

Lydfelt i smale bygater med trikketrafikk

En analyse av målinger og simuleringer av trikkestøy i Storgata i Oslo.

Oskar Sivertsen

Master i elektronikk

Innlevert: juli 2016

Hovedveileder: Peter Svensson, IET

Medveileder: Sigmund Olafsen, Brekke&Strand

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon

Oskar Andreas Sivertsen

Lydfelt i smale bygater med trikketrafikk

En analyse av målinger og simuleringer av trikkestøy i Storgata i Oslo.

Masteroppgave i akustikk

NTNU

Trondheim, juli 2016

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY, MATHEMATICS AND
ELECTRICAL ENGINEERING
NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Forord

Denne rapporten er skrevet som en del av masteroppgave ved NTNU Gløshaugen, ved institutt for Elektronikk og telekommunikasjon. Oppgaven er gitt av Brekke & Strand i samarbeid med NTNU, ved henholdsvis Sigmund Olafsen og Peter Svensson. Magne Skålevik vil være hovedkontakt når det gjelder bruk av Odeon.

Da jeg skulle velge masteroppgave, valgte jeg å ta kontakt med konsulentfirmaet Brekke & Strand, for å høre om de hadde et tema som kunne være aktuelt å jobbe med. Og da fikk jeg positivt svar. Brekke & Strand er et velrennomert firma som har drevet med akustikk i 25 år, og har kontorer i Oslo, Trondheim og Gøteborg. Firmaet har blant annet jobbet med Operaen i Oslo, og med Oslo sporveier i forbindelse med trikkestøy.

Jeg vil for det første takke Sigmund Olafsen, senior-rådgiver hos Brekke & Strand, for all hjelp som veileder og oppgavegiver på vegne av Brekke & Strand. I forbindelse med målinger var Sigmund med ut, da utstyrmengde og oppsett var ganske stort. Under måling var humøret alltid på topp, og det var lærerikt for meg å være ute å måle med landets kanskje mest engasjerte og erfarne trafikkstøy-måler! Sigmund var også svært flink til å motivere og å engasjere meg når jeg følte at jeg sto fast i oppgaven. Takk også for kommentarer til rapportens innhold.

Jeg fikk etterhvert tildelt plass ved Trondheimskontoret til Brekke & Strand. Dette var nødvendig da jeg i oppgaven var avhengig av en lisensbasert programvare som heter Odeon. På bakgrunn av min kontorplass vil jeg derfor takke Marianne Solberg, Thor Olav Myklebust, Magnus Andreas Johnsen og Kjell Nordmark for å ha holdt ut med meg i løpet av dette semesteret. I tillegg til å ha vært med på å motivere meg, har alle bidratt med ideer, tips og ikke minst godt humør. Jeg vil spesielt takke Marianne for lån av god faglitteratur.

Min veileder fra NTNU, Peter Svensson, skal ha en stor takk for all bidrag til matlab-kode og generell veiledning i forbindelse med hele oppgaven. Selve ideen bak koden og små deler av den, hadde jeg fra tidligere prosjekt, men utførelse og effektivisering av koden manglet. Dette bidro Peter i sterk grad til, og det gjorde det mye lettere for meg å jobbe videre med utviklingen av den. Jeg fikk flere gode tips til hva jeg burde fokusere på når det gjaldt figurer og lignende, og når jeg slet med koding fikk jeg alltid gode, detaljerte svar som satte meg på rett spor igjen. Teoretisk sett har Peter også vært en stor hjelp. Jeg vil også takke Peter for uvurderlig hjelp i forbindelse med rapportens struktur, fag og innhold mot slutten av arbeidet.

I forbindelse med bruk av Odeon ble det lagt ned en god del timer. Dette var for meg et helt ukjent program i starten av semesteret og det var mye å sette seg inn i. Både i forbindelse med idé, utførelse av oppgaven og i generell bruk av programmet fikk jeg mye hjelp fra Magne Skålevik. Jeg vil derfor takke han for at han tok seg tid til å hjelpe meg.

Takk også til:

- Helge Solum, Teknisk ansvarlig ved Sporveien Oslo, for god hjelp med informasjon om trikkene; både SL95 og SL79 og deres motorsystemer.
- Claus Lyng Christensen, MSc, Managing Director ODEON A/S for hjelp i Odeon og analyse av materialbruk ved høy absorpsjon.
- Kjell Hugo Sivertsen og Jørgen Frydenlund Holmefjord for konstruktive bidrag til rapportens språk.

Ellers vil jeg benytte sjansen til å takke familie og venner for tålmodighet og støtte under arbeidet med oppgaven.

Juli, 2016
Trondheim

Oskar Andreas Sivertsen

Sammendrag

Med økende folketall i storbyer øker også behovet for kollektivtilbud. I Oslo består store deler av kollektivtilbudet av trikk, og dette kan føre til støyproblemer i utsatte områder. Med dagens prediksjonsmetoder for trafikkstøy i smale gatekanaler, har man i hovedsak en god modell for å simulere trafikkstøy for mindre kjøretøy som f.eks bil. For større kjøretøy som trikker, gir ikke alltid metodene tilfredsstillende resultater. Når en trikk passerer gjennom en trang gatekanal med bygninger på begge sider vil det oppstå et komplisert lydfelt og trikken vil fungere både som kilde og som reflekterende fasade for lyd på begge sider av trikken.

Denne masteroppgaven presenterer analyse av måleresultater fra målinger av trafikkstøy gjennomført i Storgata i Oslo. Det er gjort målinger av både trikk og buss, men hovedfokus av analyse ligger på målinger av trikkstøy. En multikanalsenhet har gjort det mulig å ta mange målinger samtidig, for å kunne få et større overblikk over hvordan lydfeltet endrer seg i høyden ved fasaden. Ved å skrive en kode i Matlab har man fått til å automatisere analysen i stor grad. Ut i fra resultatene ser man på diverse antakelser som er gjort i forbindelse med støy i smale gatekanaler.

Etter analyse av måleresultater er det funnet at støykildene fra trikk har størst maksimumsnivå på grunn av rullestøy. Det er i frekvensområder rundt 63-125 Hz hvor rullestøyen er størst, og den avhenger av hastighet. Dersom man ser på gjennomsnittsverdier er rullestøyen fortsatt sterk, men motorstøy er også tydelig. Motorstøyen er definert ved ca 500-630 Hz. Ved 1250 og 2000 Hz er det for begge trikketyper tydelige topper, og disse er vurdert til å være støy fra bremsing.

Det man har sett er at det oppstår et lydfelt mellom trikk og fasade som begrenser avstandsdempingen. Slik kan man få høyere verdier enn forventet, og en antakelse om at man kan legge til et visst nivå på målinger i spesifikke områder er ikke ulogisk. Det er vanskelig å sette spesifikke tall på dette, men man ser effekten av det på grunnlag av forskjeller mellom inn- og ut-passeringer. For å kunne se nærmere på denne effekten bør det måles i flere områder hvor fasader er eneste variabel i oppsettet.

Ved å bruke et simuleringsverktøy som heter Odeon, har man sett på muligheten for å simulere situasjonen som oppstår i Storgata. Man har sett på bruk av forskjellige akustiske parametre samt kildebruk i Odeon. Det er blitt laget en modell hvor trikken representeres som en firkantet boks plassert på bakkenivå, med lydkilde definert som en linjekilde langs bakken på sidene av trikken. Ved å endre forskjellige akustiske egenskaper til materialer og flater i fasaden, har man klart å lage en modell som som gir simuleringsverdier som har tilnærmet lik oppførsel som for målte resultater.

Summary

With a continuously increasing population in large cities, the need for collective transport also increases. In Oslo, large parts of the collective traffic consist of trams. This can cause a lot of noise in certain areas of the urban environment. With current prediction methods for traffic noise in a narrow street canyon, you can get a decent model to simulate the noise for small vehicles like cars. But for trams, the methods do not yield as satisfactory results. When a tram drives through a street with houses on both sides it gives rise to a sound field that is very hard to describe in a satisfactory way. On the one hand, there is a noise field between the tram and one side of the road. On the other hand, the tram will also act as a noise barrier.

This master thesis presents an analyze of measurements from traffic noise performed in Storgata in Oslo. There has been performed measurements on both trams and buses, but the main focus in analyzes will be on tram noise. A multi channel unit has been used to measure at many different positions at once, to be able to get an overview of the sound field. By writing a code in Matlab, large amounts of measurement data has been analyzed automatically. From the results, different assumptions have been tested with regards to noise in narrow street canyons.

The analyze of the measurement results show that the noise sources from trams have their largest maximum levels due to rolling noise. In the frequency regions from 63 to 125 Hz there are large noise peaks that depend on the velocity of the tram. By looking at the average values, the noise from the engine is more steady. The engine noise is strongest at 500-630 Hz. At 1250 and 2000 Hz there are clear peaks for both kind of trams and these are most likely due to breaking noise.

Between the tram and the facade, a sound field that limits the geometrical damping arises. Due to this, one can get higher measured values than expected, and an assumption that a certain soundlevel has to be added for measurements in specific areas is not unreasonable. It is hard to define specific numbers, but the effect is seen by comparing differences between in- and out passings of the trams. To get more precise results, new measurements should be performed in areas where the only different aspect is with regards to facades.

By using a simulation tool called Odeon, the specific situation described in Storgata has been simulated. Simulations have been performed with different acoustical parameters aswell as source positions. The tram has been represented as a shoebox placed on ground level. The noise source is defined as a line source placed on the sides of the tram. By changing the acoustical parameters in the model, a simulation where the results are somewhat equal to measured results has been achieved.

