

DEN NATIONALE SCENE

# MÅLING AV ROMAKUSTIKK, STORE SCENE

MÅLERAPPORT

ADRESSE COWI AS  
Postboks 2422  
5824 Bergen  
TLF +47 02694  
WWW cowi.no

## INNHold

Sammendrag	2
1 Innledning	3
2 Anbefalinger, NS 8178:2023 / NS-ISO 23591:2021	3
3 Eksisterende situasjon	5
4 Målemetode	8
5 Måleresultater	14
5.1 Etterklangstid	15
5.2 Taletydelighet	20
5.3 Styrke	23
5.4 Klarhet	26

OPPDRAGSNR.

A252007

DOKUMENTNR.

005

VERSJON

1

UTGIVELSESDATO

05.03.2024

BESKRIVELSE

Målerapport

UTARBEIDET

Erlend Bolstad

KONTROLLERT

Bård Støfringsdal

GODKJENT

Bård Støfringsdal

## Sammendrag

Store scene har en rekke gode romakustiske kvaliteter der taletydelighet utmerker seg som god både i akustiske og forsterkede settinger. Som forventet er det noen utfordringer på sidebalkonger der skyggeeffekter fra rekkverk gjør seg gjeldende. For noen av disse posisjonene kan høyttalerløsningene forbedres for å oppnå bedre lydforhold. Himlingen i salongen har god effekt på taletydeligheten, noe som blir tydelig med de gode resultatene for *STI* i akustisk setting på frontlosje og balkong.

Etterklangstiden i salen er målt til 1,25 s i mellomtoneområdet. Totalt sett er etterklangstiden i salen for lang når en ser på målingene av scene og sal samlet. Anbefalt nivå er cirka 1,0 s. Etterklangstiden i salen, målt med jernteppet nede, er nærmere anbefalt nivå. Her er etterklangstiden i dagens situasjon cirka 1,0 s og anbefalt nivå cirka 0,9 s

Målingene viser at frekvensresponsen i salen er ujevn. Den blir for lang i bassfrekvensområdet og for kort i diskantområdet. Det er i hovedsak de romakustiske forholdene i scenehuset som er årsaken til den lange etterklangstiden i bassfrekvensområdet. Det vil være nødvendig å montere en betydelig mengde lydabsorbenter på vegger og i tak i scenehuset for å forbedre situasjonen. Dette vil gi en merkbar forbedring av lydforholdene både på scenen og i salen, spesielt for musikk og lydeffekter. Det er også et viktig grep for å oppnå økt naturlighet ved forsterket tale, da det gir redusert behov for filtrering for å unngå feedbackproblematikk.

Når det gjelder den korte etterklangstiden i diskantområdet, skyldes dette primært utformingen av stolene, med en del stoffkledde upolstrede overflater, samt bruk av gulvtepper. Uavhengig av om stolene skal rehabiliteres eller skiftes ut vil det være sentralt å definere funksjonskrav til stolene som gir mindre høyfrekvent absorpsjon enn dagens løsning. Ut fra målingene med jernteppet nede vurderes det også som nødvendig å oppnå høyere absorpsjon i 125 Hz-oktavbåndet for stolene.

## 1 Innledning

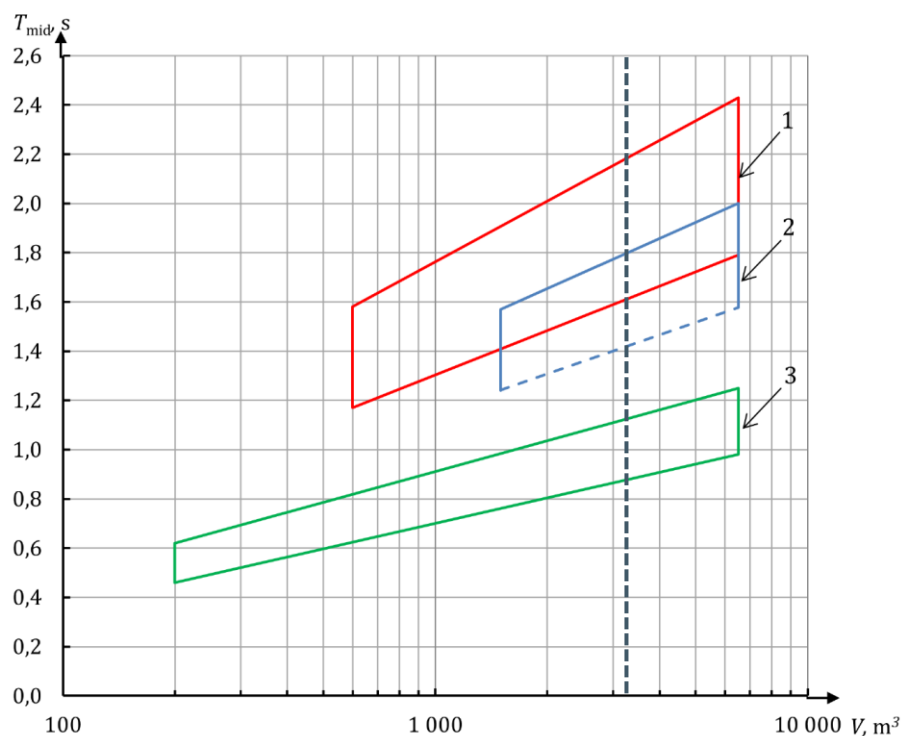
Det ble utført målinger av romakustikk ved Store Scene på Den Nationale Scene i juni og oktober 2023. Hensikten med målingene er å definere og tallfeste de romakustiske forholdene i dagens situasjon, samt å analysere hvordan romakustikken påvirker forholdene for taletydelighet og fremføring av musikk. Hensikten med rapporten er også å åpne for en dialog om aktuelle krav og målsetninger for de romakustiske forholdene. De endelige kravene må tilpasses til prosjektet i samarbeid med teateret og aktuelle rådgivere.

Store Scene er den største av tre scener ved Den Nationale Scene og har ca. 450 plasser fordelt på orkester, parkett, frontlosje og balkong. Bygget er fra 1909.

## 2 Anbefalinger, NS 8178:2023 / NS-ISO 23591:2021

I standarden NS 8178:2023 *Akustiske kvalitetskriterier for saler til musikkframføring* er det gitt anbefalinger for etterklangstid som funksjon av bruksområde og romvolum. Disse sammenfaller med anbefalingene i NS-ISO 23591:2021 og er vist i Figur 1. I Figur 1 er Store Scene markert med en vertikal svart strek. Selve salen har et volum grovt estimert til cirka 2200 m<sup>3</sup>, og scenehuset et volum på cirka 3700 m<sup>3</sup>. Som grunnlag for vurderingene er det samlede volumet for salen og det «synlige» volumet av scenehuset (opp til 5,5 m) lagt til grunn (ca. 3400 m<sup>3</sup>).

Lydsterk akustisk musikk omfatter ensembletyper som symfoniorkester, korps, storband og lignende. Lydsvak akustisk musikk omfatter kor, strykeorkester og lignende. Kriterium for forsterket musikk gir også egnede forhold for taleformidling og andre bruksområder der hoveddelen av lydformidlingen til publikum skjer ved hjelp av høyttalersystemet. For teater og lignende vil en normalt ønske en etterklangstid i øvre halvdel av anbefalingen for forsterket musikk, med fokus på formidling av (semi-)akustisk tale og sang fra scenen.

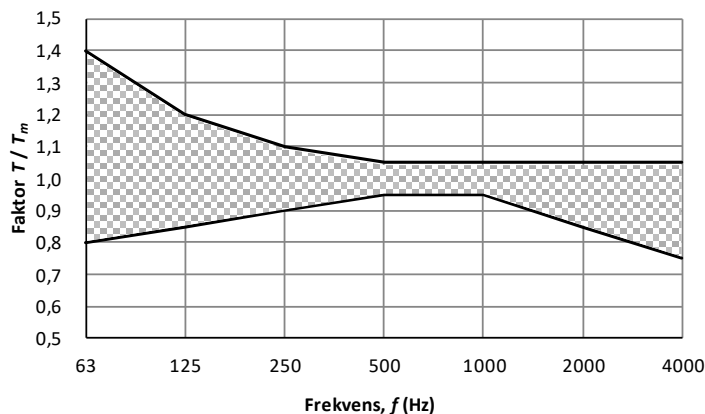


#### Tegnforklaring

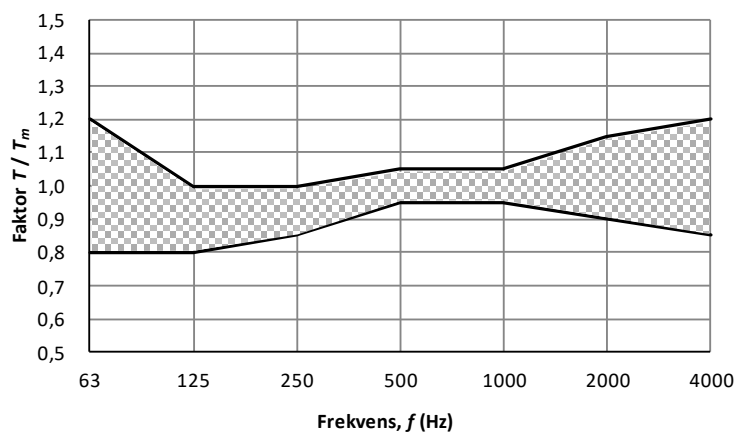
- 1 øvre og nedre grense for lydsvak akustisk musikk i framføringssaler
- 2 øvre og nedre grense for lydsterk akustisk musikk i framføringssaler; for stiplet linje, se forklaring i teksten i [4.2](#)
- 3 øvre og nedre grense for forsterket musikk i framføringssaler
- $T_{mid}$  gjennomsnitt av etterklangstid for oktavbåndene på 500 Hz og 1000 Hz, i sekunder
- $V$  volum, i kubikkmeter ( $m^3$ )

Figur 1 Etterklangstid,  $T$ , relatert til netto romvolum,  $V$ , for ulike bruksformål  
(Kilde: Standard Norge, NS-ISO 23591:2021).

Etterklangstiden,  $T$ , er i Figur 1 definert som den midlere etterklangstiden i frekvensområdet 500-1000 Hz ( $T_m$ ). Det er likevel viktig å oppnå egnede etterklangstider for hele frekvensspekteret. I NS 8178 er det brukt en faktor,  $T/T_m$ , som er definert som etterklangstiden ved et frekvensbånd relativt den midlere etterklangstiden. Denne faktoren bør ligge innenfor det skraverte området vist i Figur 2 og Figur 3.



