstrem en form.

Hvis et sådant spørgsmål må besvares tilfredsstillende, kan man samtidig introducere to gunstige faktorer for lydens udgang fra tårnet. I tredje skitse i fig. 5 vises dette. Man ser her, at antallet af skodder er formindsket, så lyden lettere kan komme igennem. Som tommelfingerregel kan man bruge, at man skal kunne se ud horizontalt mellem skodderne.

Naturligvis er der i denne opstilling stadig den vanskelighed, at skodderne egentlig er for brede, f. eks. to meter. Omend lyden fra de højere klokker nu bedre kan passere mellem skodderne, bliver den dog stadig kastet tilbage af dem. Derfor er det en bedre løsning at gøre skodderne smallere end at formindske deres antal. En sådan situation er skitseret i det fjerde eksempel i fig. 5. Her har man således ikke alene opnået, at glamhullernes effektive åbning er forstørret, men skoddernes mål er også formindsket til gunst for de højere toner.

Naturligvis kan man fortsætte en sådan stræben, nemlig ved så vidt muligt at forøge antallet af skodder til fordel for mindre bredde. Noget sådant finder man angivet i den sidste skitse. Ganske vist vil billedet i de fleste tilfælde forblive teori, men på den anden side synes omtalen af disse muligheder nyttig.

Ved siden af skoddernes størrelse er deres stilling i glamhullerne også af betydning. I praksis er der i øvrigt kun meget få variationer her. I almindelighed udgør hældningen nemlig  $45^\circ$ , en skråning, som erfaringen åbenbart viser giver de bedste resultater. Alligevel kan man spørge sig selv, om en mere nuanceret udtalelse om dette emne ikke er mulig.

Hvis man ved skoddernes hældning igen ønsker at gøre en forskel mellem lav- og høj-tonet lyd, er det naturligvis helt med rette. Da nemlig lyden fra dybere klingende klokker lettere vil kunne passere skodderne end lyden fra højere klingende, kan man råt dagt fastslå, at skoddernes stilling får jo mere betydning, jo højere toner der skal passere.

I skemaet ligger der således et eller andet sted en grænse, hvorunder skoddernes placering er mindre væsentlig. Det er i øvrigt tydeligt, at den grænse, der er beregnet ud fra lave toner opnås des tidligere, jo større bredden af skodderne er, og jo bredere en skodde, des tidligere vil også en lav-tonet lyd kunne blive tilbagekastet af den

Men når man regner ud fra normale skodder, kan man uden risiko gå ud fra, at ved større klokker er placeringen virkelig ikke så betydningsfuld, og derfor er den sædvanlige hældning på  $45^\circ$  fuldkommen acceptabel. For højere-tonede klokker er situationen naturligvis noget mere kompliceret. Der må man jo regne med mulige tilbagekastninger fra skodderne selv, og man må undersøge, hvilken retning den tilbagekastede lyd vil tage. Men også da må man snart fastslå, at i de fleste tilfælde er en hældning på  $45^\circ$  anvendelig. Naturligvis spiller det her en rolle, i hvilken afstand man ønsker at høre klokken. Er denne afstand nemlig stor, synes det tiltrækkende at give klokkerne en mere vandret stilling, f. eks. en vinkel på  $30^\circ$  eller endnu mindre. Ligeså bliver det naturligvis af betydning at tage klokkens placering i tårnet i betragtning. Er vedkommende klokke nemlig højt placeret, kan hældningen selvsagt være større, end hvor klokken har fået sin plads længere nede i tårnrummet.

Alt i alt er problemet om højere-tonede klokker således noget kompliceret. Ikke desto mindre synes det ud fra erfaringen, at variationerne virkelig ikke kan være - og ikke behøver at være - særlig store. I almindelighed vil man da også kunne arbejde med gennemsnitsnormen, hvori det er fastslået, at hældningen bør være ca.  $45^\circ$ , hvorved på den ene side afvigelser med ringe skråning ikke er forkastelige, medens på den anden side en mere lodret stilling sikkert ikke er tilrådelig.

Det helt ekler delvis åbne klokkerum

Skønt man i almindelighed ved et åbent klokketårn forstår en seks- eller ottekantet lanterner, kan man spørge sig selv, om et klokketårn med f. eks. mere end 50 % glasmulsareal uden skodder ikke også kan regnes hertil. Men på den anden side kan man bemærke, at et klokkerum, som ikke er helt åbent, sikkert vil give anledning til ekkovirkning og således dog besidder det lukkede klokkerums kendemærke. Åbenbart kan man nærme sig problemet fra to sider.

Først kan man pege på, at ved behandlingen af det lukkede klokkerums behagelige virkning blev der i begyndelsen talt ud fra en situation uden skodder, og derved syntes den slutning retfærdiggjort at tilskrive klokkelydens ekkodannelse de ønskede egenskaber.

Videre viste det sig i en senere præcisering, at skodderne ved lav-tonede klokker ikke blot bidrager til en mindre spids klang, men også i nogen grad hæmmer klokkelypden. Mere betydningsfuld var dog konstateringen af, at skodderne især spreder og afbøjer den lav-tonede lyd, hvorved ekkoerne, når de har forladt tårnet, ikke foretrækker nogen særlig retning. Således vil flere ekkoer komme tilhøreren til gode.

Det er naturligvis tydeligt, at det delvis åbne klokkerum vil mangle de i forrige afsnit nævnte elementer og derved kun kan byde på enkelte ekkoer, som bevæger sig i en ganske speciel retning. Et videre slægtskab med det lukkede klokkerum end dannelsen af ekkoer består der åbenbart ikke.

Når vi i anden række taler om egenskaberne ved et helt åbent klokkerum, kan vi med rette bemærke, at den uforvrængede klokkeklang, man kan lytte til ved denne type tårn, ligeledes kan være et kendemærke for det delvis åbne klokketårn i en situation f. eks. , hvor stærkt ligerettede ekkoer ikke danner nogen hindring.