Innholdsfortegnelse

	Side
1 Introduksjon	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Mål	1
1.3 Utførelse	2
1.4 Oversikt over oppgaven	2
2 Teori	5
2.1 Lydfart	5
2.2 Lydrefleksjon mot en fasade	6
2.2.1 Refleksjon	6
2.2.2 Diffraksjon	6
2.2.3 Absorpsjon	7
2.2.4 Spredning & Diffusjon	7
2.2.5 Kamfiltereffekt	8
2.3 Oktavbånd	9
2.3.1 Oktavbåndskonversjon	10
2.4 A-vektning	10
2.5 Målesikkerhet	11
2.5.1 Standardavvik	11
2.5.2 95 % konfidensintervall med bruk av Standard-error	12
3 Gjennomføring	13
3.1 Måleområde	13
3.1.1 Skissering	14
3.2 Måleoppsett	14
3.2.1 Sammenkobling	15
3.2.2 Måleoppsett 1, 10. februar 2016	16
3.2.3 Måleoppsett 2, 9. mars 2016	17
3.2.4 OROS	19
3.3 Måling	19
3.3.1 Trikketyper	20
3.3.2 Filsortering	21
3.4 Matlab	22
3.4.1 Filnavn	22
3.4.2 Tekstfilmatrise	22
3.4.3 Streng-posisjon	23
3.4.4 Matrise for startposisjon til måleverdier	24

3.4.5	Matrise for måleverdier	24
3.4.6	Diverse	26
3.4.7	Fullstendig analyse av måledokumenter	26
3.4.8	Matlab-kode for Odeonresultater	27
3.5	Simulering	28
3.5.1	Forenklinger gjort i modell og simulering	28
3.6	Modellering Sketchup	29
3.6.1	Odeon	30
3.6.2	Kildeverdier	31
3.6.3	Absorpsjon	31
4	Resultater og diskusjon	33
4.1	Måleoppsett 1	33
4.2	Måleoppsett 2	34
4.2.1	Konfidensintervall	35
4.2.2	Gjennomsnitt	36
4.3	Frekvensinnhold	37
4.3.1	Buss	37
4.3.2	SL79 inn	38
4.3.3	Rullestøy	40
4.3.4	SL79 ut	41
4.3.5	SL95	42
4.3.6	Retningsbaserte grafer	44
4.4	Gjennomsnittlig måleverdi for mikrofoner	45
4.4.1	Buss	45
4.4.2	SL95	46
4.4.3	SL79	49
4.5	Resultater basert på simulering med geometrisk akustikk	50
4.5.1	Overflatenes påvirkning av absorpsjon	51
4.5.2	Simuleringsverdier	54
4.5.3	Late rays	55
4.5.4	Høyere presisjon og nye verdier for materialer	58
4.6	Avsluttende resultat	61
4.6.1	Diskusjon	62
5	Konklusjon	65
5.1	Videre arbeid	66
5.1.1	Lydkilder på trikk	66
5.1.2	Detaljnivå	67
5.1.3	Måleområder for videre analyse	67
5.1.4	Matlabkode	67
	Bibliografi	69
	Vedlegg	
A	Matlabkode	71
A.1	Kalkuleringer	71
A.2	Grafisk utforming av resultater	75

B NVGATE	91
B.1 NVGATE Guide	91
C Datablad SL79 og SL95	99
D Målinger	101
E Skissering	103

1. Introduksjon

Dette kapittelet beskriver bakgrunnen til prosjektet, hva som skal gjøres og hvordan det ble gjort.

1.1 Motivasjon

Dagens prediksjonsmetoder for trafikkstøy i smale gatekanaler er i all hovedsak laget for små kjøretøy som f.eks en bil. Men for større kjøretøy, og da spesifikt trikker, har man enda ikke metoder som gir troverdige resultater[20]. Når en trikk passerer gjennom en trang gate med bygninger på begge sider, vil det oppstå et lydfelt som er mer komplisert enn med mindre støykilder som f.eks bil. Ved trikkepassering vil det oppstå et lydfelt mellom trikken og fasaden, og trikken vil fungere som både lydkilde og reflekterende fasade for lyd fra begge sider av trikken.

En slik situasjon, med trang bygate og trikketraffikk, finnes i Storgata i Oslo. Daglig passerer det på det meste omtrent 36 trikker per time. Dette er problematisk for beboere i området og for de som har kontorjobber i nærheten. Støyberegninger med tradisjonelle metoder og modeller har ikke alltid gitt tilfredsstillende resultater og det er vanskelig å definere en god nok modell for trikk[20]. Arbeidet i denne oppgaven vil være en del av et større prosjekt som omhandler kontroll og måling av støy fra skinne-gående trafikk.

Det er antatt at man kan legge til et visst nivå for målinger av lydfelt i gateområder[12]:

- 1: Med ingen bygninger på sidene av gaten legger man til 0 dB.
- 2: Dersom man har bygning ved samme side som mikrofon: +3 dB
- 3: Bygninger på begge sider av gaten: +6 dB

Dette gjelder dersom man måler en viss avstand fra fasade. Det er en forenklet fremstilling, og målinger i dette prosjektet vil se på disse antakelsene. En trikk som passerer i en trang gate vil danne en situasjon som beskrevet i punkt 3 ovenfor.

1.2 Mål

Målet i denne oppgaven blir å se på lydfeltet i gaten og å foreslå målemetoder og beregninger for å kunne beskrive lydfeltet i slike situasjoner. Gatekanalen kan ses på som et rom med gulv og vegger, hvor himmelen er taket.

Det er i hovedsak trikk det skal måles på, men for å kunne se på forskjeller, vil det også tas målinger av buss. Hvilke kilder på trikk er det som påvirker det resulterende lydfeltet?

Det skal også ses på muligheten for å kunne simulere situasjonen beskrevet ovenfor. Målet med simuleringen er å se om det går an å oppnå de samme resultater som man får for målingene, og hva man må gjøre for å oppnå best resultat.

1.3 Utførelse

For målinger skal det brukes en multikanalsenhet med mulighet for 16 simultane målinger i forskjellige kanaler. I hver av kanalene kan man koble til mikrofoner eller andre enheter til bruk. Slik vil man få mulighet til å ta en stor mengde målinger i forskjellige posisjoner for å se hvordan lydfeltet oppfører seg.

Ved å måle både gjennomsnittlig lydtrykksnivå og maksimumsverdier ved forskjellige høyder mellom fasaden og trikken, skal det være mulig å danne seg et bilde av hvordan lydfeltet ser ut og hvordan trikken som både kilde og fasade påvirker dette.

Gateområdet skal modelleres slik at man kan importere denne modellen inn til et annet program som heter Odeon. Odeon er et program for analyse av romakustikk, og programmet bruker modeller og beregningsmetoder fra geometrisk akustikk. I programmet tar man inn modeller av rom og kan simulere lydkilder, mikrofoner og egenskapene til alle flatene i rommet. Med modellen skal man prøve å gjenskape måleresultater i simuleringer.

1.4 Oversikt over oppgaven

Hele denne oppgaven er delt opp i 5 hovedkapittel, hvorav introduksjonen er en av disse. Hvert av kapitlene beskriver egne ledd i målet om at leseren skal få en full forståelse for hele prosjektet.

I kapittel 2 er det definert litt bakgrunnsteori som vil være nødvendig for å forstå uttrykk som brukes, samt å forstå refleksjoner som blir gjort i forbindelse med resultater. Noe av teorien kan kreve visse forhåndskunnskaper, men generelt vil man kunne klare å forstå de viktigste prinsippene uten dette.

Kapittel 3 er skrevet for å forklare hvordan prosjektet har blitt gjennomført. Fra valg av måleområde til oppsett av utstyr og bruk av dette. I kapittelet er det også beskrevet hvordan analysen av resultater blir gjennomført, både ved hjelp av koding og i forbindelse med simuleringer gjort i Odeon.

Det største kapittelet, kapittel 4, består av resultater fra både målinger og simuleringer. Her presenteres i all hovedsak grafer og tabeller hvor det sammenlignes forskjellige kjøretøy og deres retninger i gaten. Feilkilder og analyse av de forskjellige kildene som oppstår i gaten vil bli beskrevet. I forbindelse med simuleringer i Odeon vil det bli gjort flere vurderinger av hvilke innstillinger i simuleringen som vil gi best resultat.

I siste kapittel får man konklusjonen. Kapittel 5 beskriver hva man har oppnådd i løpet av oppgaven, og det defineres hva som burde gjøres videre for å få enda bedre viten om problemstillingene som er framvist i løpet av rapporten.

Vedlegg inneholder kodingen som er brukt i analyse av resultater, samt informasjon om bruk av dataverktøy og diverse figurer.

2. Teori

I dette kapitlet vil bakgrunnsteori brukt i prosjektet bli forklart. Dette innebærer akustiske fenomen, statistikk og sannsynlighet, og generelle formler. Det er forventet en viss forkunnskap for å kunne forstå hele rapporten, men dette kapitlet legger til rette for at leseren skal få en bedre forståelse for hva som er diskutert og forklart.

2.1 Lydfart

Lydfart(c) er i [1] definert ved:

$$c^2 = \Gamma \frac{P_0}{\rho_0} \quad (2.1)$$

Hvor man ser på bølger som propagerer gjennom en perfekt gass.

Under adiabatisk forhold, $\Gamma = 1.4$ som er normalt for luft, vil hastigheten være 18 % raskere enn under isoterme forhold, når $\Gamma = 1$.

$P_0 = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, er det statiske lufttrykket ved havnivå.

$\rho_0 = 1.293 \text{ kg/m}^3$, er tettheten til luft.

Disse verdiene er hentet fra tabell i [2]. Ved å bruke disse verdiene finner man c_0 , lydfarten ved 0° C , $c_0 = 331.5 \text{ m/s}$.

Forholdet $\frac{P_0}{\rho_0}$ er tilnærmet konstant for trykkendring, slik at lydfarten kun er avhengig av temperaturen T [$^\circ\text{C}$].