Figur 2. Anbefalt frekvensfordeling for etterklangstid i konsertscener for akustisk musikk. Figuren viser etterklangstid  $T$  for et gitt frekvensbånd relativt  $T_m$ , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.

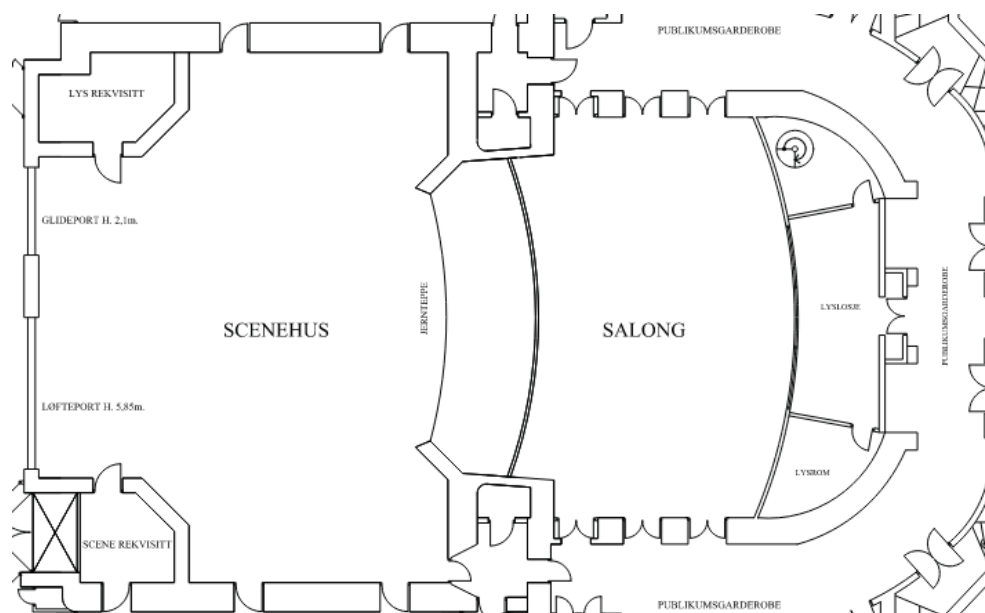


Figur 3. Anbefalt frekvensfordeling for etterklangstid i konsertscener for forsterket musikk. Figuren viser etterklangstid  $T$  for et gitt frekvensbånd relativt  $T_m$ , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.

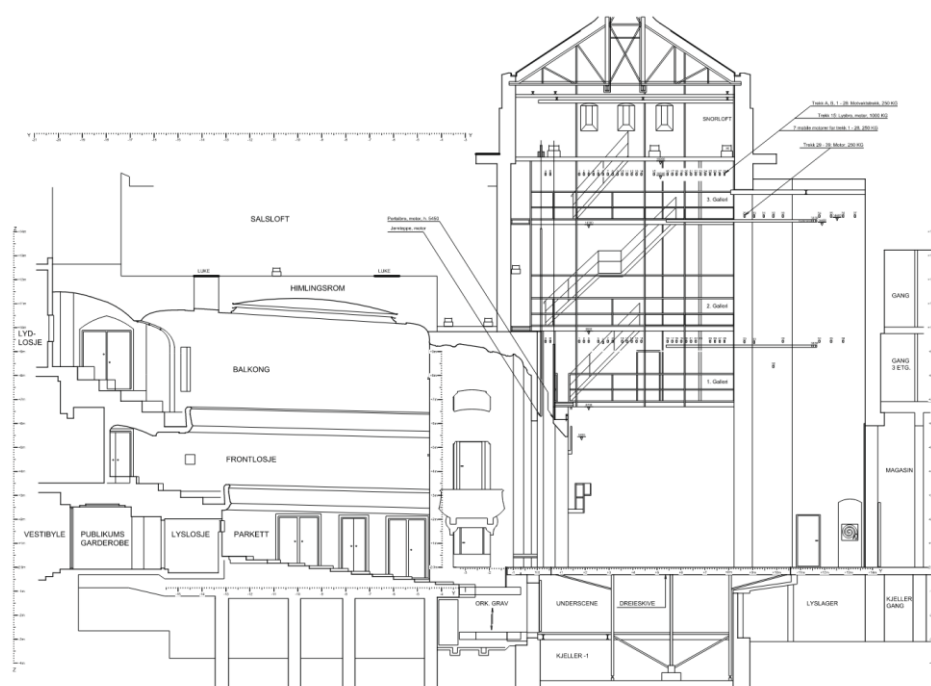
### 3 Eksisterende situasjon

Figur 4 og Figur 5 viser plan- og snittegninger av Store Scene. Salen er utformet som en klassisk teatersalong med mange publikumsseter på balkonger og losjer i tillegg til parkett med et fast amfi med relativt liten stigningsgrad.

Teknikerposisjoner er i separate losjer med lyslosje bakerst på parkett og lydlosje bakerst på øverste balkong. Scenehuset har en høyde på ca. 17 m til UK snorloft, og er også utstyrt med en dreiescene. Totalt volum for Store Scene inkludert scenehus er grovt estimert til 6000 m<sup>3</sup>.



Figur 4 Plantegning 1. etasje



Figur 5 Snitt, scene og sal

Målinger ble utført 14.06.2023 av Bård Støfringsdal og Erlend Bolstad. Scenen var da rigget til forestillingen Lazarus. Scenografien var relativt begrenset med et sentralt plassert rom som kunne roteres horisontalt (dreiescene) og vertikalt. Ut mot salen var det åpent inn mot rommet, og det var en bred trapp ned fra rommet mot scenegulvet. Det var ingen inndekning eller bakteppe, men det var montert et lerret av kryssfinerplater med konkav kurvatur bakerst på scenen. Totalt sett var det lite absorberende scenografiske elementer.



Figur 6 Foto av scenografi som var opprigget under målingene 14.06.2023.

Orkestergrav var nedsenket og rigget for band. Trommesett var plassert i et lukket bur på venstre side av graven, sett fra salen.

I tillegg ble det utført supplerende målinger 26.10.2023 av Erlend Bolstad. Orkestergrav var da hevet med ekstra stolrader og scenen hadde scenografien til forestillingen Jul i svingen, se Figur 7. Målingene ble utført i sal og på scene med jernteppet nede.



Figur 7 Foto av scenografi som var opprigget under målingene 26.10.2023.



## 4 Målemetode

Målingene ble utført med målesystemet IRIS. Kildesignalet er sinussveip og romresponsen blir målt med en Ambisonic mikrofon som kan retningsbestemme innkommende lyd.

Det ble målt med følgende kilder:

- > Omnidireksjonell høyttaler, 3 posisjoner på scenen.
- > Talkbox akustisk, 2 posisjoner på scenen
- > Talkbox forsterket, 2 posisjoner på scenen
- > PA full
- > PA høyre side sett fra salen

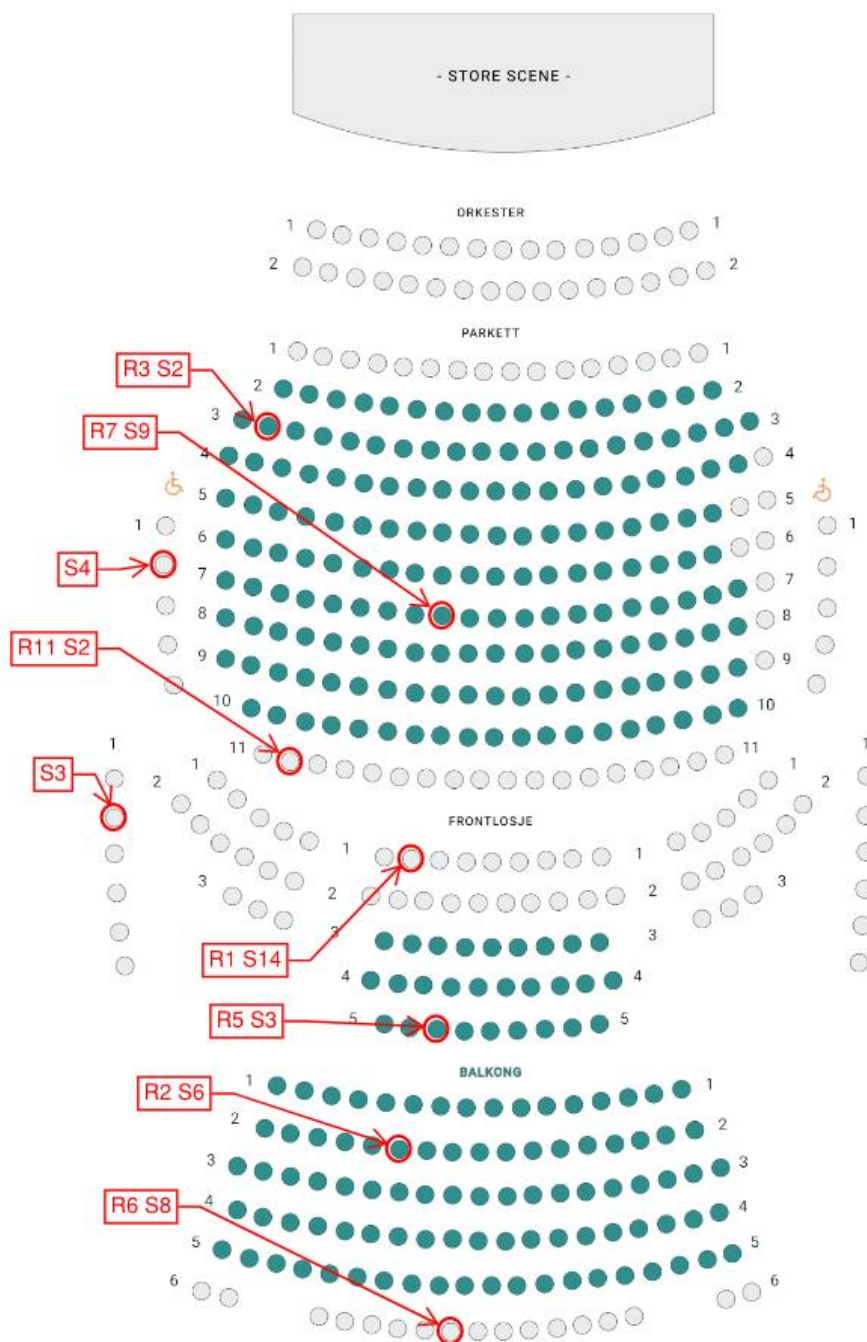
Talkbox er en høyttaler som simulerer frekvensrespons, nivå og direktivitet fra en talekilde. Forsterket talkbox innebærer at det var plassert en myggmikrofon på talkbox som forsterket signalet via PA-anlegget. Disse kildene ble brukt til måling av taletydelighet (STI). I situasjonen med forsterket tale ble det gitt et marginalt løft av lydnivå med fokus på å beholde naturlighet i talegjengivelsen, representativt for hvordan teaterets lydteknikere typisk setter lydmiksen når man ønsker en lett, tilnærmet umerkbar forsterkning av det som foregår på scenen.