Tårnrummet uden skodder kan således betragtes som et mellemtilfælde. På den ene side opstår der nemlig ekkoer der, men på den anden side kan de sammen med den direkte lyd uhindret forlade tårnet. Det ligger da også lige for, at man må søge det mest karakteristiske for sådan et tårnrum i kombinationen af begge egenskaber. Det bliver også bekræftet i praksis, for den som følge deraf kraftigere og mere direkte ekkovirkning er det mest påfaldende, en tilhører til denne form for klokkerum erfarer.

Ovenstående kan man vise nærmere ved at bemærke, at som følge af tilbagekastningerne fra tårnmurene i en ugunstig situation kan lytteren få mere lyd, end det nogensinde ville være tilfældet, hvis skodder kunne sørge for en sikrere afskærmning og afsvækkelse, eller hvis samme klokke havde været ophængt i et helt åbent tårn. Det vil således ikke høre til det umulige, at en klokke under sådanne omstændigheder synes at have en hård og skarp klang.

Det er naturligvis helt i orden at stille sig det spørgsmål, ved hvilken procent glamhulsareal det beskrevne fænomen virkelig kan blive hindrende. Det er i den forbindelse tydeligt, at en formindskelse af de tilbagekastende flader i tårnet og en forstørrelse af glamhullerne vil virke gunstigt. Begge faktorer går i øvrigt sammen, eftersom en forstørrelse af glamhullerne i almindelighed kun kan gøres på bekostning af tårnrummets totale murareal.

Når man i skemaet vil fastslå en grænse, må man regne med alle slags side-facetter. Man kan f. eks. forestille sig den situation, hvor et klokkerum er helt åbent i den ene side og helt lukket i den modsatte. Det er da evident, at selv ved et relativt stort glamhul kan de to faktorer i den mest ugunstige betydning arbejde sammen. Men hvis vi som udgangspunkt tager et normalt tårnrum med normalt placerede glamhuller, så lærer erfaringen, at i den her omtalte situation kan et glamhulsareal på mindre end ca. 50% være betænkeligt og kan befordre en hård og skarp klang fra klokken. Hvis man således

efterhånden kommer under nævnte procent, må klokkerummet undersøges grundigt på dette punkt.

Ved en sådan undersøgelse skal man især være opmærksom på to ting, nemlig på retningseffekten af de toner, der forlader rummet, og den mængde lyd, som disse toner tilsammen repræsenterer.

Med hensyn til retningseffekten kan i almindelighed følgende opstilles: Efterhånden som glamhulsarealet bliver formindsket, og bredden af hvert glamhul således bliver mindre, vil den bredde, som bliver den samme som de dybeste klokke-toners bølgelængde, få mere og mere værdi. Som følge deraf vil der i glamhullerne under disse lave toners passage dannes en ny bølgelængde, således at lyden kan spredes i alle retninger (fig. 4). En konsekvens heraf bliver dog, at grundtonens og de lavere overtoners lydmængde svækkes mere og mere for tilhøreren.

De højere klokke-toner har derimod en bølgelængde, som sædvanligvis er betydelig mindre end glamhullernes bredde, også selvom disse bliver formindsket mere og mere. De nævnte klokke-toner skulle således under alle omstændigheder fortsat kunne passere glamhullerne. Om spredning og afbøjning kan der da næppe være tale. Men alt dette betyder, at de højere toners retningseffekt altid vil blive mere udtalt, efterhånden som glamhullerne bliver smallere. I en meget ekstrem situation skulle det kunne betyde, at lyden fra de højere klokker kun kunne høres, hvis man stod lige over for et glamhul.

Imidlertid er og bliver det tydeligt, at med formindskelsen af glamhullerne bliver den totale mængde klokkelyd, der kan forlade tårnet, stadig mindre. På basis af det givne og med henblik på de forskydninger i retningseffekten, der kan vise sig, skal med hensyn til et klokkerum med ikke-afskærmede glamhuller følgende kunne fastslås i al almindelighed:

Så længe det totale glamhulsareal forbliver mere end de ca. 50%,

behøver man almindeligvis ikke at frygte for en for spids lyd som følge af de på hinanden følgende ekkoer, der ikke hindres af skodder. Men efterhånden som procenten daler, bliver muligheden for en stærk retningseffekt af de højere toner stadig større, således at klokke-lyden i forbindelse med den forøgede ekkovirkning og svækkelsen af de lave overtoner på visse steder i tårnets omgivelser vil kunne klinge hård og uden varme. Men forbliver man uden for disse lydbunster, der altså består af direkte og indirekte lyd, kan man i almindelighed regne med en rimelig klang.

Kommer man imidlertid endnu længere fra de nævnte 50%, vil som følge af den totale mængde lyd, der kan forlade tårnet, alt dette kunne slå om til det modsatte. Skulle man nemlig stå i et bundt af direkte og indirekte høj-tonet lyd, skulle det kunne betyde, at den høj-tonede lyd gennem glamhullernes minimale mål dog bliver acceptabel for hørelsen. Men dette betyder også, at efterhånden som man fjerner sig sidelæns fra de mere ligerettede høje klokketoner, hører man færre høje toner og således næsten kun de lave, noget afsvækkede toner i klok- kens tonespektrum. Erfaringsmæssigt skulle man vente dette fænomen ved et glamhulsareal på ca 10%.

Ved alt dette går man naturligvis ud fra et normalt klokkerum. Men skulle man udelukkende ville realisere formindskelsen af glamhullerne ved at gøre dem smallere, forskydes de ovenfor nævnte procenter naturligvis i ugunstig retning. Det må jo være tydeligt, at et tårn med med langstrakte, smalle glamhuller uden afskærmning vil fremme de højere toners tidligere nævnte retningseffekt, medens den totale mængde lyd, der kan forlade tårnet, ikke desto mindre er større end ved et tårn med normale glamhuller, hvis bredde er den samme som i det nævnte forbillede. Et sådant tårn vil da også i almindelighed have et antal ubetinget ugunstige tilhørersteder. For øvrigt ligger lægemidlet lige for, nemlig enten at forsyne glamhullerne med skodder eller at beklæde væggene i tårnet med et materiale, som især absorberer de høje toner.