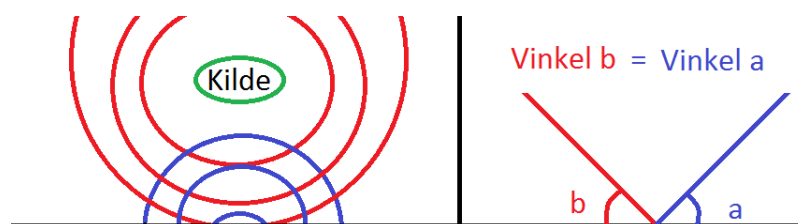
Når man har c_0 kan denne benyttes for å finne lydfart(c) for endring i temperatur T , ved formel 2.2[1]:

$$c = c_0 \cdot \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad (2.2)$$

2.2 Lydrefleksjon mot en fasade

2.2.1 Refleksjon

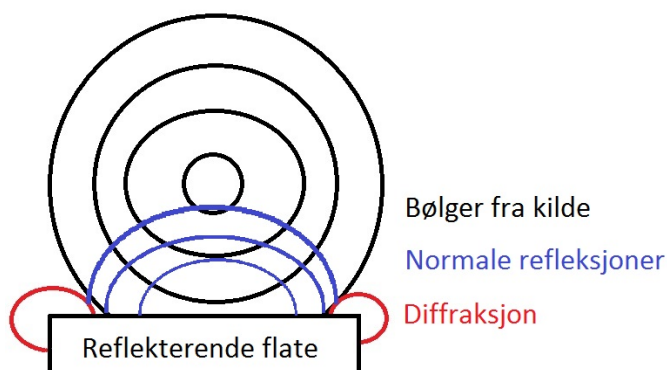
Lydbølger beveger seg utover i alle retninger, sfærisk, fra en lydkilde. Når bølgene treffer en fasade, et objekt eller noe annet vil bølgen endre retning avhengig av inngangsvinkelen og da bli *reflektert*. Dette er vist i figur 2.1. I rødt har man lydbølgene fra en kilde, og blått representerer reflekterte bølger. Utgangsvinkelen(a) til en refleksjon vil være lik inngangsvinkelen(b) til bølgen fra kilden.



Figur 2.1: Refleksjon

2.2.2 Diffraksjon

Diffraksjon er det fenomenet som oppstår når lydbølger, eller bølger generelt, treffer en flate, kant eller et objekt. Disse kantene/flatene deformerer bølgens form og man fjerner noe av den innkommende bølgen. Det er interferens mellom bølger som skaper diffraksjon og en ny bølge med ny retning. I figur 2.2 ses en omnidireksjonell kilde plassert foran en flate. Bølgene som treffer flaten reflekteres normalt, men ved kantene på veggen ses røde refleksjoner. Disse er oppstått på grunn av diffraksjon[11]. Bølgene brer seg rundt hjørnet.



Figur 2.2: Diffraksjon

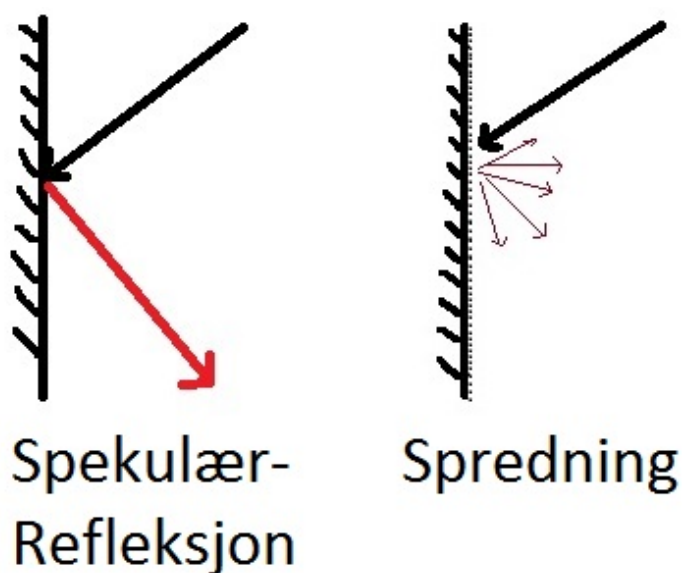
2.2.3 Absorpsjon

Lydabsorpsjon er en egenskap som materialer, strukturer og objekter har, hvor lyd blir gjort om til varme eller annen energi. Dette foregår enten ved propagering gjennom et medium eller demping ved direkte treff.

Absorpsjonskoeffisienten(α) er det forholdet som beskriver hvor stor del av lyden som blir absorbert av et material. Denne representeres i form av et tall mellom 0-100 %. Et material med høy absorpsjon vil ikke reflektere like mye lyd som et material med lav absorpsjon. Dette er fordi lyden absorberes i materialet[7][8].

2.2.4 Spredning & Diffusjon

I figur 2.3 ser man to typer refleksjon. Refleksjonen til venstre viser en typisk *spekulær* refleksjon, hvor all energi reflekteres i samme utgangsvinkel som inngangsvinkelen. Dette er typisk for perfekte flate og glatte vegger.

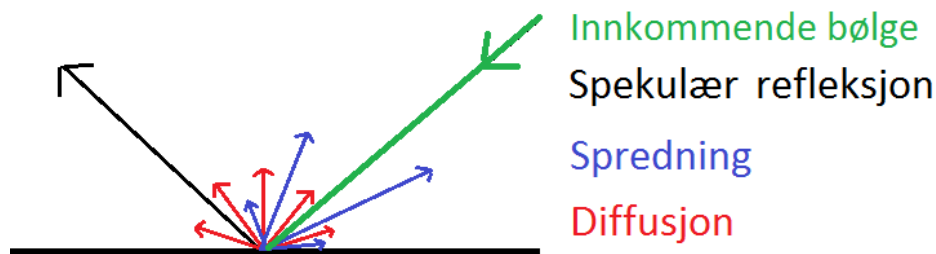


Figur 2.3: Spredning

I refleksjonen til høyre ser man på flaten at det er en viss grad av ujevnheter. Ved hver ujevnheter oppstår det diffraksjon som endrer bølgens retning, man får da spredning. Spredning defineres som refleksjon av lyd i andre retninger enn den spekulære refleksjonen[4][5]. Denne typen refleksjon kan også kalles diffus spredning.

I figur 2.4 er spekulær refleksjon, spredning og diffusjon presentert. Grønn pil viser innkommende bølge. Spekulær refleksjon er vist i svart, med piler for retning fra fasaden. Blå refleksjon viser god spredning(refleksjonen er ikke totalt spekulær), mens rød kurve viser meget uniform spredning, altså god diffusjon[25][17].

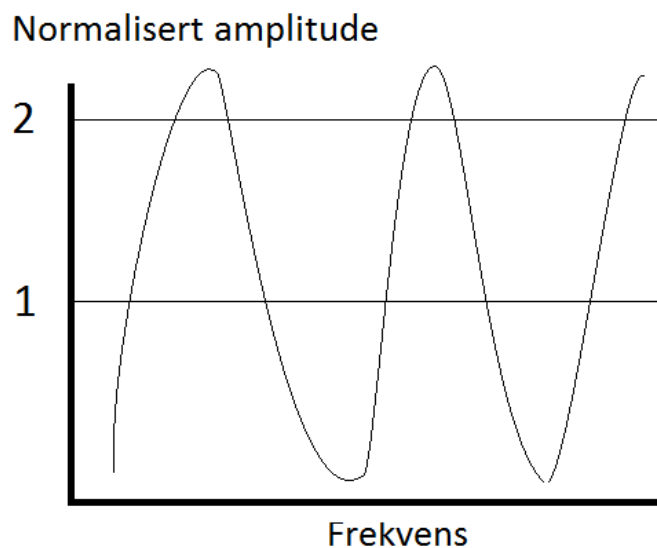
Diffusjon representerer en spredning hvor lyden ikke blir "farget". Dårlig diffusjon vil enten føre til direktiv spredning, eller at visse frekvenser er bedre representert i refleksjonene. God spredning betyr ikke alltid god diffusjon.



Figur 2.4: Refleksjon, spredning og diffusjon

2.2.5 Kamfiltereffekt

Kamfiltereffekt er en effekt som kan oppstå ved refleksjoner. Man kan se for seg en kilde som er plassert en viss avstand fra en fasade. Kilden sender ut lydbølger mot fasaden og ved at innkommende bølger treffer refleksjonene fra fasaden med forskjellige faser, kan frekvensområder forsterkes eller dempes avhengig av bølgelengdene. Det er en kombinasjon av konstruktiv og destruktiv interferens som påvirker spekteret[9]. Ved visse frekvenser vil innkommende bølge ha samme fase som en reflektert bølge, og man får da forsterkede nivåer ved denne frekvensen. Ved frekvenser hvor de to bølgene har motsatt fase, vil man få en kraftig demping.



Figur 2.5: Figur reproduisert fra resultater i [10] som viser kamfiltereffekten

Navnet kamfilter kommer av at man får en respons som kan ligne på en kam, som man ser i figur 2.5. Dette er en forenklet figur basert på verdier tatt fra diffraksjonsmodellering på refleksjon fra ei sirkulær plate[10] med radius 1 m. Grafen viser normalisert amplitude ved mottaker, gitt i forhold til kilde. Både kilde og mottaker står i senter-aksen til platen, 3 m unna.

Som figuren viser er det mulig å få verdier over 2, altså sterkere enn hva en spekulær refleksjon kombinert med direkte puls målt ved flaten vil gi. Ved målinger med kun normal refleksjon og direkte lyd, vil man ikke få nivåer over to ganger forsterkning. Det kan oppnås dersom man har diffraksjonseffekter på flaten det måles ved, som da vil legges til det normale signalet og refleksjonen.

2.3 Oktavbånd

Oktavbånd er en oppdeling av frekvensbåndet hvor frekvensen økes per oktav. Et oktavbånd er et snitt av energi over et visst frekvensområde, samlet til en senterfrekvens. I tabell 2.1 ser man 1/1 oktavbånd og 1/3 oktavbånd med både senter- og grensefrekvenser. Man ser fra tabellen at 1/3 oktavbånd har tre ganger så mange forskjellige bånd, og vil derfor være mer nøyaktig dersom man skal se på frekvensavhengige forskjeller ved en måling.

1/1 - oktavbånd			1/3 oktavbånd		
Nedre[Hz]	Senter(f) [Hz]	Øvre [Hz]	Nedre [Hz]	Senter(f) [Hz]	Øvre [Hz]
11	16	22	14.1	16	17.8
22	31.5	44	17.8	20	22.4
44	63	88	22.4	25	28.2
88	125	177	28.2	31.5	35.5
...
11360	16000	22720	14130	16000	17780

Tabell 2.1: Oktavbåndsverdier

Grensene for 1/1 oktavbånd er gitt ved:

$$F_{\text{Øvre}} = F_{\text{Senter}} \cdot 2^{1/2} \quad (2.3)$$

$$F_{\text{Nedre}} = \frac{F_{\text{Senter}}}{2^{1/2}} \quad (2.4)$$

Grense for 1/3 oktavbånd er gitt ved:

$$F_{\text{Øvre}} = F_{\text{Senter}} \cdot 2^{1/6} \quad (2.5)$$

$$F_{\text{Nedre}} = \frac{F_{\text{Senter}}}{2^{1/6}} \quad (2.6)$$

2.3.1 Oktavbåndskonversjon

For å konvertere målte lydtrykksnivåer fra $\frac{1}{3}$ -oktavnåbånd til $\frac{1}{1}$ -oktavnåbånd gjennomføres beregning ved å kombinere forskjellige verdier i et $\frac{1}{3}$ -oktavnåbånd rundt en senterfrekvens til en $\frac{1}{1}$ -oktavnåbåndsverdi[34].