Videre ble det brukt 9 forskjellige målepunkter på publikumsseter, samt noen tilleggspunkter i lydlosje og på scenen. Målepunktene i salen navngis som vist i Tabell 1. Figur 8 og Figur 9 viser posisjonene på henholdsvis salkart og foto.

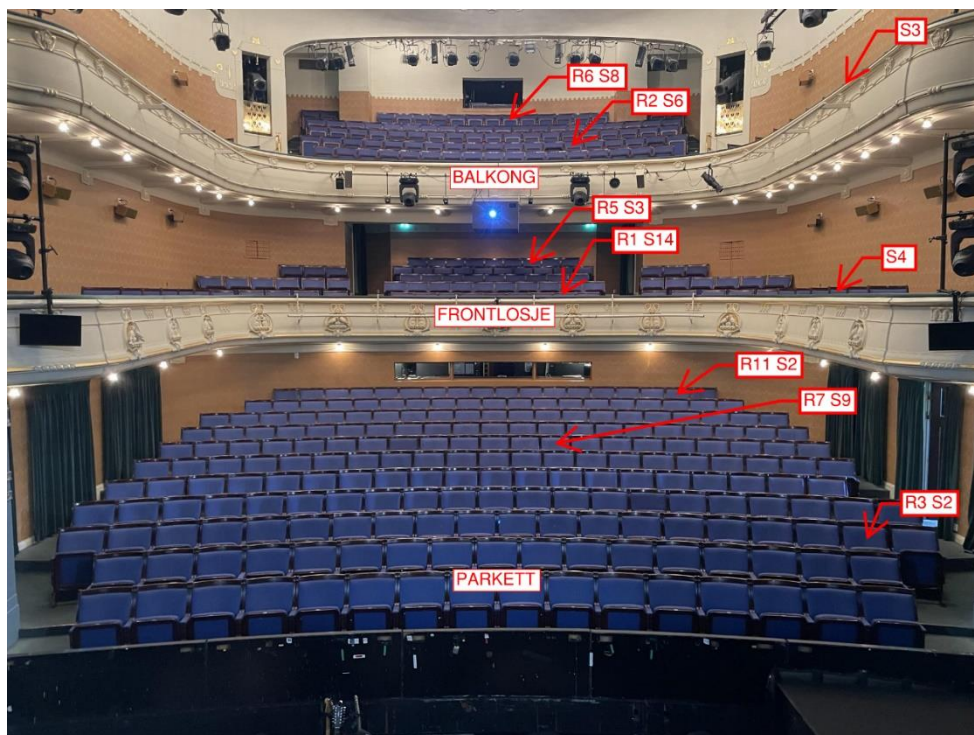
Tabell 1 Mottakerposisjoner for lydmåling

Navn	Plassering	Rad	Sete
R3 S2	Parkett	3	2
R7 S9	Parkett	7	9
R11 S2	Parkett	11	2
R1 S14	Frontlosje	1	14
R5 S3	Frontlosje	5	3
S4	Sidebalkong (frontl.)		4
R2 S6	Balkong	2	6
R6 S8	Balkong	6	8
S3	Sidebalkong (balkong)		3





Figur 8 Salkart som viser plassering av mottakerposisjoner



Figur 9 Foto av salongen som viser plassering av mottakerposisjoner

Videre vises det bilder av perspektivet mot scenen fra mottakerposisjonene i salen.