### Akustiske hindringer

I vore betragtninger har vi indtil nu taget en idealiseret tilstand som udgangspunkt. Klokken blev f. eks. tænkt som en spids lydkilde, og om eventuelle akustiske hindringer i tårnrummet er der næsten ikke talt. Dog vil det være nyttigt også at formulere enkelte tanker om dette aspekt.

Når vi går ud fra den virkelige situation, nemlig den rumlige klokke, må vi med det samme konstatere - i betragtning af at ikke alle klokkens dele afgiver den samme mængde lyd - at den tidligere omtalte ekkovirkning på denne måde vil blive næret i betydelig grad. Herved vil klokkelyden jo også blive spredt, og lytteren vil få større lejlighed til ikke blot at kunne opfange den direkte lyd, men også et antal på hinanden følgende ekkoer. Det er i øvrigt interessant i den forbindelse at bemærke, at efterhånden som klokken aftager i størrelse, bliver der stadig mindre af denne effekt at spore, således at det også fra denne side bestyrkes, at et lukket klokkerum kun er af ringe betydning for en mindre klokke.

De forstærkede ekkofænomener, som må konstateres, når man forlader en for stærkt skematiseret teori, vil man også kunne finde i den kendsgerning, at klokkerummets vægge naturligvis aldrig er fuldstændig glatte. Tværtimod vil i mange tilfælde disse vægges<sup>ru</sup> struktur kun kunne forøge klokkelydens spredning i tårnrummet.

Begrænser vi os nu til de virkelige akustiske hindringer, altså begrænsninger, som gør det meget besværligt for klokkelyden frit at forlade tårnrummet, må vi allerførst skænke unødvendige åbninger i gulv og loft opmærksomhed. Især det sidste forekommer og i ekstrem form i den ikke tillukkede tårnspids, hvor en labyrint af træ udgør en farlig død vinkel for klokkelyden.

Dette betænkelige fænomen kan man naturligvis undgå ved at forsyne loftet med en velegnet afslutning. Om man vil, kan man herved opnå et andet formål, nemlig ved at indføre loftet som en så gunstig til-

bagekaster som muligt. Man kan f. eks. se bort fra den temmelig enkle flade tilbagekaster og vælge en hyperbolsk struktur. Når denne så på rette måde er tilpasset de stedlige omstændigheder, kan især de små klokker med deres ret korte bølgelængde på velegnet vis forstærkes for tilhøreren uden for tårnet.

Et andet problem, som man ofte møder i et tårn, står i forbindelse med klokkestolen, der ofte er opbygget meget bastant af tykke egebjælker. Naturligvis kan en sådan altfor stor mængde træ i tårnet på ingen måde være befordrende for en gunstig udstråling af lyd, i særdeleshed når nogle glamhuller derved bliver delvis tildækkede. Det bør da også være en regel, at i de tårne, hvor en klokkestol af træ bør foretrækkes af historiske og arkitektoniske grunde, skal den vælges så akustisk gunstig som muligt.

Man kan naturligvis udvide de givne eksempler med forskellige andre. Men vi indskrænker os til et sidste, nemlig klokkenistens spillekabine. Her møder man nemlig igen den sædvanlige forskel i lydudstråling mellem lav- og høj-tonede klokker. Hvis nemlig en sådan kabine bliver placeret midt i tårnrummet, er det tydeligt, at på grund af klokkernes forskellige bølgelængde er det bedre at hængte store klokker ved siden af kabinen end små. Små klokker vil jo alt for hurtigt blive maskeret igennem kabinen, således at de på den anden side af tårnet næppe eller slet ikke kan høres.

### Nogle praktiske retningslinier

Skønt man med de givne teorier i praktiske situationer ret hurtigt kan fastslå, hvilke elementer der er af betydning ved på den ene side udkastet til et tårn og på den anden side anbringelsen af klokkerne i tårnet, er det måske godt in concreto<sup>1</sup> at fastlægge enkelte praktiske retningslinier med hensyn til nævnte udkast. Naturligvis vil vi

---

1. med henblik på virkeligheden

derved ikke kunne undgå en vis ensidighed, men i det mindste vil vi give indtryk af, at vi sætter de akustiske idealer i klokkeklangen på første plads og ikke beskæftiger os med arkitektoniske og konstruktive ønsker og krav, som måske - og undertiden ganske tydeligt - er i modstrid med det, som er så nødvendigt ud fra akustiske overvejelser.

I vore betragtninger angående det mest ideelle klokkerum er det bestemt ikke skjult, at det lukkede klokkerum må anses for ideelt især for noget tunge klokker. Ikke desto mindre synes det, at et sådant ideal næsten aldrig bliver realiseret i vor tid, hvor den åbne campanile/jo af finansielle grunde bliver mere og mere almindelig. Men er det rigtigt at resignere i en sådan situation? Er det mon ikke sådan, at man på grund af ukendskab til det gode klokkerum har ladet alt for bekvemme finansielle overvejelser gælde ved valget af klokketårne? Vi vil lade besvarelsen af disse spørgsmål hvile fremdeles og prøve på at give et positivt forslag med hensyn til en løsning, som arkitektonisk set måske ikke er så tiltrækkende, men som akustisk set er en meget acceptabel forbedring.

Til venstre på fig. 6 har vi skitseret en helt åben campanile. Bortset fra tekniske indvendinger, der kan anføres imod den (såsom vanskelig forbindelse med klokkerne) er denne opstilling akustisk set heller ikke tiltrækkende. Ikke alene finder vi dette ved den fuldstændig åbne anbringelse af klokkerne, men også i den ofte forekommende fejl, at sidevæggene er helt lukkede. I visse situationer behøver man dog ikke at betragte dette som alt for besværligt, nemlig når ved lav-tonede klokker (med stor bølgelængde) sidemurenes bredde efter forholdene er ringe. Sædvanligvis er det dog ikke tilfældet, således at man må acceptere den konsekvens, at tilhøreren ved siden af tårnet ikke kan opfatte den fulde klokkelyd. På grund heraf ligger det lige for, at man anbringer enkelte åbninger i sidemurene, hvorved man naturligvis skal undgå for smalle sprækker. Således opstod den midterste skitse i fig. 6.