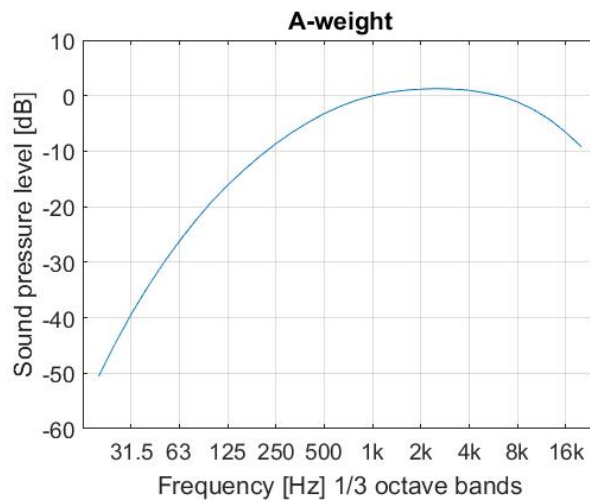
For eksempel: $X_1(31.5\text{Hz})$ får man ved at $Y_1(25\text{Hz})$, $Y_2(31.5\text{Hz})$ og $Y_3(40\text{Hz})$ kombineres, hvor Y_2 er $\frac{1}{3}$ -oktavnåbåndsverdi tilsvarende $\frac{1}{1}$ -oktavnåbåndsverdi ved X_1 .

$$X_1 = 10 \cdot \log_{10}(10^{Y_1/10} + 10^{Y_2/10} + 10^{Y_3/10}) \quad (2.7)$$

2.4 A-vekting

Frekvens-vekting endrer frekvensresponsens karakteristikk ut i fra forskjellige standarder. Endelige resultater fra en måling avhenger da av målte verdier, samt hvilken vekting som er brukt. Det finnes flere forskjellige typer vektninger som A-, B-, C- og Z-vekting(uvektet), som alle påvirker frekvensresponsen på forskjellige måter avhengig av hva man er ute etter. Vektingene er basert på menneskets hørsel, men hvilken som brukes avhenger av lydnivåene. A-vekting følger sensitiviteten til menneskets hørsel ved lave nivåer. B-vekting brukes for moderate lydnivåer og C-vekting er regnet som den beste prediktoren for ørets sensitivitet ved høye nivåer. C-vekting har en tilnærmet flat respons.

A-vekting brukes i størst grad for de fleste nivåer som standard i de aller fleste lover og reguleringer som angår lydnivå. Dette er fordi lydsensitiviteten til menneskets øre ikke er den samme som risiko for hørselsskader. Selv om øret vårt kan oppfatte lave frekvenser, blir mye av den lavfrekvente støyen filtrert ut av øret vårt, noe som gjør at man ikke får hørselsskader i like stor grad som for høye frekvenser. A-vektingen følger ørets filtreringsprosess[33].



Figur 2.6: A-vektingskurve

I figur 2.6 ser man A-vektingskurven. Den viser tydelig demping i de lavere frekvensområder og en viss grad av demping i de høyere. Rundt 2-4 kHz forsterkes nivået. Denne forsterkningen kan forklares med en kvartbølgresonans i øregangen til oss mennesker som gjør oss mer sensitive for lyder ved disse frekvensene[6]. Et A-vektet lydtrykksnivå benevnes med [dB].

2.5 Måleusikkerhet

2.5.1 Standardavvik

Gjennomsnitt \bar{x} er gitt som en sum over alle bidrag delt på mengden bidrag.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (2.8)$$

Med et gjennomsnitt av måleverdier kan man finne varians. Varians s^2 definerer spredningen til alle måledata x_j og beregnes med formel 2.9[21]:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \quad (2.9)$$

Standardavvik s er enkelt definert som rota av varians s^2 ved formelen:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (2.10)$$

2.5.2 95 % konfidensintervall med bruk av Standard-error

Med standardavvik s kan man bruke standardfeil til å finne et konfidensintervall. Et slikt intervall vil være en mer nøyaktig beskrivelse av målingens forventede resultat enn et standardavvik, dersom man har få observasjoner.

Formelen for standardfeil er gitt ved:

$$SE_n = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.11)$$

Hvor s er standardavvik for målingene, n er antall målinger gjennomført.

En fordelingsfunksjon sier noe om hvilket intervall man skal se på, og bestemmes av et tall mellom 0 og 100 %. Ved konfidensintervall $\gamma = 95\%$ får man følgende fordelingsfunksjon F :

$$F = \frac{1}{2}(1 + \gamma) = 0.975 \quad (2.12)$$

I tabell for t-fordeling[22] kan man finne T_p ved å bruke F og Degrees of freedom ($df = n - 1$). T_p er faktoren for t-fordelingen som gir intervallet og kan ses i tabell 2.2.

F	df	T_p
0.975	1	12.700
0.975	2	4.3027
0.975	3	3.1824
0.975	4	2.7765
0.975	5	2.5706
0.975	6	2.4469
0.975	7	2.3646
0.975	8	2.3060
0.975	9	2.2622
0.975	10	2.2281
0.975	37	2.0262

Tabell 2.2: T_p for n-1 observasjoner

Ved å bruke standardfeil-metoden vil man kunne finne 95% konfidensintervall for middelverdi[23]:

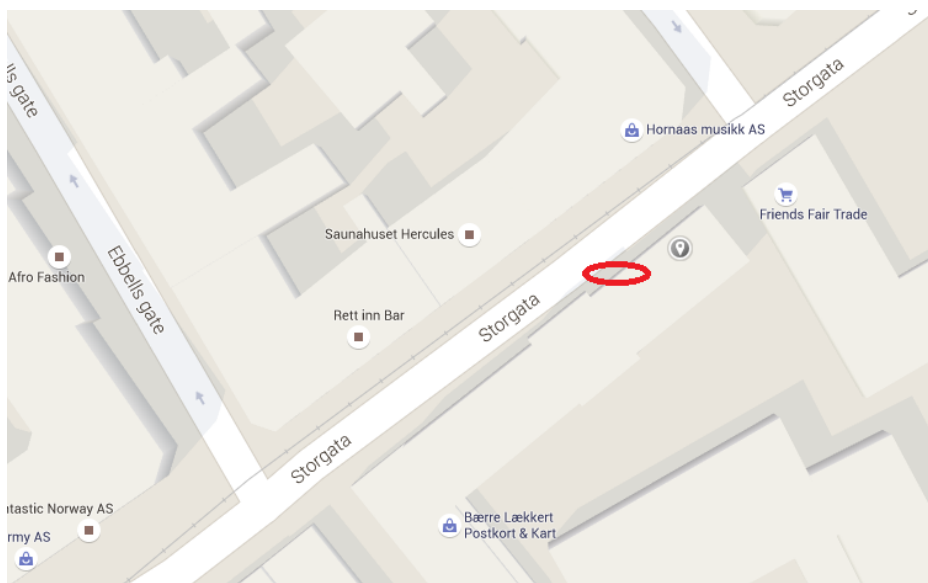
$$(\bar{x} - (SE_n \cdot T_p)) \leq \bar{x} \leq (\bar{x} + (SE_n \cdot T_p)) \quad (2.13)$$

Hvor \bar{x} er snittverdi av måling, SE_n er standard error og T_p er faktoren basert på df og F .

3. Gjennomføring

3.1 Måleområde

I Oslo sentrum er det store mengder trafikk, og kollektivtrafikken utvides i takt med folketallet. Dette byr på problemer for både boende og næringsdrivende når det gjelder støy og vibrasjoner. I Storgata i Oslo er nettopp dette et stort problem. Med opptil 36 trikkepasseringer i timen blir støynivået ofte høyt og kan skape irritasjon og plager hos nærliggende virksomheter og beboere. På det smaleste er det omtrent 2 meter fra trikkens passering og nærmeste fasade, noe som skaper et komplisert lydfelt. På bakgrunn av disse problemene ble nettopp Storgata valgt som måleområde.



Figur 3.1: Kartutdrag - Storgata 36B. *Bildet er tatt fra google maps 07.03.16

I Storgata er det to forskjellige trikkelinjer/felt, hvor det i oppgaven defineres to retninger, inn og ut av storgata. Inn er definert som passeringer mot krysset i Ebbells gate vist ved kart i figur 3.1. Ut blir da i motsatt retning. Ved utpasseringer er det kun omtrent 1.8 m meter fra fasade til kantsten, hvor trikkens sider passerer tilnærmet inntil kantsten. På kartet er det også mulig å se et lite utstikk i fasaden, like ved måleområdet.

I figur 3.2 ser man inn i gaten, og måleområdet avmerket på venstre side av gaten. Like bak det avmerkede området er også utstikket mulig å se. Utstikket brukes som referanse til plassering av måleutstyr.



Figur 3.2: Storgata 36. *Bildet er tatt fra google maps 07.03.16

3.1.1 Skissering

Siden Storgata senere skal modelleres i *Sketchup* og brukes for en simulering i *Odeon*, blir store deler av gaten og de nærmeste områdene rundt målt opp og skissert. Det blir tatt mål av bygningers høyde, avstand mellom trikkeskiner, avstand mellom fasader og kanter/hjørner. Med tanke på detaljnivå og arbeidet det vil medføre å jobbe videre med dette, gjøres det en god del forenklinger og avrundinger på målinger og skisseringer. Dette vil bli forklart i kapittel 3.5.

Bilde av skisse kan ses i vedlegg E.