Figur 10 Parkett R3 S2





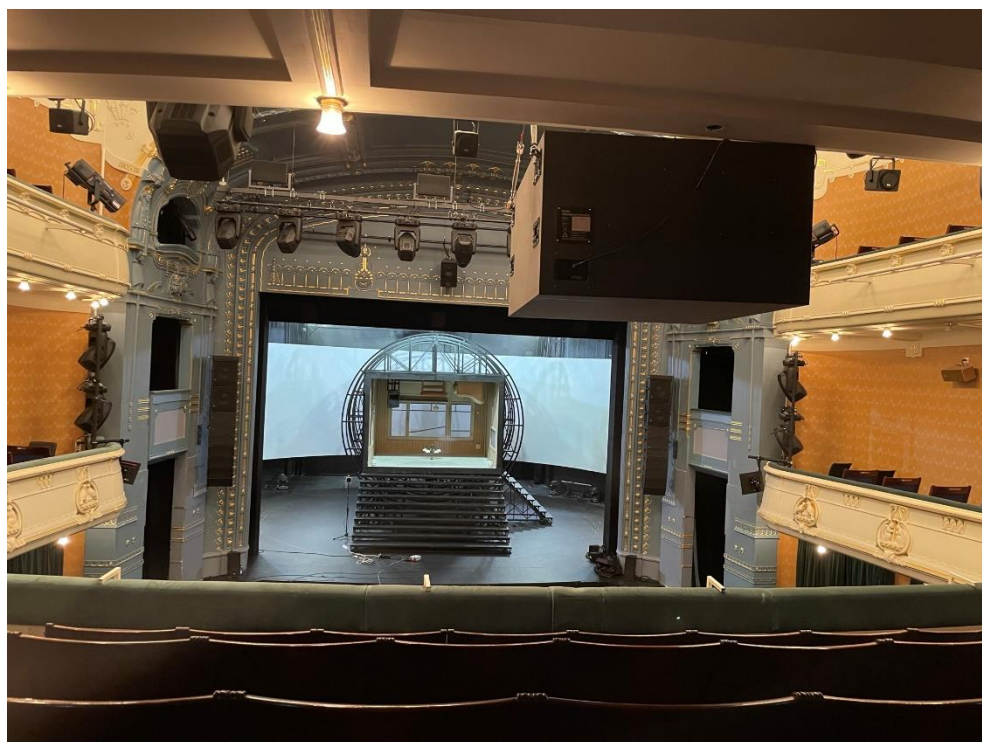
Figur 11 Parkett R7 S9



Figur 12 Parkett R11 S2



Figur 13 Frontlosje R1 S14

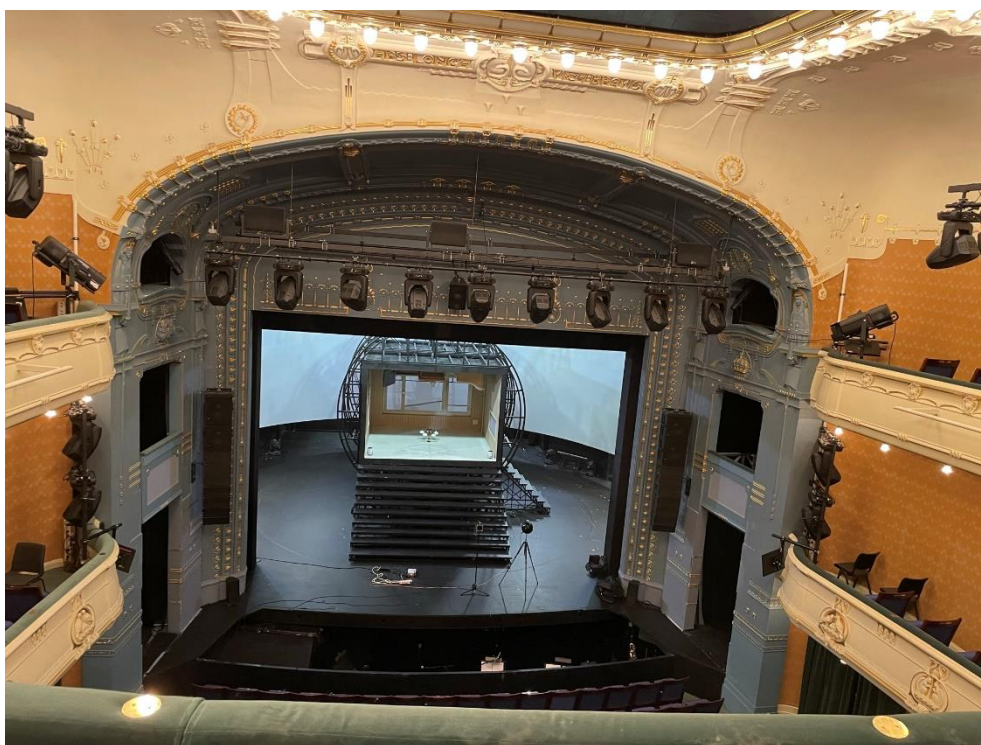


Figur 14 Frontlosje R5 S3



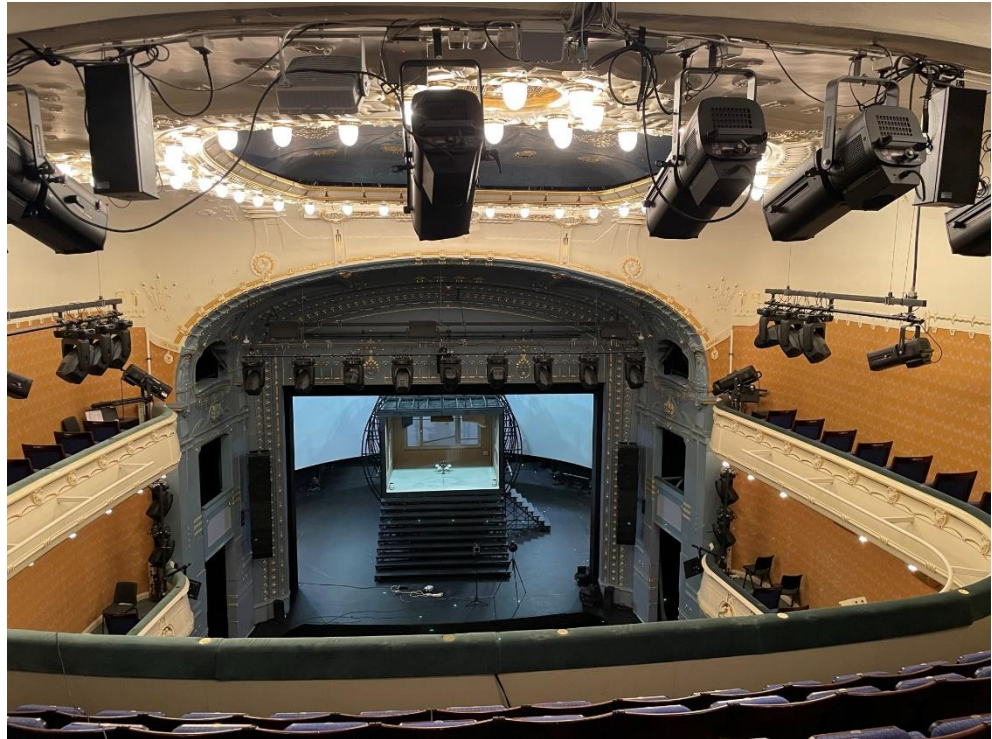


Figur 15 Sidebalkong frontlosje S4

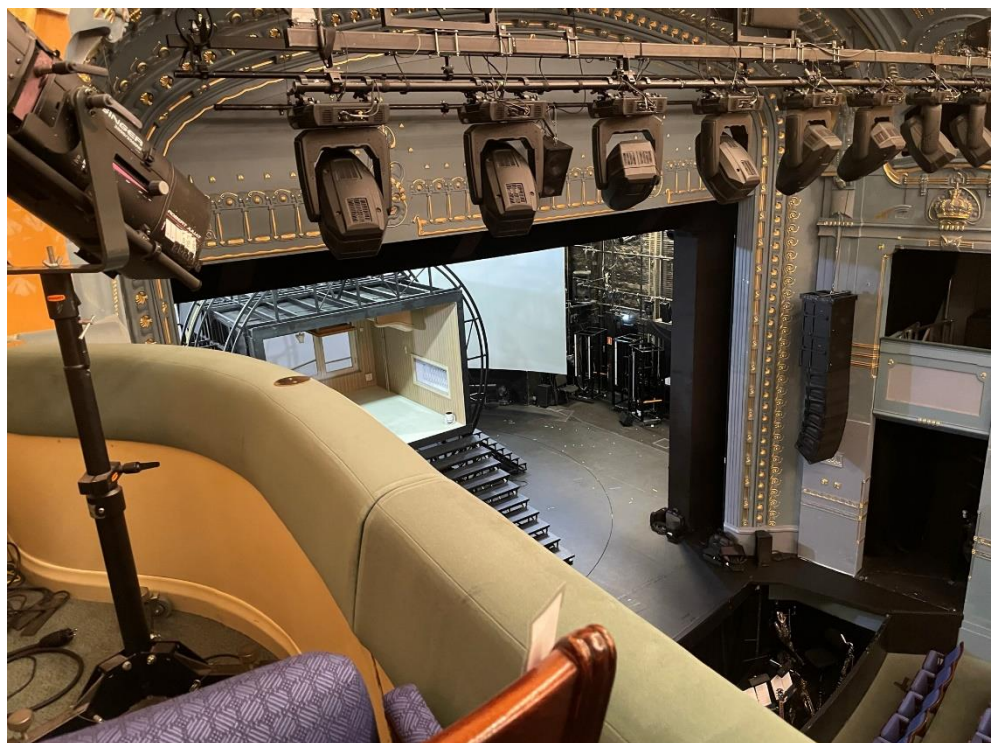


Figur 16 Balkong R2 S6





Figur 17      *Balkong R6 S8*



Figur 18      *Sidebalkong balkong S3*

## 5 Måleresultater

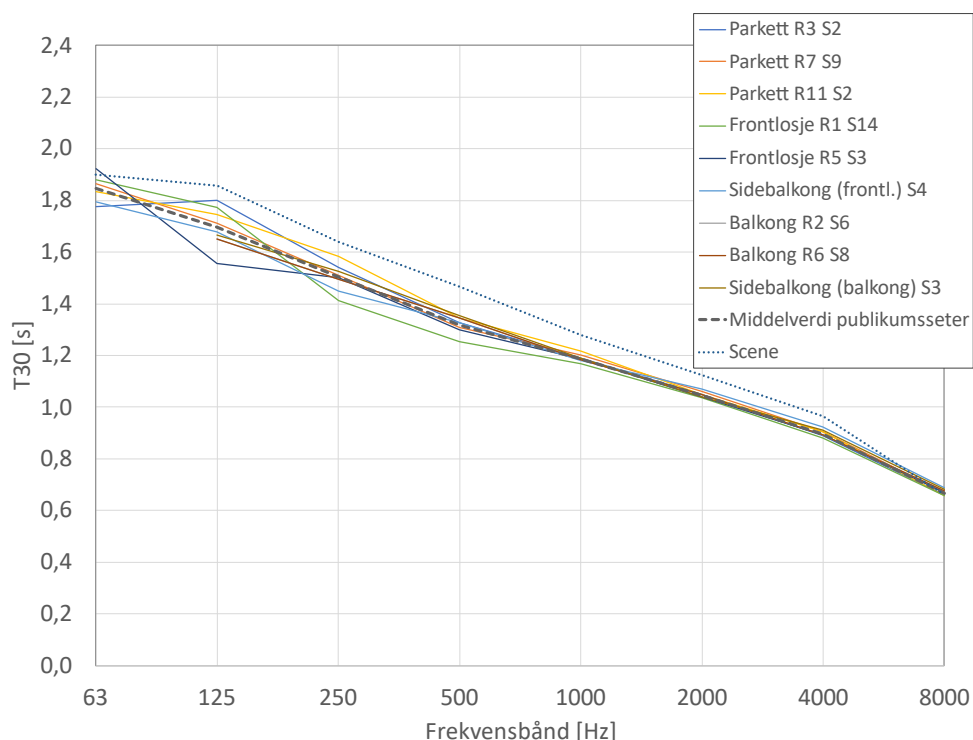
Etterklangstid er den klassiske og mest kjente måleparameteren innenfor romakustikk. I tillegg er det en rekke andre parametere som er interessante, og

som særlig er relevante i rom for formidling av tale og fremføring av musikk. Etterklangstid, taletydighet, klarhet og styrke vil presenteres i de påfølgende kapitlene.

## 5.1 Etterklangstid

Figur 19 viser etterklangstid ( $T_{30}$ ) i salen og på scenen, målt med kulehøytaler som kilde. Resultatet i midlere frekvenser er cirka 1,25 s, noe som er i overkant av anbefalingene for forsterket musikk i NS 8178. Et passende ambisjonsnivå ved Store scene er å redusere etterklangstiden i mellomtoneområdet til ca. 1,0 s, i samsvar med anbefalingene for forsterket musikk i NS 8178.

Måleresultatene er relativt jevne over plasseringene i salen, men på scenen er det tydelig lengre etterklangstid. Som omtalt i kapittel 3 var det lite inndekning og relativt reflekterende scenografi, noe som kan forklare noe av den lokale effekten med lengre etterklangstid. Det er likevel interessant at det tydelig er lengre etterklangstid også i bassområdet. Scenografi vil i mange tilfeller i liten grad påvirke etterklangstiden dette frekvensområdet. Resultatet kan tyde på at scenerommet i seg selv har for lite absorpsjon i bassfrekvensområdet, og at de lokale forholdene i scenevolumet blir såpass ulike fra salen at det påvirker den totale situasjonen negativt. Typisk vil også lite absorpsjon i sceneområdet gi sene refleksjoner til publikumsområdet, noe som påvirker bl.a. taletydighet negativt.

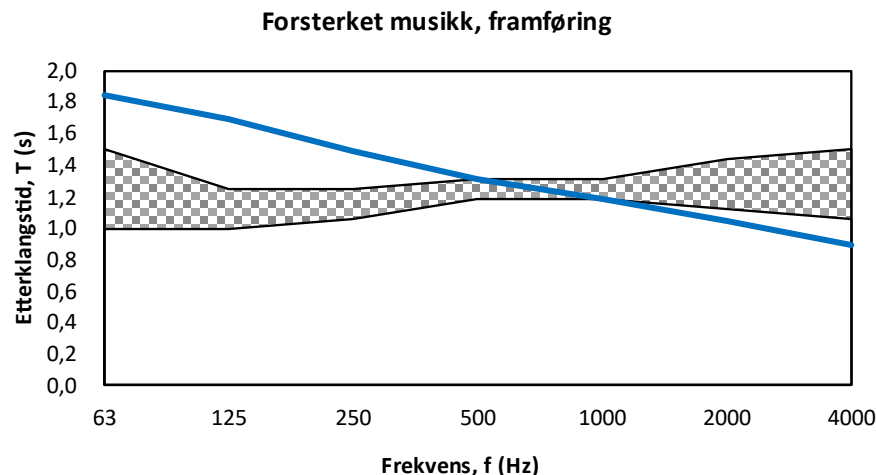


Figur 19 Etterklangstid ( $T_{30}$ ) i salen og på scenen, målt med kulehøytaler som kilde.