Hvis man må ~~væbne sig med tålmodighed~~ <sup>resignere</sup> med hensyn til en forbedring af tårnets akustiske egenskaber - og det er desværre ofte tilfældet - så må man, hvad angår svækkelse af klokkelysten, <sup>kunne</sup> søge efter en nødløsning. Det er jo kendt, at ved anvendelse af et blødere knebelmateriale vil klokken ikke blot klinge mindre hårdt, men desuden mildere i de højere overtoner og derved mindre skarp i totalklangen. I den tænkte situation vil således den sædvanlige smedjernsknebel kunne erstattes med en af det blødere manganmessing. For øvrigt skal der udtrykkelig gøres opmærksom på, at denne forbedring kun meget delvis kan fjerne vanskeligheden ved de åbne klokketårne. Man savner jo stadig de ekkøer, der kan maskere det abrupte i klokkeslaget.

Man kan da også med rette påstå, at det er meget bedre at søge efter simple midler, der kan give klokketårnet en mere lukket karakter. Ifølge sagens natur bør man her se mere bort fra de synlige klokkers æstetisk utvivlsomt smukke virkning. Man kan anse dette for beklageligt men må dog altid gøre sig klart, at man primært må tilkende klokken auditive og først derefter visuelle aspekter.

Da lukningen af klokkerummet konstruktivt ikke behøver at være af større betydning, kan den virkeliggøres med relativt små finansielle ofre. Som vilkårligt eksempel henviser vi til den højre skitse på fig. 6. I den der gengivne situation er klokkerummet lukket med simple træskodder efter akustisk rigtige regler. Ved alt det opnår man således en bedre virkning af klokkelysten. Desuden imødekommer man en vanskelighed ved alt for lave klokketoner, da skodderne nemlig ikke blot gør klokkeklangen behageligere, men også reducerer lydmængden til bedre proportioner.

Med indførelsen af faktoren "lydmængde" kommer vi ind på forskellen mellem ringeklokker og klokkespil. Den førstnævnte type klinger nemlig i almindelighed meget stærkere end klokkespilklokken. Grunden dertil er tydelig, ja det behøver ingen bevisførelse, da den svingende ringeklokke bliver anslået med meget større kraft end klokkespilklokken, som der spilles på manuelt fra stokklaveret ved hjælp af nogle mekaniske

overførsler. Heraf må man drage den konklusion, at i almindelighed passer klokkespillet bedre i et åbent tårn end en ringeklokke, medens omvendt en for svag lyd i et lukket tårn snarere er at frygte ved klokkespillet end ved ringeklokken.

Således fremstillet forekommer problemet simpelt. Alligevel må der tales om en særlig komplikation ved klokkespillet. Ethvert klokkespil har nemlig både dyb- og høj-tonede klokker; det ideale fire oktaver-koncertspil (47 klokker) har f. eks. som dybeste klokke en  $c^1$  (vægt 2400 kg), der som grundtone har et  $c$  med frekvens 128 Hz, medens den højeste klokke i et sådant spil er en  $c^5$  med en vægt på 12 kg og en grundtonefrekvens  $c^4$  på 2048 Hz. Og hermed er problemet da fremstillet tydeligt, de store klokker i et sådant koncertspil vil udmærket kunne tåle det lukkede klokkerum, medens de mindste klokker skal placeres i et åbent tårn.

Man ville måske være tilbøjelig til at tro, at der ikke var nogen mulighed for at løse problemet, og derfor at mene, at et klokkespil ikke kan anbringes i et lukket tårn. Men en sådan konklusion er ikke helt rigtig. For det første bør nemlignogle følelsesmæssige rettelser foretages.

Man kan henvise til en praksis, der har bestået i århundreder, nemlig at tunge klokkespil (som spillet i det givne eksempel) sædvanligvis også anbringes i lukkede tårne uden besvær. Vanskelighederne ved lukkede tårne synes da især at koncentrere sig om lettere klokkespil, f. eks. spil med 35 klokker med basistonen  $c^2$  (vægt 290 kg). Allerede i 1600-tallet, på den tid da de berømte Hemony-brødre lavede deres mange fortræffelige klokkespil, har denne stræben tydeligt manifesteret sig.

Men når man nærmer sig fænomenet akustisk, falder det umiddelbart i øjnene, at såvel det tunge som det lette klokkespil har de samme høje toner, der synes at gøre det besværligt at placere et klokkespil i et lukket tårn. På grund heraf må man da antage, at den givne historiske forskel med hensyn til anbringelsen af tunge og lette klokkespil i forskelligartede tårne ikke er en tilfældighed.

Formodentlig må man da også søge en anden årsag til det her beskrevne fænomen. Og uden tvivl er den da at finde i den kendsgerning, at et tungt klokkespil er i bedre harmoni med det klassiske, som oftest monumentale lukkede klokketårn end det højere klingende spil, der synes at være mere på sin plads i et lettere tårn. Det kan desuden tilføjes, at blandt de lette tårne forekommer en åben struktur oftere end blandt de tungere.

Når vi så engang har godkendt alt dette, kan problemet reduceres til spørgsmålet, på hvilken måde de mindste klokker i et tungt eller let klokkespil bedst kan komme til deres ret i et lukket tårn.

Det ligger naturligvis lige for, at man her begynder med at anbringe de mindre klokker sådan i tårnrummet, at især den direkte lyd kan forlade tårnet så uhindret som muligt. Af den grund er f. eks. den skematisk antydede opstilling af et klokkespil i tegningen til venstre på fig. 7 fuldkommen forkert. Her er jo de store klokker, som med deres lavere bølgelængde ikke nødvendigvis sender lyden ud i lige linie, netop ophængt på den plads, hvorfra den direkte klokkelyd får den bedste chance. Derimod hænger de mindste klokker på en højst ugunstig plads. Betydelig bedre er det da også at hænge de dyb-tonede klokker på højde med glamhullernes underkant for derefter at fortsætte med stadig lettere klokker opad i tårnrummet (midterske skitse i fig. 7). Der opnås endvidere, at der i loftet umiddelbart oven over de mindste klokker findes en meget velegnet tilbagekaster.