3.2 Måleoppsett

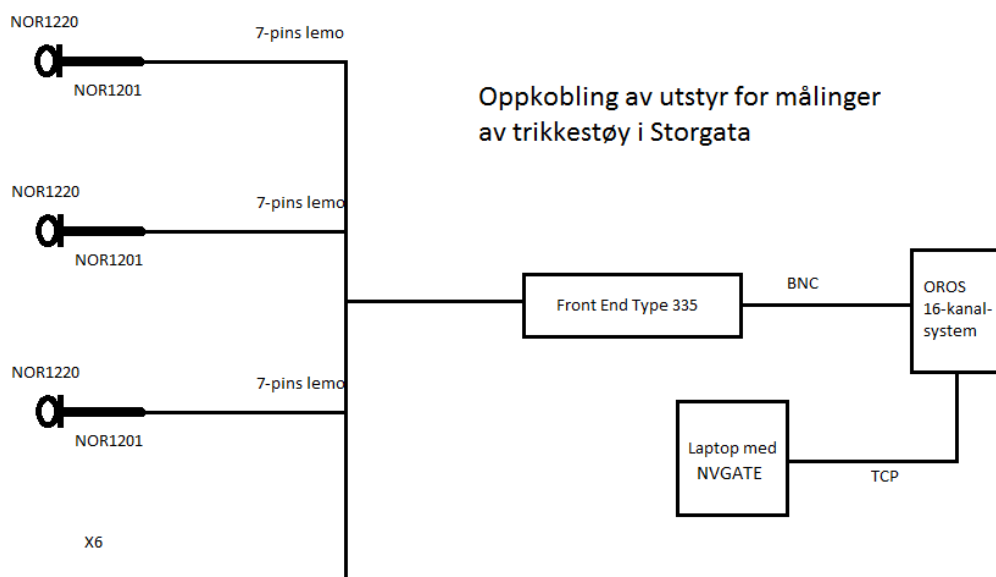
Første måleoppsett ble gjennomført 10. februar 2016, i en temperatur ved omtrent $+2 - 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ved første analyse av resultatene viste det seg at et nytt måleoppsett kunne være nødvendig for å oppnå bedre resultater. Andre måleoppsett ble derfor gjennomført 9. mars, ved omtrent samme temperatur.

Bakgrunnen for dette var at høyden på trikkene var omtrent på samme høyde som den målingen som gikk høyst opp langs fasaden, ved måleoppsett 1. Siden man er interessert i å se på hva som skjer i lydfeltet mellom trikk og fasade, bør det også ses på hva som skjer rundt/ovenfor, for å ha noe å sammenligne med.

3.2.1 Sammenkobling

Måleutstyret som brukes for begge målingene kan finnes i tabell 3.1, og en enkel skisse i figur 3.3 viser hvordan utstyret er koblet sammen. Det er 6 enkeltmikrofoner av typen Norsonic 1220 med Norsonic 1201 forforsterker som enkeltvis er koblet via 7-pins lemo til en Norsonic Front End type 335 (heretter kalt Front end). Front end gir en forspenning på 200 V, noe som kreves for mikrofontypene. I [30] er Norsonic 1220's egenskaper beskrevet. Den følger IEC 61672 klasse 1, og har derfor følgende respons: ± 1 dB ved 12.5–10 kHz og ± 3 dB ved 10k–16 kHz.

Front end er koblet til OR36 36:16-kanalssystem (heretter kalt OROS), via BNC-kabler. OROS er enheten som gjennomfører både målinger og kalkuleringer, og disse blir overført til en PC via TCP-kabel. På denne PC'en må man ha programmet NVGATE installert.



Figur 3.3: Oppkobling av utstyr

Enhet	Navn	Antall
Mikrofon	Norsonic 1220	6
Forforsterker	Norsonic 1201	6
Kabeltype	Ledning med 7-pins lemo-konnektor	6
Kabeltype	Koaksial med BNC-konnektor	6
Stativ	Justerbar høyde	6/1
Strømforsyning	Norsonic Front end type 335	1
Multikanalsanalysator	OROS36	1
Laptop	Med NVGATE	1
Kalibrator	Brüel & Kjær Sound calibrator type 4231	1
Dataprogram	Odeon & Sketchup	1

Tabell 3.1: Måleutstyr

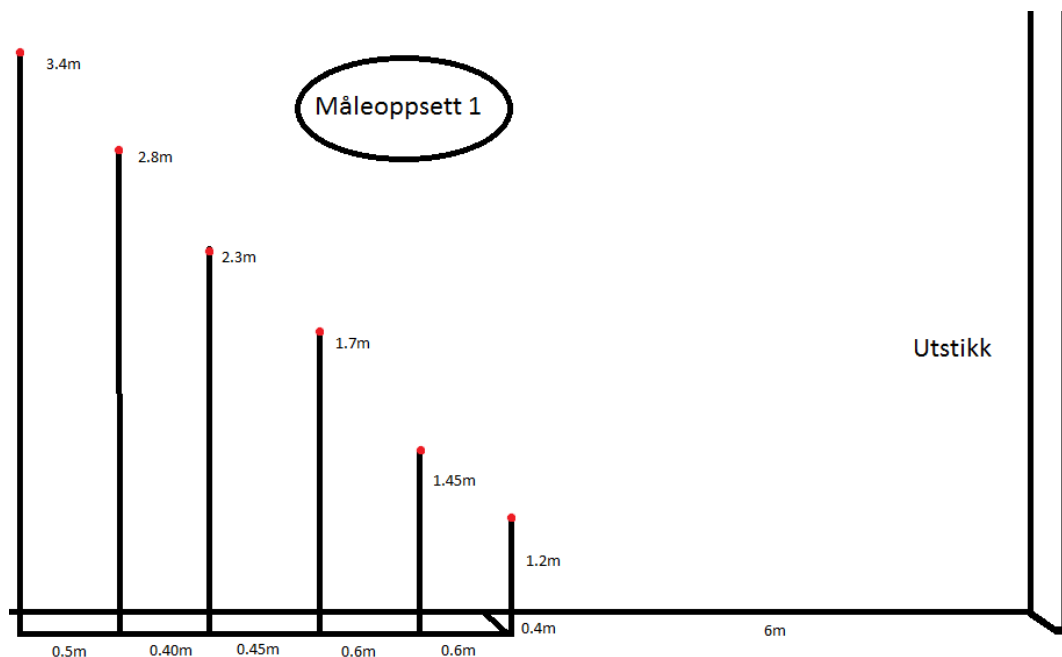
3.2.2 Måleoppsett 1, 10. februar 2016

Ved måling av lydfeltet er hovedfokus på endringer i høyderetningen. Dette er fordi det i hovedsak er forskjellen mellom lydfelt mellom trikk og fasade som er interessant å se på. Måleoppsettet som brukes er 6 mikrofoner i forskjellige stativ justert i forskjellige høyder. Ved første måleoppsett, 10. februar 2016, er de forskjellige mikrofonene plassert 0.4 m fra fasaden i de følgende avstander:

Mikrofon #	Høyde [m]	Avstand fra utstikk [m]
1	1.2	6.00
2	1.45	6.60
3	1.7	7.20
4	2.3	7.65
5	2.8	8.05
6	3.4	8.55

Tabell 3.2: Måleoppsett 1, mikrofoner

I figur 3.4 ser man en enkel modell av mikrofonplasseringene gjort ved måleoppsett 1. Til høyre på figuren ser man utstikket som er brukt som referanse til plassering av utstyret. Høyre retning på figuren regnes som innover i gaten. Trikk på vei ut av gaten vil komme fra høyre side og passere nærmest måleutstyret.



Figur 3.4: Figur av måleoppsett 1

I figur 3.5 ser man gjennomføring av måling for en trikk på vei inn i storgata, ved første måleoppsett. Dette er en trikk av typen SL79. I bakgrunnen ses en buss, noe som var typisk for målinger i dette gateområdet. Det var til tider mye trafikk i gaten og dette vil påvirke resultatet i form av støy og usikkerhet.



Figur 3.5: Måling av trikkepassering *inn* i Storgata, 10. februar

3.2.3 Måleoppsett 2, 9. mars 2016

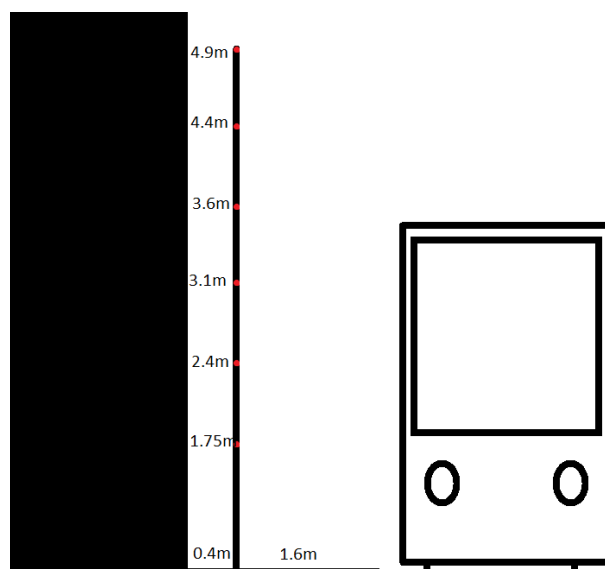
Ved første kikk på resultatene fra målinger som ble gjennomført 10. februar, beskrevet i kapittel 3.2.2, ble det bestemt at det var nødvendig å gjennomføre målinger med et nytt oppsett. Hovedpoenget med måleoppsett 2 er å kunne måle høyere oppover fasaden, for å se hvilke endringer som skjer i lydfeltet. Ved måleoppsett 1 ble det brukt et annet type stativ, da det var 6 stk tilgjengelig av den stativtypen. Trikkene har høyder fra omtrent 3.4 m til 3.6 m, men dessverre var det ikke mulig å måle mye høyere enn 3.4 m med stativene ved måleoppsett 1, og det ble derfor nødvendig med en ny metode og annen type stativ for måleoppsett 2.

Mikrofon #	Høyde [m]	Avstand til mikrofon(ut) [m]	Avstand til mikrofon(inn) [m]
1	4.90	5.37	7.15
2	4.40	4.92	6.81
3	3.60	4.22	6.32
4	3.10	3.80	6.05
5	2.40	3.26	5.73
6	1.75	2.81	5.48

Tabell 3.3: Avstand til mikrofon, oppsett 2

For å kunne måle høyere oppover fasaden ble man derfor avhengig av en ny type stativ. Ved måleoppsett 2 ble det derfor valgt et mye større stativ. Det var kun ett stativ og mikrofoner ble

festet i stativet i forskjellige høyder fra bakken. Med dette stativet blir det målt kun ett sted langs fasaden, horisontalt sett, og man vil derfor kunne få en snitt-måling som mest sannsynligvis blir mer nøyaktig. Dette kan man si fordi man får en bedre definert grense for å avgrense målinger, samt at de geometriske forskjellene i fasaden vil være mindre (kun fasadeforskjeller i en dimensjon i stedet for to).