Generelt er etterklangstiden frekvensmessig ujevn. Etter anbefalte toleransegrenser i NS 8178 er det for lang etterklangstid i bassområdet og for kort etterklangstid fra 2000 Hz-oktavbåndet og oppover, relativt til

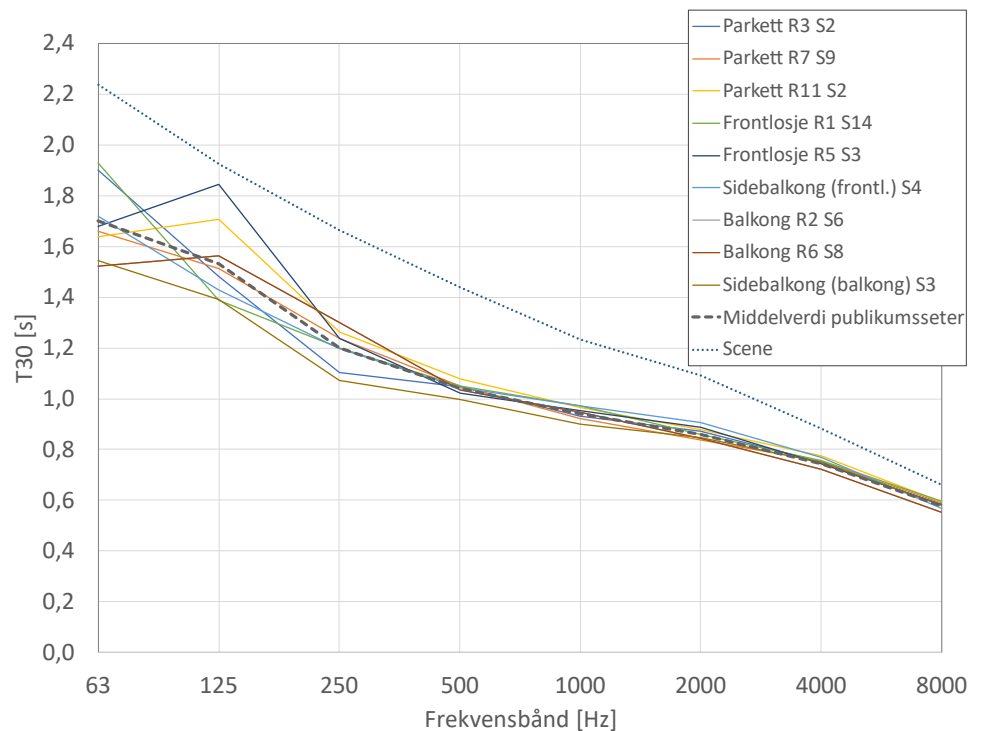


etterklangstiden i mellomtoneområdet (se Figur 20). Dette gir et nokså ubalansert lydbilde med mye energi i lave frekvenser og risiko for at romresponsen oppleves noe matt i diskanten.



*Figur 20* Blå kurve viser målt etterklangstid (middelverdi for publikumsseter). Skravert område er de frekvensmessige toleransegrensene for etterklangstid i konsertscener for forsterket musikk (NS 8178). Toleransegrensene er satt relativt til målt  $T_m$ , etterklangstiden ved oktavbåndene 500 og 1000 Hz.

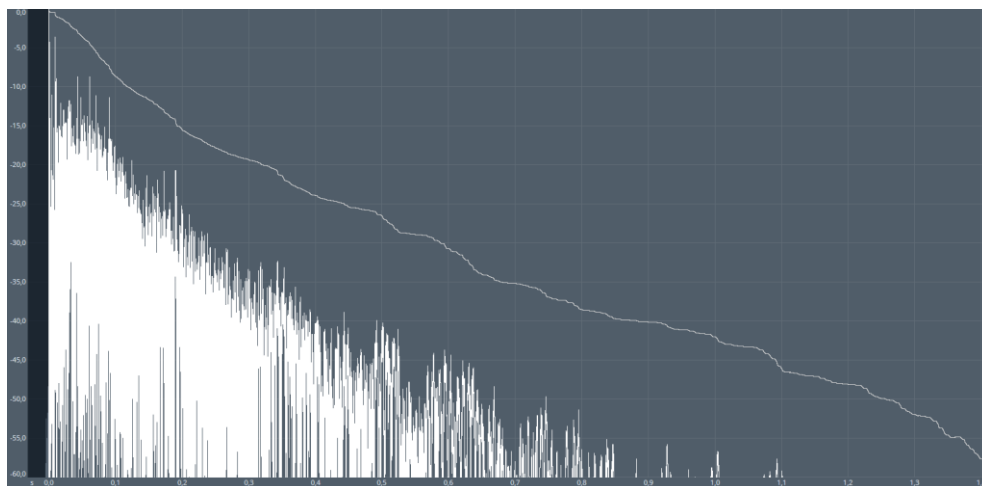
Figur 21 viser etterklangstid ( $T_{30}$ ) i salen og på scenen, målt med PA-anlegget som kilde. Her observeres større forskjeller mellom de ulike posisjonene i salen, særlig fra 500 Hz-oktavbåndet og nedover. I tillegg er resultatene tydelig kortere enn målingen med kulehøytaler som kilde. Jevnt over er etterklangstiden i mellomfrekvensene cirka 0,2 s kortere enn i målingen med kulehøytaler. Den kortere og mer ujevnt fordelte etterklangstiden kan forklares med at PA-anlegget er mer direktivt og i mindre grad eksiterer scenerommet enn kulehøytaleren. PA-anleggets konfigurasjon har imidlertid lavere direktivitet i bassområdet, noe som forklarer at etterklangstiden reduseres noe mindre i dette frekvensområdet. I tillegg vil direktiviteten også føre til at reflekterende og absorberende områder i salen eksiteres ulikt fra situasjonen med en rundstrålende kilde på scenen. Dette forklarer at det er mer ujevne resultater med hensyn på plassering i salen.



Figur 21 Etterklangstid ( $T_{30}$ ) i salen og på scenen, målt med PA-anlegg som kilde.

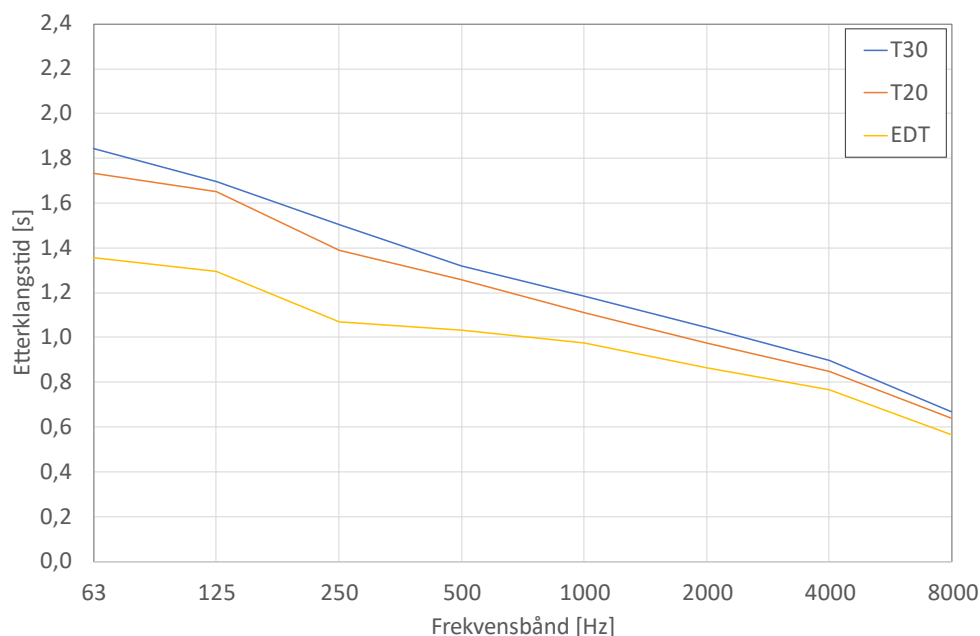
Den grunnleggende definisjonen på etterklangstid er tiden det tar fra et signal stoppes til lydnivået er redusert med 60 dB. Måleteknisk er det imidlertid utfordrende å måle så stor dynamikk, særlig i miljøer med mye bakgrunnsstøy.  $T_{30}$ , som så langt er vist i rapporten, tar utgangspunkt i de første 35 dB av reduksjonen, og benytter lineær kurvetilpasning for å estimere tiden for når 60 dB reduksjon inntreffer.  $T_{20}$  baserer seg på de første 25 dB av reduksjonen og  $EDT$  på de første 15 dB. Typisk vil  $EDT$  være mer beskrivende for hvordan klangen til pågående musikk/lyd oppleves, mens  $T_{20}/T_{30}$  er mer egnet til å beskrive den "halen" av lyd vi hører når en lydkilde stoppes.

Reduksjonen av lydnivå er ikke nødvendigvis lineær.  $T_{30}$  vil være best til å fange opp situasjoner der en har flere kurveforløp som påvirker etterklangstiden. Dette kan typisk skje i tilfeller der en har mye sen energi (sene refleksjoner) som gir en flatere eller mer ujevn kurve utover i forløpet sammenlignet med kurven til de tidligste refleksjonene. Figur 22 viser tydelig en typisk ujevn kurve for reduksjon av lydnivå, hentet fra måleposisjon rad 3, sete 2 på parkett. Som forventet er da etterklangstidene noe ulike. Her er  $T_{30_{mid}} = 1,01$  s,  $T_{20_{mid}} = 0,93$  s og  $EDT_{mid} = 0,84$  s.



Figur 22 Impulsrespons for måleposisjon Parkett R3 S2, målt med høyre PA-side som kilde.

Figur 23 viser  $T_{30}$ ,  $T_{20}$  og  $EDT$  som et gjennomsnitt over publikumssetene, målt med kulehøytaler som kilde. Her observeres det at  $T_{20}$  og  $T_{30}$  har en nokså jevn differanse over hele frekvensspekteret, mens  $EDT$  har større differanse for lavere frekvenser. Det er dermed tydelig at det er mye sen energi i salen, og særlig mye i bassområdet. Ettersom scenehuset består av tunge konstruksjoner er det rimelig å tolke at mye av årsaken til forskjellene i  $T_{30}$ ,  $T_{20}$  og  $EDT$  oppstår som følge av det udempede scenerommet.



Figur 23 Gjennomsnitt av  $T_{30}$ ,  $T_{20}$  og  $EDT$  i publikumsseater, målt med kulehøytaler som kilde.