I det foregående er vi gået ud fra et normalt proportioneret klokkerum. Men i det moderne tårnbyggeri kan det forekomme, at klokkerummet kun har et ringe gulvareal, men derimod en større højde end normalt. I en sådan situation kan den rigtige opstilling af klokkerne være noget kompliceret.

Hvis man skulle arbejde ud fra de normale teorier, skulle naturligvis de små klokker hænge højt oppe i tårnrummet og de store lavt. Da

endvidere de mekaniske forbindelser for klokkespil bør være så korte som muligt, må spillekabinen, hvor stokklaveret er anbragt, placeres mellem de tunge og de lette klokker. Alt dette synes normalt og uden problemer. Men når vedkommende tårn har en åben struktur, må vi erkende, at det ikke er særlig kønt at anbringe en kabine i midten af tårnet. Dettets åbenhed bliver jo derved forulempet.

For at undgå disse besværligheder er man da tvunget til at anbringe spillekabinen på tårnrummets gulv. Men da korte trådforbindelser til de små klokker er nødvendige fra et spilleteknisk synspunkt, må disse klokker placeres direkte over kabinen. Som konsekvens deraf skulle de store klokker så komme til at hænge for oven i tårnet. Er en sådan opstilling, der således går direkte imod de tidligere givne regler, da anvendelig akustisk?

Ved besvarelsen af dette spørgsmål kan man henvise til to formildende omstændigheder. For det første vil i et højt klokkerum, hvor de små klokker er placeret relativt lavt, disse klokker dog beholde en gunstig position med hensyn til de ligeledes langstrakte glamhuller. De små klokker mister dog loftet som naturlig lyd-tilbagekaster. Men der bliver delvis kompensere for dette ved, at den her omtalte opstilling kun er nødvendig i et forholdsvis åbent tårn. Det er jo de visuelle aspekter, der gør det nødvendigt at anbringe kabinen for nederen i tårnrummet. Men i et åbent tårn kan lydudstrålingen være sådan, at en tilbagekastning fra loftet ikke er direkte nødvendig for de små klokker. Med alt det må det vel være klart, at i langt fra alle tilfælde er den mest ideelle opstilling af klokker mulig, og at man ofte må lade sig nøje med et for øvrigt temmelig gunstigt kompromis.

I vertikal retning er fordelingen af store og små klokker i et klokkerum af den mere lukkede type at betragte som uden besværligheder. Sædvanligvis bliver der også i praksis skænket den tilstrækkelig opmærksomhed. Mindre ligetil synes dog placeringen i det horisontale plan at være. Ikke desto mindre er der også her forskellige vigtige

regler at iagttage. Man kan nemlig forestille sig, at en lille klokke, hvis lyd har en relativ kort bølgelængde, ved placering umiddelbart bag et bestemt glamhul vil forstyrre ligevægten i lydudstrålingen i forskellige retninger. Betragter man f. eks. den tredje skitse i fig. 7, kan man fastslå, at på tårnets venstre side vil klangen fra de mindre klokker kun være til at høre på bestemte steder. Ved disse klokkers placering tæt ved glamhullerne vil ekkoerne fra den høje klokke-lyd på nævnte side næppe kunne komme udenfor. Derimod vil de små klokker på grund af de talløse tilbagekastninger i tårnet ved højresiden kunne høres i et større strålingsområde. På den side kan ekkoerne betydelig lettere komme ud og således sammen med den direkte lyd danne et større strålingsbundt end på venstresiden. Konklusionen ligger lige for, nemlig nødvendigheden af at anbringe især de små klokker så centralt som muligt i tårnet.

Har man ved alt dette fjernet de vanskeligheder, der hænger sammen med høj-tonede klokker i et lukket tårn? Naturligvis ikke. Men man kan henvise til endnu en omstændighed. Det er nemlig en bekendt sag, at et klokkespil på lang afstand ganske vist kan høres som et behageligt klingende spil, men kun på rimelig afstand kan tilkendes en virkelig musikalsk vellyd. En af årsagerne hertil må man utvivlsomt søge i den kendsgerning, at af klokkespillet hører man på større afstand kun fragmentarisk det, der bliver spillet, medens den melodiske linie tydeligt kan følges på kortere afstand. Især de mindre klokker forårsager dette onde, og det er også tydeligt, da f. eks. ved et ikke særlig højt tårn alskens akustiske hindringer (som f. eks. højere huse) vil placere sig mellem tårnrummet og lytteren, hindringer, som på grund af den oftere omtalte spredningseffekt ved de lavere toner ikke virker særlig generende for de tungere klokker, men er fatal for lyden fra de høje klokker. Helt tydeligt kan dette fænomen konstateres, hvis man løber rundt om et sådant placeret tårn. Man kan da nemt iagttage, at de højere og højeste klokker kun kan høres i deres fulde klangrigdom,

hvis man samtidig kan se tårnet. Åbenbart falder lydets forplantningsmåde nogenlunde sammen med lysets, et fænomen, som naturligvis har direkte forbindelse med de høje toners korte bølgelængde.

✓ På grund af ovennævnte faktorer, som altså intet har at gøre med selve tårnets struktur, skulle man kunne vove den forsigtige påstand, at klokkespillet i modsætning til ringeklokken på lang afstand ikke behøver at kunne følges i dets toneopbygning, eller i det mindste at man først og fremmest må stræbe efter på relativ kort afstand at gøre klokkespillet fuldstændig forståeligt i dets melodiske struktur. En yderligere forstærkelse af de høje klokketoner, end der tidligere er talt om til brug for en fjernere tilhører, skulle således ikke være mulig og kan derfor ej heller kræves.

Kan alt det nu betyde, at det lukkede klokketårns natur ikke er betydningsfuld for klokkespilsklokker? At f. eks. alt det ønskede er opnået ved en rigtig placering af klokkerne i tårnet? Det må naturligvis benægtes med fynd og klem. Men ud fra de givne betragtninger må vi drage den konklusion, at ved udkast til det lukkede klokketårn må man især være opmærksom på effekten på kort afstand. Og dermed kommer man da egentlig tilbage til den tidligere givne bevisførelse, hvor glamhullerne og skodderne stod centralt placeret.