Figur 3.6: Figur av måleoppsett 2

Dersom man ser bort fra selve stativet er alt koblet likt som i måleoppsett 1, vist ved figur 3.3. Målingene gjennomføres ved en avstand på 0.4 m fra fasaden, 6.1 m fra utstikk i fasaden i ett og samme stativ ved høyder som vist i tabell 3.3. Avstand fra kilde til mikrofon er definert for inn- og ut-passeringer av trikk og kilden satt ved bakkenivå på siden av trikken. I figur 3.6 ser man en enkel modell av måleoppsett 2, sett inn mot storgata med en trikk på vei ut, og figur 3.7 er et bilde av stativ og fasade.



Figur 3.7: Oppsett 2 - 9. mars 2016

3.2.4 OROS

OROS(OR36)[28] er en 16-kanals enhet som kombinerer flere komponenter som normalt er separert for målinger; Analyse og opptak i en og samme portable enhet. Denne inneholder god datakraft og kan gjennomføre beregninger og analyse av måleresultat selv. Derfor er man ikke avhengig av en kraftig bærbar PC for å kunne bruke denne enheten i felt. Selv om OROS har kapasitet til å måle med opptil 16 individuelle mikrofoner, blir dette ikke gjennomført, da kun et begrenset antall mikrofoner er tilgjengelig.

NVGATE

NVGATE er et program som følger med multikanalsenheten OROS. Programmet må installeres for å kunne bruke OROS.

Ved å kjøre NVGATE kan man definere et prosjekt med innstillinger for måling, analyse og lagring av måleresultater. I prosjektet defineres det at man skal bruke 6 mikrofoner som skal måle AvnOct og MaxOct. AvnOct er en måling av gjennomsnittlig lydtrykk i 1/3 - oktavnband. MaxOct er maksimumsverdiene for 1/3 - oktavnband ved den samme målingen.

Det bestemmes at det skal brukes en målerekkevidde på 20-20 kHz i 1/3 - oktavnband, selv om man ikke er veldig interessert i de høyeste frekvensområdene. Dette kan endres dersom man har problemer med mengden data. Dette frekvensområdet velges på grunn av at det er standard i bransjen på grunn av menneskets hørsel.

I programmet kjøres en kalibrering av systemet og mikrofonene ved å bruke en 94 db kalibrator fra Brüel & Kjaer. Kalibratoren plasseres på mikrofonen og det spilles av en ren 94dB tone. Systemet kalibrerer da inn slik at måleresultatet representerer kalibratorens nivå.

For måling trykker man enkelt på start og stopp, eventuelt start og å la målingen kjøre en angitt periode. På grunn av varierende tidsintervall for trikkepassering, samt forskjellige trikketyper, gjøres dette manuelt med start og stopp. Resultatet blir da automatisk lagret, og man er klar for neste måling.

Resultatfilene kan eksporteres i et vanlig tekstfil-format(.txt) som man kan lese inn med andre programmer for videre analyse.

For en mer detaljert beskrivelse av bruk av NVGATE, les vedlegg B.

3.3 Måling

Målinger gjennomføres ved å kjøre NVGATE med et bestemt prosjekt. Hvordan prosjektet er satt opp vil avgjøre hvilken type måleresultater man får.

Siden NVGATE er satt opp for å ta målinger av gjennomsnitt- og maxverdier over en gitt periode, startes målinger omtrentlig når en trikk kommer. Dersom man ser for seg en vinkelrett grense(i

rødt) ut fra fasaden og måleoppsettet; og ser når en trikk treffer denne grensen, starter man målingen. I figur 3.8 ser man et enkelt eksempel på hvordan måleperioden avgrenses.



Figur 3.8: Grense for måling

Målingen avsluttes når trikken har passert neste grense. Imellom grensene vil mikrofonene stå plassert langs fasaden. Avhengig av hastigheten til trikken får man et resultat basert på et snitt over noen sekunder. Denne figuren er spesifikk for måleoppsett 1. For måleoppsett 2 vil disse to grensene være kombinert til en og samme grense, da alle mikrofonene står i samme stativ. Da vil man starte målingen når man ser at fronten av trikken kommer til grensen, og stopper målingen når enden av trikken har passert grensen.

Ved måling noteres ned både retning og type kjøretøy. I vedlegg D viser tabell D.1 og tabell D.2 målingene fra henholdsvis 10. februar og 9. mars.

Trikk står i hovedfokus ved målinger og analyse, men det er tatt målinger av buss for å kunne sammenligne støyen fra de to kjøretøytypene. Derfor vil noen aspekter av målinger fra buss ikke bli analysert i like stor grad som for målingene av trikk.

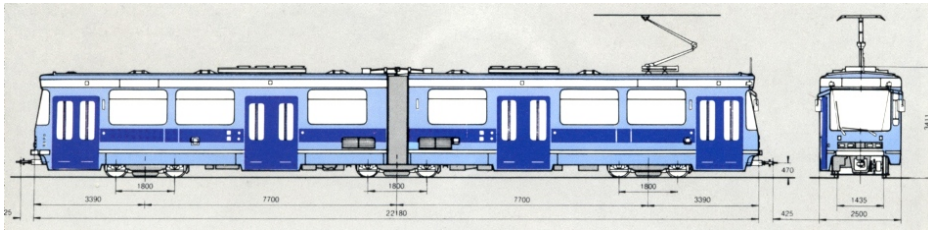
3.3.1 Trikketyper

I Oslo består det meste av trikketrafikken av tre typer trikker. SL79/1, SL79/2 og SL95. SL79/1 og SL79/2 defineres som en og samme trikk, da de fysiske forskjellene mellom disse to trikketyperne er minimale.

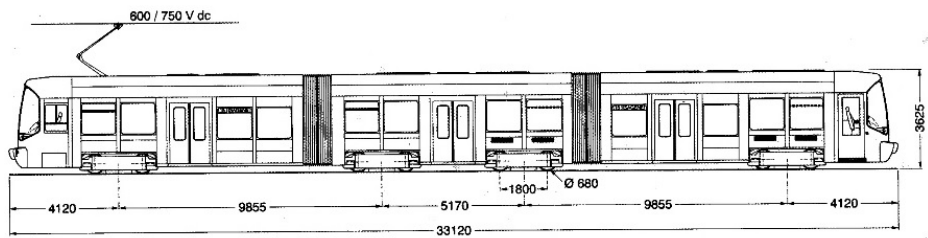
I måletabellene(D.1 og D.2) er trikkenummeret definert i kolonne 3. Ved å se på trikkenumrene er det mulig å skille forskjellige kjøretøytyper fra hverandre:

- 101-140 er SL79.
- 141-172 er SL95.
- Busser med skilt som starter på DL, er MAN Lion City 2008mod.
- Busser med skilt som starter på GA, er MAN Lion City 2012mod.

Måleresultatene blir sortert og analysert henholdsvis, også med hensyn til hvilken retning fartøyet har. Busstypene analyseres sammen.



Figur 3.9: SL79 plantegning - hentet fra [29]



Figur 3.10: SL95 plantegning - hentet fra [29]

Figur 3.9 og 3.10 viser plantegninger for SL79 og SL95. SL79 har en høyde på 3410 mm. Dette er rett under maksimumshøyden til måleoppsett 1, dersom man trekker fra høyden på kantsten (150 mm). SL95 har en høyde på 3625 mm, noe som vil tilsa at måleoppsett 1 ikke målte høyt nok for å kunne nå over trikken ved passering. Dette så man ikke under måling.

SL79 har en lengde på 22180 mm mens SL95 har en lengde på 33120 mm, og med sine 65 tonn er SL95 ca dobbelt så tung som SL79. Dette vil kunne gjøre forskjell i nivåene på målingene. Siden SL95 er lengre, vil man også kunne få mer nøyaktige gjennomsnittsmålinger, da man har lengre måleperiode for passering. Datablad for trikketyper er hentet fra [13] og kan leses i vedlegg C.

3.3.2 Filsortering

Ved å bruke informasjon om kjøretøytype kan de forskjellige målingene sorteres i 6 forskjellige grupper, for begge de to måleoppsettene. Det er 3 forskjellige enheter enten inn til eller ut av storgata. Mengden passeringer for hver gruppering kan ses i tabell 3.4 og målefilene for de forskjellige grupperingene sorteres i egne mapper på datamaskinen. Dette gjøres for å kunne kjøre et matlab-script på filene for videre analyse.

Måleoppsett:	1		2	
Type\Retning	Inn	Ut	Inn	ut
SL79	4	5	8	10
SL95	4	3	3	8
Buss	3	4	2	6

Tabell 3.4: Sortere målinger

Tabellen viser at man har minimum 3 måleresultat per gruppering, bortsett fra måleoppsett 2, med buss på vei inn (2 målinger). 2 målinger er litt lite for å kunne få nøyaktige resultater, men målinger for buss er ikke like kritisk, da buss ikke står i hovedfokus for denne oppgaven.

3.4 Matlab

Måleverdiene som blir tatt opp via OROS og NVGATE kan eksporteres som tekstfil (.txt). Denne filen kommer i et eget format hvor prosjektnavn, måletype, frekvensområder og måleverdier er organisert i en spesiell struktur i resultatfilen.

For videre analyse av måleresultater er det skrevet en kode i *Matlab*. På grunn av mengden data ble det valgt en løsning hvor det skrives et script som leser inn alle måleverdiene og sorterer disse i matriser. Koden vil bli beskrevet stegvis nedenfor med eksempler tatt ut fra den originale koden.

Alle tekstfiler er på forhånd sortert i forskjellige mapper på datamaskinen, basert på hvilken retning og hvilken type kjøretøy målingen ble utført på.