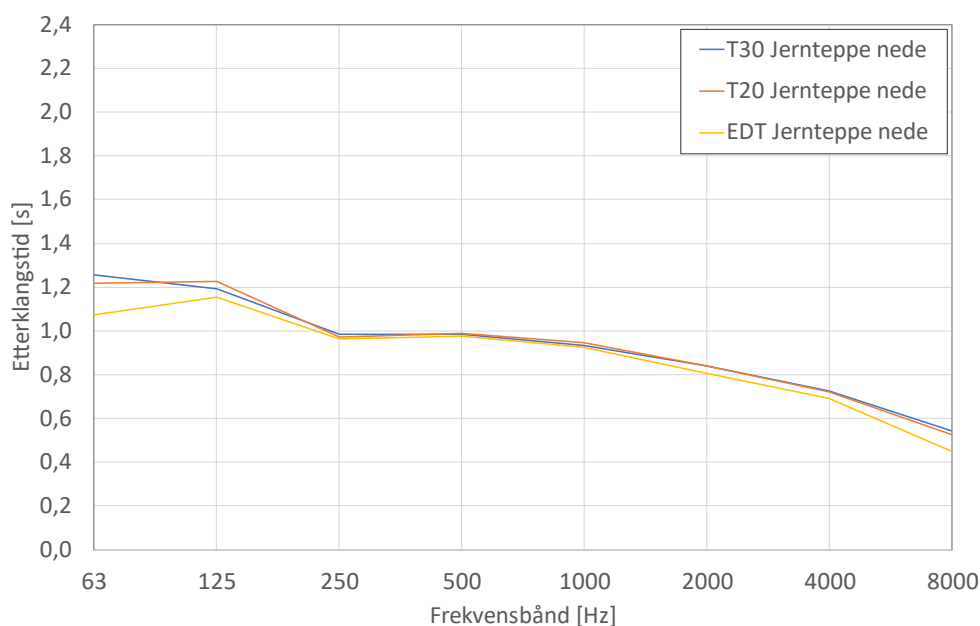
Dybden på scenerommet er ca. 13 m fra bakvegg til jernteppe. Ved lite bassabsorpsjon i scenografi, vil en lavfrekvent refleksjon fra en lydkilde ved jernteppe via bakvegg på scenen ankomme 70-80 ms etter direktelyden i fremre

del av scenen. 2. ordens refleksjoner enda senere. Typiske effekter av disse sene refleksjonene er at bassresponsen oppleves som upresis og romlete.

### 5.1.1 Målinger med jernteppet nede

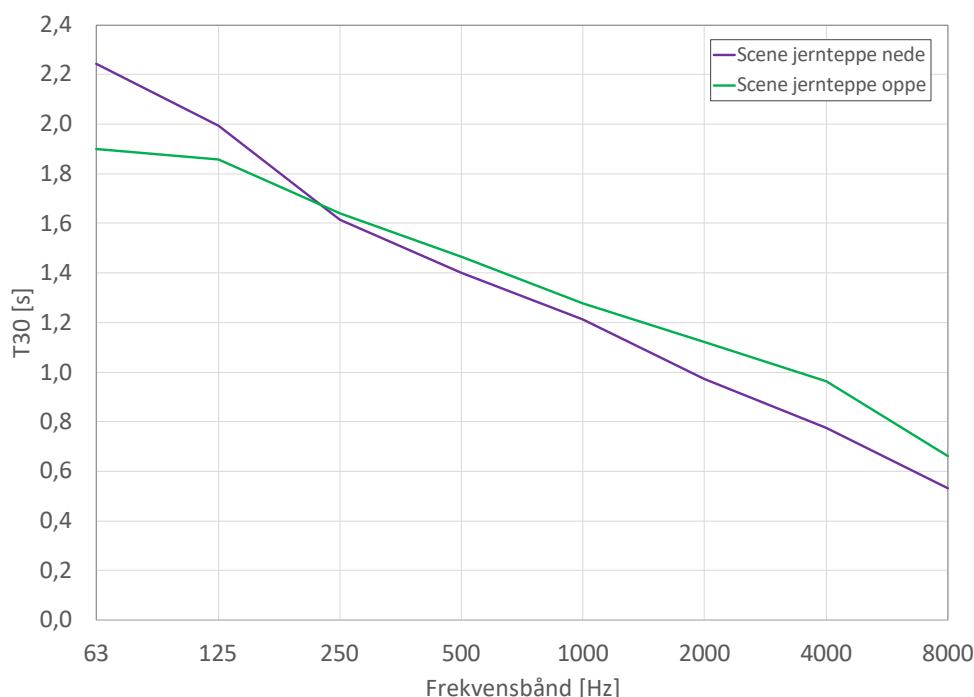
Det er også utført målinger av romakustikk i salen med jernteppet nede. Jernteppet er montert like bak prosenieåpningen, og skiller dermed hele scenehuset fra salen. Selv om jernteppet også introduserer nye romakustiske egenskaper, er det likevel et effektivt verktøy for å skille sals- og scenevolumet måleteknisk, og resultatet gjør det mulig å vurdere volumene hver for seg.

Figur 24 bekrefter vurderingene av scenehusets påvirkning på romakustikken. Ettersom kurvene for  $T30$ ,  $T20$  og  $EDT$  her ligger tettere, er det tydelig at mengden sen energi er redusert. Vi ser også at etterklangstiden generelt er kortere over hele spekteret, og den er også jevnere ettersom den reduseres mest for de laveste frekvensbåndene. Det er fortsatt kortere etterklangstid enn anbefalt fra 2000 Hz og oppover og ved 125 Hz-oktavgbåndet. For å optimalisere kurven er det nødvendig å tilpasse lydabsorpsjonen til stolene. Anbefalt målsetningsnivå for etterklangstid med jernteppet nede er cirka 0,9 s i mellomtoneområdet.



Figur 24 Gjennomsnitt av  $T30$ ,  $T20$  og  $EDT$  i publikumsseter, målt med kulehøytaler som kilde, og med jernteppet nede.

Det ble også målt etterklangstid i scenehuset med jernteppet nede. Figur 25 viser etterklangstiden både med jernteppet oppe og nede. Vi ser her at etterklangstiden i bassområdet ikke reduseres, men heller øker noe når jernteppet er nede. Merk at målingene er utført på ulike måledager med ulik scenografi, se forklaring kapittel 3.



Figur 25 *T30 i scenehuset med jernteppet oppe og nede, målt med kulehøytaler som kilde.*

## 5.2 Taletydelighet

Det er særlig to forhold som er viktige for å oppnå god taletydelighet. Det første er å sikre at lydnivået fra tale er tilstrekkelig høyere enn bakgrunnsstøynivået og det andre er at forholdet mellom nyttige tidlige refleksjoner og sene refleksjoner er tilstrekkelig høyt. Tidlige refleksjoner oppleves som en gunstig forsterkning av lydnivået, mens sene refleksjoner bidrar til å redusere tydeligheten i talen. I områder der lydnivået blir lavere, kan taletydeligheten forbedres ved å bruke høyttalere, men det er samtidig viktig å designe høyttalersystemet på en måte som ikke øker de sene refleksjonene relativt til de tidlige.

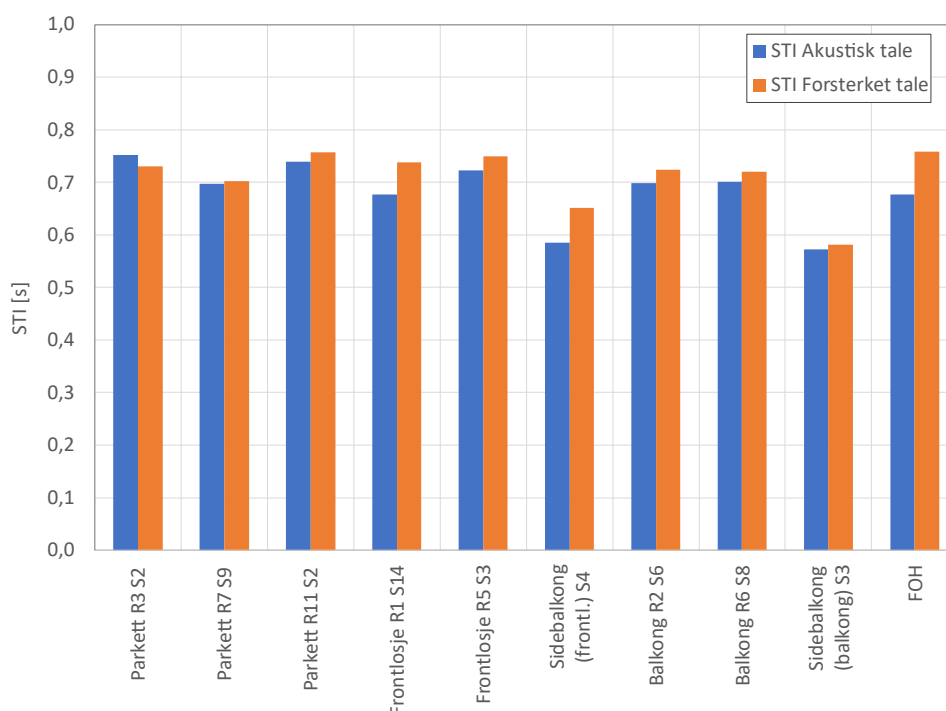
Speech transmission index (*STI*) er en parameter for vurdering av taletydelighet. *STI* er basert på et amplitudemodulert signal der graden av modulasjon representerer talesignalet. Jo mindre påvirket modulasjonen blir av rommet, desto bedre blir *STI*. *STI* varierer mellom 0 og 1 med følgende subjektive beskrivelse av nivåer.

Tabell 2 *STI, subjektiv beskrivelse av nivåer*

STI	Subjektiv taletydelighet
0-0,3	Ikke forståelig
0,3-0,45	Dårlig
0,45-0,6	Brukbar

STI	Subjektiv taletydelighet
0,6-0,75	God
0,75-1	Utmerket

*STI* kan utledes fra rommets impulsrespons. På Store scene ble Talkbox med sinussveip benyttet som kilde for måling av impulsrespons. Videre ble *STI* beregnet i måleprogrammet IRIS.



Figur 26 Målt *STI* med simulert akustisk og forsterket tale.

Figur 26 viser resultatene for målt *STI* i salen. Merk at disse verdiene angir *STI* uten effekten av bakgrunnsstøy, dvs. når bakgrunnsstøynivået er lavt nok til ikke å påvirke taleoppfattelsen negativt. I de fleste tilfeller, spesielt for akustisk tale, vil bakgrunnsstøynivået påvirke taleoppfattelsen, men målingene vist i Figur 14 viser hvor god taleoppfattelse det er mulig å oppnå dersom man får bakgrunnsstøynivået ned på et optimalt nivå, altså hvor godt salens naturlige akustikk understøtter taleformidling til de ulike posisjonene i salen.

Når det gjelder differansene mellom måling med akustisk og forsterket tale er det viktig å påpeke at hovedeffekten med forsterkning er økt signal-støyforhold. Ettersom målemetoden i liten grad hensyntar bakgrunnsstøynivået er det ikke å forvente at forsterkning gir signifikant bedre *STI* i resultatene som presenteres her. Det kan likevel gi utslag i situasjoner der direktelyden er svak og/eller der forholdet mellom tidlige og sene refleksjoner er relativt likt.