Med hensyn til skodderne kan man bemærke, at disse, mere end det er nødvendigt ved de dybere og stærkere klingende ringeklokker, i størrelse og stilling så vidt muligt skal tilpasses efter de højere lydende klokkespilsklokker. Netop for disse små klokker kan for store skodder i urigtig stilling have alvorlige følger for hørligheden. Det ligger da også lige for at betragte skitsen længst til højre på fig. 5 som den mest ideelle netop for klokkespil. Skulle dette af visse årsager ikke være muligt, skal man i al fald stræbe efter at vælge det vandrette mellemrum mellem to skodder så stort som muligt.

Og glamhullerne selv? Det står fast, at med hensyn til deres størrelse skal der netop med henblik på de svagere klingende klokkespil-

~~klokkespil~~klokker vælges en så stor procent af det totale indvendige murareal som muligt. Man bør også stræbe alvorligt efter at vælge en procent på mindst 25, hvorved man - om man vil - kan inddrage den tidligere givne relation til skodderne. Dette betyder bl. a., at ved en åben placering af skodderne kan glamhulsarealet blive mindre, end hvis store skodder bliver anbragt tæt sammen. Ikke desto mindre må 20% betragtes som et virkeligt minimum.

Naturligvis kan man ikke nøjes med at inddrage glamhullernes størrelse i overvejelserne. Mindst lige så betydningsfuld er nemlig glamhullernes placering i tårnrummets mur. Det er i øvrigt et aspekt, som er af vigtighed såvel for ringeklokker som for klokkespil, omend man for sidstnævnte igen må bemærke, at urigtigt anbragte glamhuller kan have alvorlige følger for de højere klokke-toner.

Nærmere omskrevet betyder ovenstående bl. a., at det i almindelighed er farligt at anbringe en blind mur lige over for et glamhul, en mur altså, der kan optræde som lydtilbagekaster og derfor kan få de højere klokker til at klinge hårdt og heftigt. Det synes altså igen, at det helt symmetriske klokkerum er at foretrække.

Alvorligere er det naturligvis, når klokken ikke kan klinge frit ud i alle retninger, således i tårne, hvor der i den ene af de to sider ikke findes noget glamhul eller kun meget små. Det er i øvrigt interessant at bemærke, at i det klassiske tårnbyggeri accepteres den slags akustisk betænkelige situationer aldrig. Med alt dette vil vi i øvrigt ikke dømme det moderne tårnbyggeri i almindelighed, men udtrykkelig pege på, at anbringelse af et antal vilkårlige ågninger i et tårn ingenlunde gør det til et virkeligt klokketårn.

Skønt det åbne klokketårn ikke synes at skabe særlige problemer, i det mindste ikke, når man først har accepteret de enkelte utvivlsomt mindre gunstige akustiske egenskaber derved, må der dog også om den slags tårne anbringes enkelte randbemærkninger.

På grund af den omsorg man bør drage for også at lade de højest

lydende små klokker i et lukket tårn komme til deres ret, kan det først og fremmest bemærkes, at det åbne tårn uden tvivl vil være mere velegnet til klokkespil end til ringeklokker. Naturligvis må her tårnets størrelse og højde være i harmoni med det klokkespil, der er anbragt i det; men når dette ret simple vilkår opfyldes, kan det åbne klokkerum kun betragtes som særlig ideelt for klokkespil. Ganske vist vil de tunge klokkespilklokker ofte være mere tydelige end fra et lukket tårnrum, hvorfra klokkerne klinger varmere og mere dæmpet, men fordelene ved det totale klokkespils klarhed og åbenhed er så store, at man gerne ser bort fra de først nævnte egenskaber.

I det ovenstående blev altså talt om tilpassede situationer. Herved kan man lægge mærke til to aspekter i særdeleshed. Først den allerede tidligere antydende nødvendige harmoni mellem tårnets størrelse og klokkespillets tyngde. Grundtanken derved er, at det følelsemæssigt kun er lidet tiltrækkende at placere et let klokkespil i et tungt, omfangsrigt tårn. Det er jo ligetil, at uhildede tilhørere til et sådant tårn forventer en hårdt klingende lyd, og omvendt fra et let og slankt lille tårn en høj-tonet melodi.

Allerede af følelsemæssige grunde skulle således den norm gælde, at klokkespillet bør være des tungere, jo større tårnet er i omfang og i højde. Smukke eksempler på velegnede åbne tårne til tunge klokkespil finder man bl. a. i kuplen i Slottet og i lanternen i Oude Kerk begge i Amsterdam. Lige så ideelle er tårnene ved Nieuwe Kerk i Delft og i domkirken i Utrecht.

Imidlertid er der også et andet, meget mere håndgribeligt argument for at opretholde ligevægten mellem tårn og klokkespil. En nærmere præcisering heraf har desuden stærk forbindelse med den måde, hvorpå klokkerne bliver placeret i det åbne tårnrum.

De åbne tårne med de synligt hængende klokker mellem balustrene er et rigtig fortroligt og behageligt billede i den nederlandske by.

Man kan forestille sig den ekstreme situation: en lav kuppel med et efter forholdene stort tværsnit. Bliver klokkerne nu placeret cirkelformet her i tårnet, er det næsten uundgåeligt, at tilhøreren ikke får noget homogent indtryk af klokkespillet, men tydeligt kan konstatere, hvor vedkommende klokker hænger. Den klokke f. eks., som hænger på bagsiden af tårnet, vil for ham klinge svagere end den, der hænger på forsiden. Man kan forestille sig situationen ved pianoet, hvor f. eks. bestemte toner under alle omstændigheder klinger svagt og andre derimod alt for stærkt.

Det siger da sig selv, at man ved anbringelsen af klokkerne i kreds i tårnet skal gå så forsigtigt til værks som muligt. Thi skønt klokke<sup>spil</sup>installatøren er helt overbevist om, at en så kompakt opbygning af spillet som muligt kan befordre den totale klangs homogenitet i betydelig grad, vil han på den anden side ikke kunne tilsidesætte de arkitektoniske ønsker og negligere dem som ubetydelige. Han må derfor affinde sig med en anbringelse af klokkerne på tårnets yderside under forudsætning af, at bestemte regler bliver iagttaget.