3.4.1 Filnavn

I kodeutsnitt 3.1 lagres navnet på alle tekstfiler som ligger i katalogen som er valgt. Ved å velge hvilken mappe Matlab skal kjøre fra, og hvor man har sin "path", vil man endre hvilke dokumentnavn som blir lagret. Det er kun filtyper av typen *.txt*, altså vanlige tekstfiler, som vil bli lagret. I *status* og *list* lagres henholdsvis status for operasjonen og navnet til filen. Dersom resultatet fra *status* er lik 1, betyr det at operasjonen ikke var suksessfull. I *list* lagres navnene på alle tekstfiler som ligger i mappen man kjører fra, i en tekststreng adskilt med mellomrom.

```
1 [status, list] = system('dir /B *.txt');  
2 result = textscan(list, '%s', 'delimiter', '\t');  
3 fileList = result{1};
```

Kodeutsnitt 3.1: Lese inn tekstfilnavn

I andre kodelinje finner man *textscan*. Dette er en funksjon som leser gjennom en tekststreng og lagrer det i en celledmatrise. I vårt tilfelle er dette *list* med navnet på alle tekstfilene som er lest inn. *%s* sier at funksjonen skal lese inn en streng, 'delimiter' avgjør hva som skal begrense lesingen og det er i dette tilfelle *\t*. Dette betyr at strengen som leses inn skal deles opp etter hver tab - men i praksis vil dette også bety hver gang det er et mellomrom i strengen. *fileList* lagrer den delen av celledmatrisen vi vil ha for videre bruk. Etter disse tre kodelinjene vil man ha en liste med navnet på alle tekstfilene som finnes i den mappen det er valgt å kjøre fra.

3.4.2 Tekstfilmatrise

I kodeutsnitt 3.2 jobber man videre med navnelisten lagret i *fileList*. Ved første gjennomkjøring i for-løkken åpnes tekstfil #1 med *fopen*, og *tekstscan* lagrer alle verdiene i denne tekstfila inn i *doclist*.


```

1 for i = 1:length(fileList);
2   fileID = fopen(cell2mat(fileList(i,1)));
3   doclist(i,1) = textscan(fileID, '%*s %s');
4   fclose(fileID);
5 end

```

Kodeutsnitt 3.2: Lagre tekstfiler

Tekstfilen består av to kolonner med tekst. Vi er kun interesserte i kolonne 2, og derfor er det lagt inn `% * s` hvor man da ignorerer strengene i første kolonne. For kolonne 2 vil man ta vare på strengen `%s`. Forskjellen er tegnet `*` som betyr at hele kolonnen blir ignorert. Hele tekstfil #1 blir lagret i celledmatrise `doclist(1,1)`. Denne for-løkken fortsetter å kjøre til alle dokumentene har blitt lest inn og lagret, og man har en stor matrise som inneholder all tekst fra alle dokumenter.

3.4.3 Streng-posisjon

I figur 3.11 vises et eksempel på tekstfilformatet som kommer fra OROS/NVGATE. Dette eksempelet viser AvnOct-verdiene for én mikrofon i denne målingen. Totalt vil det være 6 AvnOct og 6 MaxOct-verdier for en total av 12 mikrofonmålinger per tekstfil, med 31 måleverdier per mikrofonmåling for alle oktavbåndene.

Project Name	Storgata
Measurement Name	Measurement1
User Name	Default USER
Creation time	2/10/2016 9:56:53
Analyzer	Oct
Result type	AvnOct
Response Name	[1]-Input 1
Unit	RMS
X_value	_Value
Hz	Pa
2.00000e+001	6.40563e-002
2.50000e+001	4.59814e-002
3.15000e+001	6.27003e-002
4.00000e+001	3.64426e-002
5.00000e+001	1.01295e-001
6.30000e+001	1.16389e-001
8.00000e+001	1.81982e-001
1.00000e+002	1.71247e-001
1.25000e+002	1.83060e-001
1.60000e+002	7.62226e-002
2.00000e+002	8.81232e-002
2.50000e+002	7.50156e-002
3.15000e+002	7.81691e-002
4.00000e+002	7.99736e-002
5.00000e+002	8.57926e-002
6.30000e+002	5.56722e-002
8.00000e+002	5.53041e-002
1.00000e+003	5.91863e-002
1.25000e+003	6.00492e-002
1.60000e+003	4.01761e-002
2.00000e+003	5.74477e-002
2.50000e+003	1.68329e-002
3.15000e+003	1.48721e-002
4.00000e+003	1.16627e-002
5.00000e+003	8.22852e-003
6.30000e+003	6.90349e-003
8.00000e+003	4.52425e-003
1.00000e+004	2.62646e-003
1.25000e+004	2.07237e-003
1.60000e+004	1.75474e-003
2.00000e+004	7.70963e-004
Global	4.61816e-001

Figur 3.11: Eksempel på tekstfil; `measurementmatrix(:,1,1)`

I kode 3.3 skaper man en celle-liste kalt *PaPos*, hvor man ser etter strengene i tekstfilene som har verdien "Pa". I figur 3.11 ser man "Pa" markert i rødt. *strfind* leter gjennom alle dokumentene i *doclist* og finner ut om "Pa" finnes eller ikke, for alle streng-posisjonene som finnes i hele *doclist*. I cellene vil man få verdien 1 dersom posisjonen inneholder "Pa" og 0 dersom det er andre verdier. Disse verdiene er nødvendige for å kunne plukke ut nøyaktig de verdiene man vil ha fra resultatfilene.

```

1 name = 'Pa';
2 for i = 1:length(doclist)
3     PaPos{i,1} = strfind(cellstr(doclist{i,1}),name);
4 end

```

Kodeutsnitt 3.3: Finner strengen 'Pa'

3.4.4 Matrise for startposisjon til måleverdier

Kodeutsnitt 3.4 leser gjennom hele *PaPos* og leser av og lagrer posisjonen til *Pa* i en liste. *PaPos* består av flere matriser hvor verdien 0 eller 1 representerer om strengen *Pa* finnes i de forskjellige posisjonene. Disse matrisene leses en etter en og dersom verdien i løpet av matrisen er lik 1, vil nøyaktig denne posisjonen lagres i listen *stringstart*. Man vet da hvor måleresultatene i resultatfilen ligger, fordi alle måleverdiene ligger lagret etter *Pa* i tekstfilen.

```

1 for i = 1:length(PaPos)
2     for j = 1:length(PaPos{1,1})
3         if PaPos{i,1}{j,1} ==1
4             stringstart = [stringstart ,j];
5         end
6     end
7 end
8 % Pa is located in same spot for all files.
9 stringstart = stringstart(1:(length(stringstart)/length(doclist)));

```

Kodeutsnitt 3.4: Lagre posisjon til Pa

Siden alle resultatfilene i denne oppgaven er lik, vil posisjonen til *Pa* være lik for alle dokumenter. Derfor overlages kun posisjonene til *Pa* fra første resultatfil, ved siste linje i eksempelkode. Dersom det hadde vært gjennomført målinger med varierende størrelse på resultatfiler kunne man ha fjernet denne overlagingen, men man måtte også ha endret videre kode avhengig av hvilke resultater man ønsker.

3.4.5 Matrise for måleverdier

I den triple for-løkken fra kodeutsnitt 3.5 leser man seg gjennom alle dokumenter som er lagret i *doclist*, over alle posisjonene hvor "Pa" finnes, definert ved *stringstart*, og over mengden måleverdier *measurelength* som finnes per måling. *measurelength* er satt manuelt lik 31 og avhenger av hvilke frekvensbånd man har satt for målingene. I målingene er det satt at man skal registrere verdier fra 20 Hz til 20 kHz i 1/3 oktavbånd, noe som tilsvarer 31 verdier.

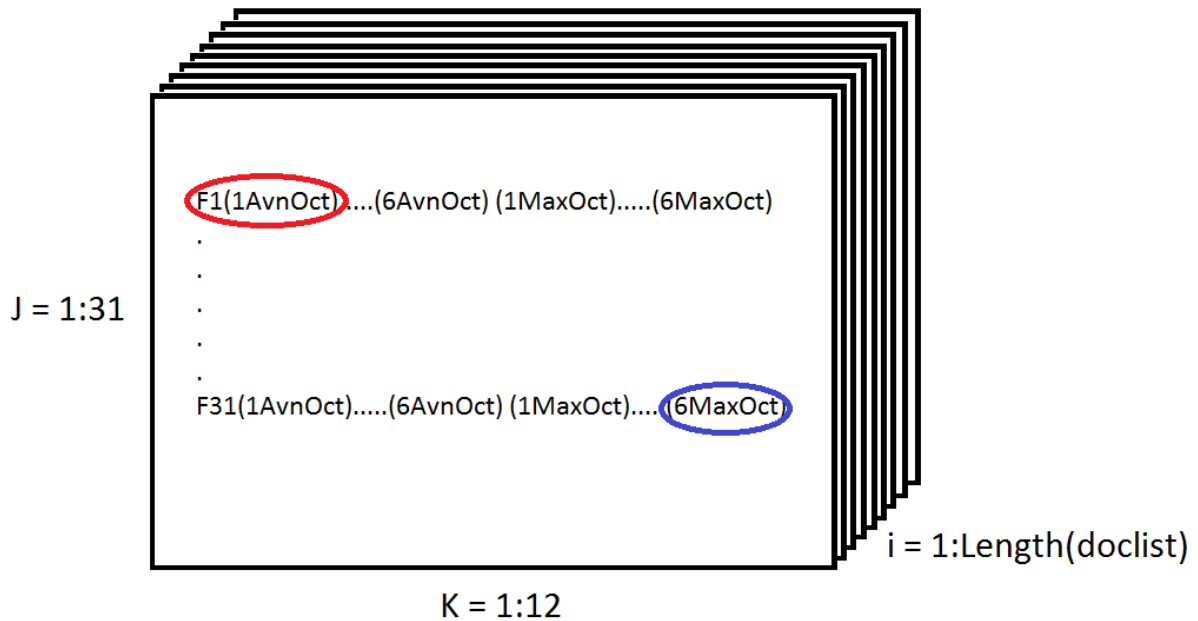
```

1 for i = 1:length(doclist)
2     for k = 1:length(stringstart)
3         for j = 1:measurelength
4             measurementsmatrix(j,k,i) = str2double(doclist{i,1}(stringstart(k
5                 )+j,1));
6         end
7     end
end

```

Kodeutsnitt 3.5: Måleresultat

For dokument #1 vil man starte ved første posisjon Pa og så lese alle verdiene som finnes nedenfor dette fram til man har lest og lagret alle frekvensbåndverdiene. Man får da tilslutt en tre-dimensjonell matrise $measurementmatrix(j, k, i)$ hvor j representerer de 31 forskjellige frekvensbåndene, k representerer de 12 forskjellige mikrofonverdiene og i representerer dokumentnummeret. Med denne matrisen kan man da enkelt plukke ut en måleverdi for hvilken som helst mikrofon for ett dokument ut ifra alle målingene som er gjort, uavhengig av mengde målinger. Så lenge man har kontroll på hva som er hva.