Med unntak av sidebalkonger er *STI* målt til "god" eller bedre for alle måleposisjonene, både for akustisk og forsterket tale. Når det gjelder

resultatene på sidebalkonger skyldes den reduserte taletydeligheten i stor grad at rekkverket på balkongen bryter siktlinjen mellom kilde- og mottagerposisjonen. Direktelyden blir da sterkt dempet, og det er refleksjoner som bidrar mest til det totale lydnivået. Figur 27 og Figur 28 viser bilder av situasjonen for sidebalkong på frontlosje og balkong. På bildene til venstre ser man tydelig at utsikten til venstre side av scenerommet blokkeres av rekkverket. For sidebalkong på frontlosje blir *STI* bedre med forsterket tale. Årsaken til forbedringen er at setet er innenfor dekningsområdet til hoved-PA. Hoved-PA består av 7 x Meyer Sound Mina per side (+ sub), og disse har 100° dekning horisontalt. På sidebalkong, balkong gir forsterket tale nesten ingen forbedring sammenlignet med akustisk tale. Setet ligger for høyt til å ha dekning fra hoved-PA, men er trolig ment å dekkes av høyttalere som er montert i lystrekket over orkestergrav. Her er det 3 stk. Meyer Sound UPA-2P som er montert. UPA-2P har 45° dekning horisontalt og vertikalt. Ettersom setet har relativt kort avstand til lystrekket er det sannsynlig at det ikke dekkes av høyttalersystemet, og måleresultatet underbygger denne hypotesen.



Figur 27 Sidebalkong, frontlosje sete 4



Figur 28 Sidebalkong, balkong sete 3

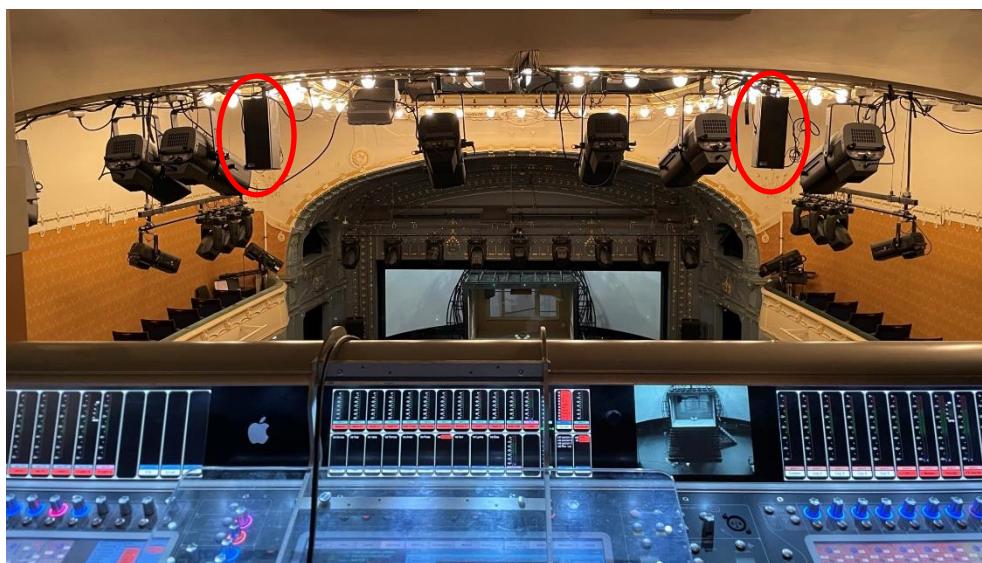
Videre observeres det at forsterket tale bidrar til lavere *STI* på parkett, rad 3. Årsaken er trolig at PA eksiterer mer av rommet og at dette bidrar til en større andel sene refleksjoner ved dette setet. I tillegg er denne posisjonen relativt nær kilden, en reflekterende vegg, frontfill og hoved-PA. Ved svært små tidsforskjeller mellom ankomende lyd kan det oppstå en ugunstig farging av lyden som kan bidra til redusert taletydelighet. Erfaringsmessig er det utfordrende å oppnå koherens mellom de dominerende lydkildene i slike posisjoner. Her er det viktig med et godt design av høyttalersystemet som både



begrenser eksitasjon som resulterer i sene refleksjoner og som begrenser ugunstige effekter av tidlig ankomende lyd (inntil 10-20 ms etter direktelyden).

På frontlosje og balkong gir forsterket tale større forbedring av *STI*, og noe bedre på de fremste radene enn de bakerste radene. Grunnen til større forbedring er bl.a. at direktelyden er svakere her sammenlignet med parkett, grunnet lengre avstand. Seter på bakerste rad får en sterk tidlig refleksjon fra bakvegg som bidrar med gunstig forsterking av tale. Dermed blir også den relative forbedringen med forsterket tale noe mindre enn for de fremste setene på frontlosje og balkong.

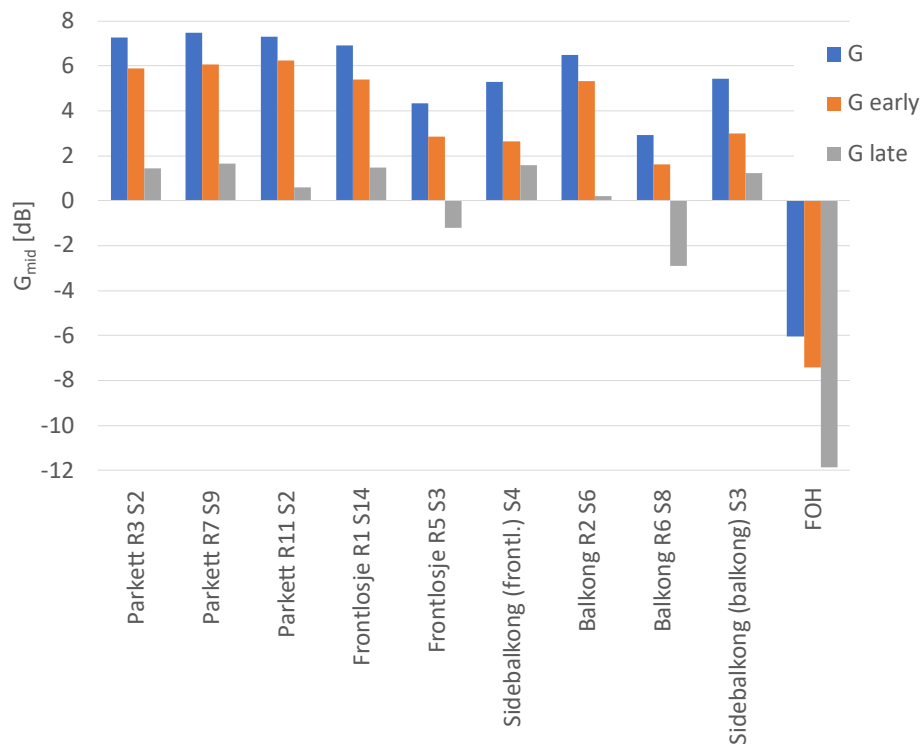
FOH har den største økningen i *STI* for forsterket tale sammenlignet med akustisk tale. Som vist i Figur 29 er det 2 stk Meyer Sound UPJunior, som ser ut til å dekke FOH-posisjon godt. Selv om mange seter i salen har gode resultater for *STI*, kan det være uheldig at FOH både gir større forbedring og det høyeste nivået av *STI* ved forsterket tale. I verste fall kan dette medføre at lydtekniker/-designer gjør valg i miksen som gir noe som oppleves som god forbedring i FOH-posisjon, men som ikke gir tilstrekkelig forbedring ved publikumssetene.



Figur 29 Bilde tatt fra FOH-posisjon. Høytalere markert med rødt.

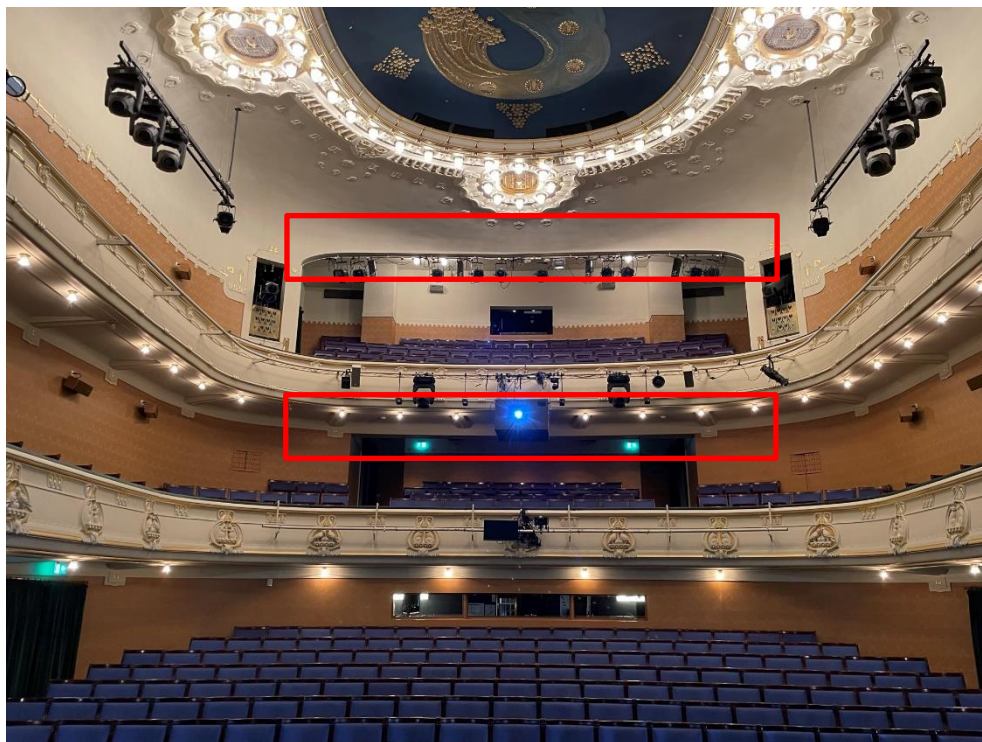
### 5.3 Styrke

I tillegg til *STI* er også styrke (*G*) relevant for den totale opplevelsen av tale tydelighet. *G* er definert som lydnivået i en posisjon relativt til lydnivået i 10 m avstand til samme lydkilde i fritt felt (ingen refleksjoner). Parameteren henger da sammen med opplevelsen av hvordan romforsterkningen påvirker lydnivået. Et sete med høy *STI* og lav *G* vil generelt oppleves som dårligere enn et sete med samme *STI* og høyere *G*. Videre kan *G* fordeles i to parametre som beskriver energien som ankommer før og etter 80 ms. Disse kalles *G early* og *G late*, og er generelt gode parametre for å vurdere forholdet mellom nyttige tidlige refleksjoner og sene refleksjoner. Som nevnt i kapittel 5.2 er førstnevnte gunstig og sistnevnte ugunstig mhp tale tydelighet. Figur 30 viser målt *G*, *G early* og *G late* for måleposisjonene i salen.