Centralt blandt disse regler står den flere gange nævnte erfaring, at en lytter nemmere kan høre, fra hvilken retning lyden fra høje klokker kommer end fra dybe. Og hermed angives da den vej, ad hvilken et kompromis mellem arkitekten og klokkespilbyggeren kan findes. Installatøren skal nemlig anbringe de små og mindste klokker i instrumentets centrum, altså i tårnets midte. Efterhånden som klokkerne får en dybere tone, kan han afvige herfra for til sidst at ophænge de dybest klingende klokker, altså de tungeste, mellem balustrene ved glasmullerne.

Ved anvendelsen af dette princip skal man naturligvis være opmærksom på klokketårnets diameter. Skulle denne nemlig være for stor, f. eks. 10 meter, vil man ikke længere kunne placere selv de tungeste klokker ved tårnets yderkant. Af lige så stor betydning er det at inddrage tårnets højde i overvejelserne. Efterhånden som tårnet bliver lavere, må grænsen på de ti meter jo blive mindre og mindre. Alligevel kan

klokkestøberen bortset fra de nævnte yderligheder finde sig i, at et antal større klokker bliver ophængt i tårnets glamhuller.

Naturligvis må man også i vertikal retning tilstræbe den kompakte opstilling. I de ældre tårne med begrænset højde i klokkerummet behøver det ikke at skabe noget problem. Men anderledes er det i den åbne campanile, der med sin helt åbne struktur byder på et mere end rigeligt rum til ophængning af klokkerne. Naturligvis skal man da ikke lade sig friste til at benytte hele dette rum, hvor tiltrækkende det så end måtte være for tårnets visuelle aspekt.

Når man til slut endnu engang vil gøre opmærksom på modsætningen mellem det tårnrum, der er ønskeligt på den ene side for et klokkespil og på den anden side for en ringeklokke, kan man henvise til den påfaldende situation i det ældre tårnbyggeri, hvor ofte et særskilt lukket tårnrum var reserveret for ringeklokken og en åben lanterne for klokkespillet. I hvor høj grad dette dengang bevidst var tålstræbt kan vanskeligt konstateres; men i al fald må det betragtes som et karakteristikon for den væsentlige klangtekniske forskel, der består mellem de to slags klokker.

Det åbne klokketårn er kun lidet tiltrækkende for den noget tungere ringeklokke. Det kan ikke gentages ofte nok. På den anden side skal man naturligvis ikke henfalde til en tilstand, hvor den mindre heldige tårntype bliver fuldstændig afvist og således sat uden for bestræbelserne mod optimale resultater.

Ligesom for klokkespillet gælder det også for klokkekor - altså for et antal efter hinanden afstemte ringeklokker - at de enkelte klokker skal anbringes så tæt på hinanden som muligt. Bestemt af det onde og helt forkastelige f. eks. en situation, hvor man - uden at det har været nødvendigt - har fordelt ringeklokkerne i kirkens to tårne. Klokkerne, der jo sammen skal forme lyden, vil derved i alt for høj grad blive hørt som individuelle klokker og ikke kunne sammensmelte til et hele.

Naturligvis er dette et usædvanligt eksempel. Noget lignende, men da i ét tårn, hører derimod ikke til sjældenhederne. Murskillerum, svære søjler i klokkerummet skiller jo de enkelte klokker fra koret, således at tilhøreren kun på meget udsøgte steder kan høre alle klokkerne i samme styrke; dog sædvanligvis kan én eller flere klokker fornemmes svagere eller næsten ikke. Og netop herved bliver udgangspunktet for formningen af lyden brudt. Accenten skal nemlig ikke lægges på de individuelle klokker, men på de klokker sammen, der former et eget instrument. En opgivelse af dette ideal på arkitektonisk uden tvivl interessante opstillinger kan kun beklages.

Imidlertid er der endnu et aspekt ved det åbne klokketårn at lægge mærke til. Praksis har nemlig gentagne gange vist den mindre heldige virkning af åbent og lavt hængende ringeklokker på den direkte omgivelse af høj bebyggelse (beboelsesejendom). I en sådan situation kan der jo opstå hindrende tilbagekastninger fra de høje bygninger, hvorved klokkeklangen gør et skarpt dobbelttydigt indtryk. Der behøves derfor ingen bevisførelse for, at just i dette tilfælde byder det lukkede klokkerum på mange tiltrækkende fordele og kan i hvert fald maskere og mildne forstyrrende ekkodannelse fra de omliggende huse.

Overgangen fra den fuldstændig åbne campanile til den fritstående klokkestol er faktisk kun ringe. Af betydning er kun den forskel, at sidstnævnte næsten altid er mindre høj. Hvad ringeklokkerne angår, kan man kun tilføje få elementer, i det højeste at det er mere nyttigt ved disse lavthængende klokker at tilpasse en blød knebel (f. eks. af manganmessing) end den almindelige af smedjern, der gerne lader klokken klinge hårdere og heftigere.

At situationen ligger noget anderledes ved klokkespillet, skyldes først og fremmest den kendsgerning, at man har gjort forsøg på at anbringe en lydtilbagekaster oven over klokkerne. Denne kan da være fuldkommen flad eller besidde en mere tilpasset struktur.

I hvor høj grad en sådan er hensigtsmæssig, hænger naturligvis

ganske sammen med dens dimensioner. Og det er derved tydeligt, at dimensionerne må være så store for at gøre den velegnet for tungere klokker, at den praktiske udførlighed på forhånd står fast. Lydtilbagekasteren kan altså nok anvendes for mindre klokker under forudsætning af, at dimensionerne vælges betydelig større end bølgelængderne af den lyd, der skal kastes tilbage. Desuden vil det naturligvis være nyttigt ikke at placere de mindre og de mindste klokker for langt fra tilbagekasteren. Er det ikke muligt, kan tilbagekasteren oven over et i det fri opstillet klokkespil med føje udelades eller i det højeste blive betragtet som forskønnelse af hele klokkespillet.