Figur 30 Målt G med kulehøytaler.

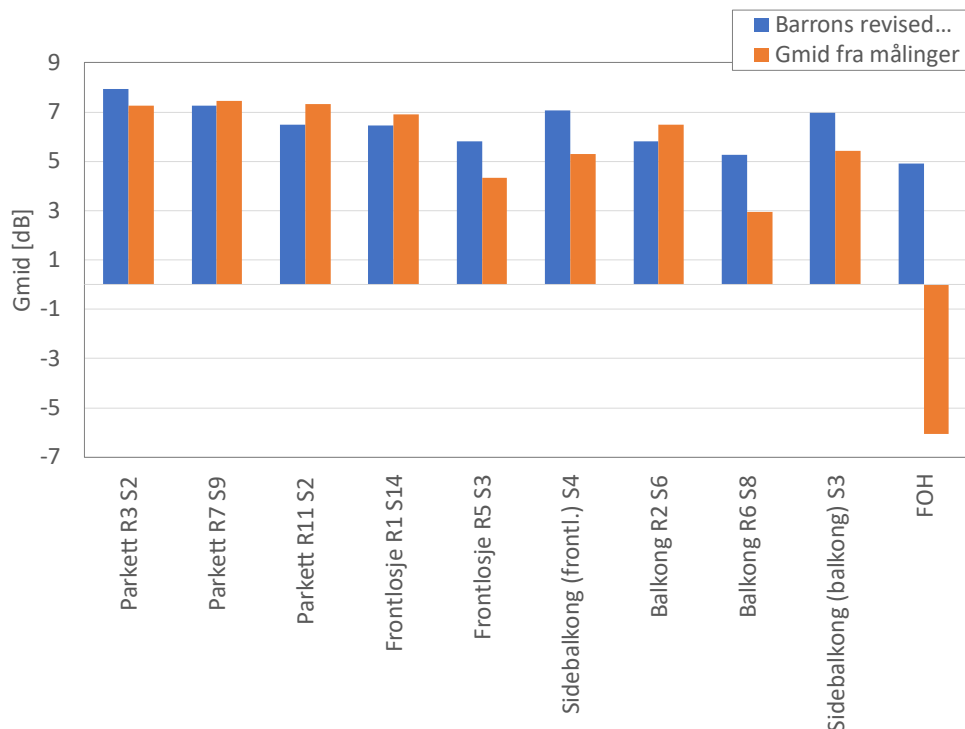
Mye av variasjonen i G henger her sammen med avstand til scene. I tillegg er det tydelig at setene bakerst på frontlosje og balkong har betydelig lavere G enn setene lenger fram. Hovedårsaken til dette er trolig at disse posisjonene i liten grad får støtte fra refleksjoner fra himling. I begge situasjoner er himling til dels avkoblet fra det øvrige salsvolumet med et skjørt i forkant mot salen, se Figur 31. Dette gir i noen grad en "titteskap"-effekt for de bakerste posisjonene. FOH har den samme effekten, men i mye større grad, som vist med negative verdier for  $G$ ,  $G_{early}$  og  $G_{late}$ .



Figur 31 Skjørt som delvis dekker bakerste del av himling.

Differansen mellom  $G_{early}$  og  $G_{late}$  er relativt stabil mellom posisjonene ( $\approx 4-6$  dB), men for setene på sidebalkonger er differansen noe mindre ( $\approx 1-2$  dB). I likhet med resultatene for  $STI$  kan også dette forklares med skyggeeffekten til rekkverket. Skyggen vil begrense innfallende lyd på nærmeste sidevegg, og da vil sene refleksjoner fra andre flater lengre unna bli noe mer dominerende.

Som nevnt vil  $G$  variere med avstand til scenen. Det kan være interessant å sammenligne målt  $G$  med teoretisk  $G$ , spesielt i tilfeller der man ønsker å identifisere seter/soner som påvirkes negativt av salens utforming. *Barron's revised theory* er en teoretisk modell for  $G$  i saler for musikk og teater. Diffusfeltteori forutsetter at direktelyd reduseres med avstand, men at det totale bidraget til lydnivå fra refleksjoner er konstant i hele salen. Barron's revised theory skiller seg fra dette ved å legge til grunn at også bidraget fra reflektert lyd reduseres med avstand. Basert på data fra andre saler er det mest relevant å vurdere målt  $G$  opp mot Barrons modell. Figur 32 viser en sammenligning av målt  $G$  og teoretisk  $G$ . Som i de tidligere vurderingene er det igjen seter bakerst på frontlosje og balkong, samt sidebalkonger som har de største avvikene. I dette tilfellet er det den teoretiske  $G$  som er langt høyere enn den målte  $G$ . Ettersom direktelyd kun er betinget av avstand, er det altså tydelig at dette er steder der langt mindre refleksjoner "når frem".

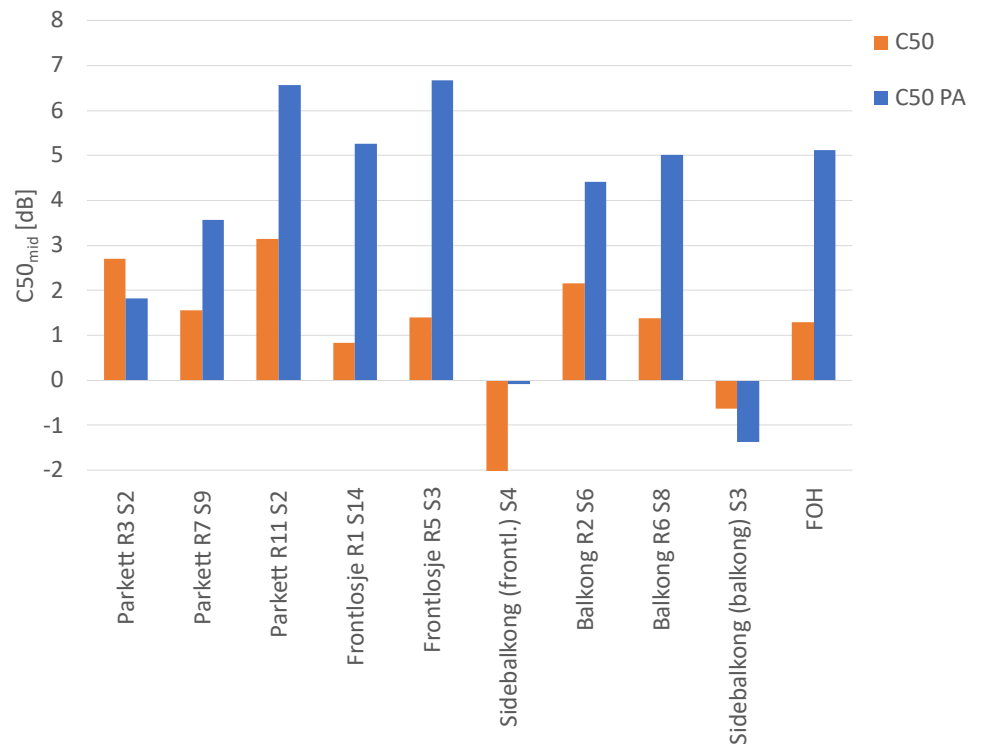


Figur 32 Målt G sammenlignet med teoretisk G (Barron's revised theory)

## 5.4 Klarhet

God klarhet forbindes typisk med detaljrik lyd med lite innslag av lyd som "smører" ut detaljer. Egenskapen kan tallfestes ved å vurdere forholdet mellom tidlig og sen energi. For tale tydelighet går det et skille ved 50 ms. Energi som ankommer før 50 ms etter direktelyden vil bidra til å forsterke direktelyden, og oppleves som en integrert del av direktelyden. For energi som ankommer senere enn 50 ms vil kunne oppleves som forstyrrende mhp på oppfattelse av detaljer. C50 sammenligner energi før og etter 50 ms. Jo høyere verdi, jo høyere er den opplevde klarheten. Figur 33 viser resultatene for C50 med kulehøytaler (akustisk) og PA-anlegget (forsterket) som lydkilde.

Resultatene for C50 med kulehøytaler viser tydelig hvilke seter i salen som har god dekning fra relativt nære reflekterende flater. For de tre posisjonene på parkett er det sete 9 på rad 7 som har lavest C50. Dette er et sete som ligger relativt nære midten av raden. Det er 4 rader igjen til bakvegg, og dermed har setet en viss avstand både til sidevegg og bakvegg, og får lavere C50 enn de andre setene som ligger nærmere sidevegg. Setet på rad 11 ligger også tett på bakvegg og har høyest C50 av de målte setene på parkett. Videre observeres det at setet fremst på balkong har høyere C50 enn setet fremst på frontlosje. Dette kan forklares med at setet på balkong ligger nærmere himlingen og får en sterk tidlig refleksjon derfra. Skyggeeffekten fra rekkverket på sidebalkong er synlig også her, og med negativ C50 er det mer sen energi enn tidlig energi for disse setene. Effekten av himlingen er også synlig her ved at setet på øverste sidebalkong har høyere C50 enn setet på sidebalkong, frontlosje.



Figur 33 Målt C50 med kulehøytaler og PA-anlegg som kilde.

Med PA som lydkilde ser vi en forbedring av C50 i alle seter med unntak av rad 3 på parkett og øverste sidebalkong. Fremst på parkett er det som nevnt i kapittel 5.2 trolig en økning i sene refleksjoner som følge av at PA eksiterer mer av rommet som er årsaken til reduksjonen. Dette gjelder også setet på øverste sidebalkong. Størst forbedring ser vi på frontlosje (4-5 dB), men det er også en betydelig økning av klarhet bakover på parkett og på balkong og nederste sidebalkong (2-3 dB).