### Sammenfatning

Hvis vi nu skal resumere enkelte tanker, ville måske følgende skematiske opstilling være bedst egnet:

1. Det helt åbne klokkerum (lanterne o.s.v.) gengiver klokkeløden næsten uændret. Men på grund af manglen på tilbagekastende flader i tårnet kan klangen synes tynd og uden varme. I sammenligning med klokkerum af mere lukket type vil dette være des tydeligere at iagttage, jo dybere tone klokken har. Grænsen skal omtrent sættes ved en  $a^2$ -klokke (grundtone  $a^1 = 440$  Hz, vægt 65 kg).
2. Et klokkerum, hvis glamhuller ikke er afskærmede med skodder, vil udstråle klokkeløden temmelig uændret, og der kan desuden tilføjes en række ekkoer. På grund af manglen på skodder, der kunne sprede og fordele klangen, vil ikke alle tilhørerpladser byde på en lyd med samme klangfarve. En overdrivelse af denne type klokkerum nemlig ved at vælge glamhullerne relativt små og de tilbagekastende vægge relativt store kan få klokken til at klinge heftigt og hårdt på visse lyttersteder, afhængig af den retning, hvori ekkoerne bevæger sig.
3. Et lukket klokkerum af den normale type med glamhuller, der lukkes med gunstigt opstillede, ikke for store skodder, iværksætter ved

siden af en bedre spredning af ekkoerne en rimelig afskærmning af de højere overtoner, hvorved der opnås en varmere lyd. Overdrivelse af den type klokkerum giver en klokke, der er for svag og for fattig på overtoner. Grænsen skal omtrent sættes til 20% glamhulsareal.

Effekten af det lukkede klokkerum vil blive tydeligere, jo dybere klokken tonehøjde er. Grænsen skal omtrent sættes ved en  $a^2$ -klokke. Klokker med højere toner vil således ikke vinde noget - eller kun lidt - i klangværdi ved at blive placeret i et lukket klokkerum.

4. Klokkernes (såvel ringe- som klokkespil-klokkernes) tyngde og størrelse skal så vidt muligt tilpasses efter tårnets højde og omfang.
5. For at de akustiske fordele ved det lukkede klokkerum så vidt muligt kan komme til deres ret, bør dette rum vælges efter dimensionerne. Smalle, høje tårnrum bør undgås.
6. For at fremme en egal lydudstråling fra klokketårnet må det anbefales at vælge glamhullerne så symmetrisk som muligt fra tårnets centrum.
7. Jo smallere glamhullerne vælges, des mere vil de højere toners retningseffekt blive fremmet. Vil man altså stræbe efter en ensartet udstråling af klokkeklangen i alle retninger, skal man afvise enkelte smalle glamhuller.
8. Det kan anbefales at vælge skodderne så smalle som muligt og at placere dem så langt fra hinanden som muligt. Overlapning af brede skodder vil bevirke, at især de højere toner bliver hæmmet.
9. Ringeklokker skal fortrinsvis og tunge klokkespil kan, hvis man ønsker det, anbringes i lukkede klokkerum. Lettere klokkespil skal fortrinsvis og tunge spil kan om man ønsker det, anbringes i åbne tårne. Disse regler har deres oprindelse i den væsentlig akustiske forskel mellem klokkespil og ringeklokker. De førstnævnte klinger nemlig svagere og omfatter flere høje toner end ringeklokkerne.
10. Det bør tilstræbes, at et klokkespil eller et klokkekor bliver bygget så kompakt som muligt.
11. Såvel i lukket som i åbent klokkerum bør det på det kraftigste an-

befales, at de højere og højeste klokker i spillet anbringes i instrumentets centrum. Alt eftersom klokkerne har en lavere tone kan de fjernes fra centrum.

12. I den vertikale fordeling af klokkerne i det ikke for høje klokke-  
rum bør man fortrinsvis følge den regel, at jo højere klokketonen  
er, des højere bør vedkommende klokke placeres. Så vidt muligt bør  
de mindste klokker altså hænge tæt under loftet i tårnrummet.
13. Reglerne i 11 og 12 må aldrig følges på bekostning af klokkespillets  
kompakte opbygning. Det bør være en regel, at klokkerne anbringes  
så tæt ved hinanden som muligt på grund af fornuftige konstruktive  
ønsker med hensyn til klokkestolen.
14. Det bør anbefales at anbringe et klokkespils mindre klokker således,  
at der kan trækkes rette linier fra de små klokker til de bedst eg-  
nede lytterpladser, uden at omfangsrige akustiske hindringer be-  
høver at passeres. Naturligvis må udførelsen af denne regel ikke  
ske på bekostning af 11 og 12.
15. Såvel ved de tungere klokkespilklokker som ved ringeklokker bør  
man sørge for, at klokken mindst ligger lige med glam-  
hullets underkant. Om muligt kan klokken anbringes en smule højere.
16. Det må anbefales at forsyne åbent og lavt hængende ringeklokker  
med knebler af det relativt bløde manganmessing.

## Betragtninger over klokkerummets akustik

Klokkeklangens skønhed bestemmes af klokkerummets art. Forfatteren undersøger årsagerne hertil Og sammenfatter sine resultater i en række gode råd: Det helt åbne klokkerum gengiver lyden næsten uændret, men tynd og uden varme. Lyden fra et rum uden skodder vil ikke have samme klangfarve på alle tilhørerpladser. Et ~~XXXXXX~~ rum med glamhuller, lukket med skodder, giver en bedre spredning af ekkoerne og en rimelig afskærmning af de højere overtoner. Smalle, høje tårnrum bør undgås. Glamhullerne bør vælges så vidt muligt symmetriske fra tårnets centrum. Enkelte smalle glamhuller bør undgås, og skodderne bør vælges så smalle som muligt og så langt fra hinanden som muligt. Ringeklokker skal fortrinsvis anbringes i lukkede rum, lettere klokkespil derimod i åbne. Klokkespil bør bygges så kompakt som muligt, og de højere og højeste klokker i spillet bør anbringes i instrumentets centrum. Jo højere klokke-tonen er, jo højere bør klokken placeres. Tungere klokkespilklokker og ringeklokker bør anbringes, så deres underrand ligger lige med glamhullets underkant.