Figur 3.12: Figur av resultatmatrisen

Man sitter igjen med 31x12 måleverdier per målefil, fra 20-20 kHz, som kan brukes til analyse som man kan se i figur 3.12. Markert i rødt ser man $measurementmatrix(1, 1, 1)$. Dette vil være måling ved frekvens $F1(20\text{Hz})$ gjort av mikrofon 1(AvnOct) lagret i det første dokumentet. Markert i blått finner man $measurementmatrix(31, 12, 1)$ som er måling ved frekvens $F31(20\text{kHz})$, for mikrofon 6 sin 2. måling i MaxOct i det første dokumentet.

3.4.6 Diverse

I utsnitt 3.6 beskrives noen enkle kodelinjer for videre bruk og til analyse av resultatene. Første kodelinje viser en konvertering fra trykk [Pa] til lydtrykksnivå (SPL) [dB]. p_0 er referanse-trykket og er lik $20e^{-6}$ Pa.

```
1 SPLmatrix = 20*log10(measurementsmatrix/p0);
2 p2matrix = 10.^(SPLmatrix/10);
3 p2_averageacrossmic_mean = mean(p2matrix(:,1:6,:),2);
4 SPL_averageacrossmic_mean = 10*log10(p2_averageacrossmic_mean);
```

Kodeutsnitt 3.6: Diverse eksempelkoder

Andre kodelinje viser en tilbakekonvertering for å bruke videre til å lagre gjennomsnittsverdier.

Tredje og fjerde kodelinje viser et eksempel på hvordan man kan ta gjennomsnittet over 6 mikrofoner, for alle frekvenser og dokumenter. Denne blir så lagret i desibel igjen. Man får her en matrise på 31 gjennomsnittsverdier for hvert av dokumentene som ligger i mappen det kjøres fra.

3.4.7 Fullstendig analyse av måledokumenter

Måledokumentene er som tidligere nevnt sortert i forskjellige mapper. De forskjellige mappene representerer forskjellige kjøretøy og deres retninger, og det lagres forskjellige variabler for alle disse for å kunne tegne inn flere forskjellige verdier i samme graf. Ved å velge forskjellige mapper basert på gruppering vil man kunne se direkte på hva som skjer for hver kjøretøytype med en spesifisert retning.

Det lages derfor et eget script som heter *kjoring* for å automatisk kunne kjøre gjennom alle mappene og lagre verdier for alle de forskjellige kjøretøyretningene med et enkelt klikk. Et utsnitt fra *kjoring* vises i utsnitt 3.7.

```
1 cd ('..')
2 cd Buss_inn
3 OROSplotting_PS222222
4 SPL_bussinn = SPL_mean;
5 mics_bussinn = averagelist;
6 avg_Bussinn = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
7 Ubussinn = Ubar;
8 Lbussinn = Lbar;
9 AvgMicBi = SPL_averageeventandfreq(1:6);
10 stdBussinn = Allmean_std_p2;
```

Kodeutsnitt 3.7: Kjøre hovedscriptet gjennom forskjellige mapper

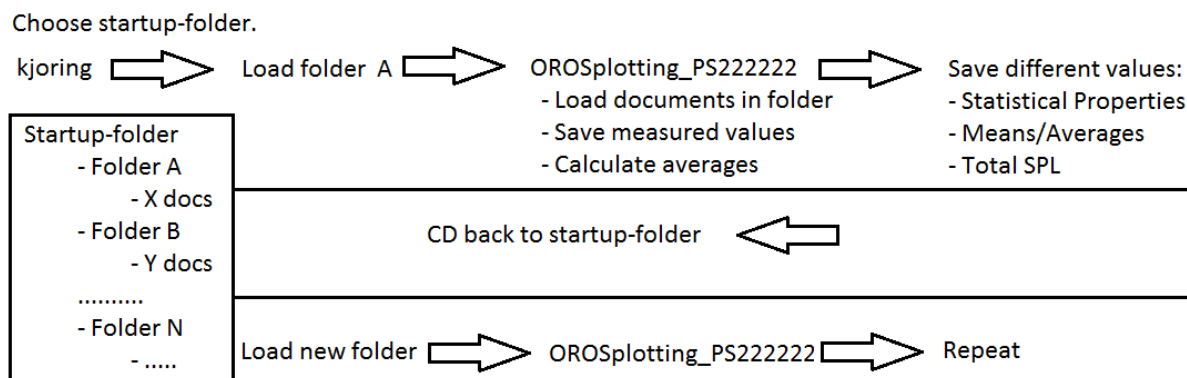
Avhengig av hvilken mappe man starter i, kan man hoppe opp til mappen over ved å kjøre `cd(?.?)`. Så velger man hvilken mappe man så skal analysere. I dette eksempelet laster man inn og åpner mappen "*Buss_inn*". I mappen vil det ligge et antall målefiler som er tatt fra målinger av busser på vei inn i Storgata.

Når man har åpnet mappen "*Buss_inn*", vil hovedscriptet "*OROSplotting_PS222222*" kjøres. Dette er scriptet som er beskrevet ovenfor hvor man plukker ut og gjør beregninger på måleresultatene. De forskjellige variabelnavnene fra kodelinje 4 og ned er definert for alle 6 buss- og trikkeretninger.

For andre mapper lagrer man navn som: SPL_bussut, SPL_SL79ut, mics_SL95inn og så videre.

Denne koden repeteres for de 6 forskjellige kjøretøyretninger og man får lagret de samme typene av gjennomsnittsverdiene for hver enkel gjennomkjøring. Slik blir det enkelt å ta ut store mengder data fra nøyaktig samme script for alle de 6 forskjellige kjøretøyretninger og så sammenligne de i grafer.

I figur 3.13 vises en enkel modell av hvordan det forløper.



Figur 3.13: Modell av kode

Man velger hovedmappe og kjører matlabskriptet ”kjoring”. Dette vil så laste inn mappe A før man kjører OROSplotting og gjør beregninger på alle dokumentene fra denne mappen. Til slutt lagres de forskjellige verdiene i egne variabler og man hopper tilbake til hovedmappen. Slik kjøres skriptet igjennom alle de forskjellige mappene slik at man får analyse av alle de forskjellige kjøretøyretningene.

3.4.8 Matlab-kode for Odeonresultater

```

1 SPL95inn_newfinal = [...
2   59.2,60.0,55.7,57.5,56.8,56.7,39.5,29.4;...
3   59.4,60.2,55.9,57.7,57.0,56.9,39.8,29.7;...
4   59.7,60.5,56.2,58.0,57.3,57.2,40.0,30.0;...
5   59.6,60.4,56.1,57.9,57.2,57.1,39.9,29.9;...
6   59.7,60.5,56.2,58.1,57.3,57.2,40.1,30.1;...
7   59.7,60.5,56.2,58.2,57.3,57.2,40.1,30.1];
8 SPL95inn_newfinale = 10*log10(mean(10.^(SPL95inn_newfinal/10)));
9 SPL95inn_newfinalemeans = 10*log10(mean(10.^(SPL95inn_newfinal/10),2));
  
```

Kodeutsnitt 3.8: Lagre og analysere simuleringsresultater

I dette eksempelet er et simuleringsresultat fra Odeon lagt inn i matlab. I ”SPL95inn_newfinalemeans” får man et snitt over alle frekvenser for de 6 mikrofonplasseringene. Gjennomsnitt gjøres på grunn av liten endring spektralt sett, med tanke på verdiene til mikrofonene.

For mer forklaringer og lesing av matlab-kodene, se vedlegg A.

3.5 Simulering

For å modellere storgata brukes *Sketchup*, et gratisprogram som kan lastes ned på nettet[26]. På bakgrunn av skisse av gaten kan man definere en lignende og forenklet modell av gaten i programmet. Siden detaljnivået som finnes i gaten er veldig høyt, vil en nøyaktig modell av dette være meget arbeidskrevende, og en simulering i en slik modell vil samtidig kreve lang simuleringstid på en kraftig pc. Dessuten vil resultatet man får, ikke være så veldig mye bedre enn om man gjør forenklinger av modellen.

Odeon[27] er et verktøy for å simulere og å beregne innvendig akustikk i bygninger. Programmet bygger på geometrisk akustikk, og det beregner akustiske egenskaper ved å bruke strålegangsberegnings(Ray tracing)- og speilkilde-modeller. Det er også tatt i bruk diffraksjons-modeller.

Ved å importere modeller av bygninger kan man i Odeon plassere ut og definere lydkilder for å simulere oppførselen til lydfeltet, høre på, og å se på hvordan lyden oppfører seg. I denne oppgaven er det ikke en innendørs situasjon, men når man modellerer himmelen i Storgata som et tak vil man få en tilnærming som kan brukes.

3.5.1 Forenklinger gjort i modell og simulering

Modellen som blir laget i Sketchup kan importeres inn til Odeon og deretter brukes videre for simulering. I Odeon kan man da definere flater og deres egenskaper som spredning og absorpsjon. Siden et arbeid med en avansert og detaljert modell blir veldig arbeidskrevende, gjøres det mange store og små forenklinger i modelleringen av storgata, både i materialer og avstander:

- Avstand tversnitt gate antas lik (Parallel gate)
- Avstand tversnitt fortau antas lik (Fortau parallel med veg/hus)
- Fasader på begge sider antas tilnærmet lik i form og størrelse
- Himmel plasseres i kant med takhøyde og antas 100 % absorpsjon
- Inngang til smug/gater modelleres kort, det plasseres en flate i enden med en viss absorpsjon
- Ingen stigning i gaten
- Homogene flater/materialtyper
- Kilde forenkles

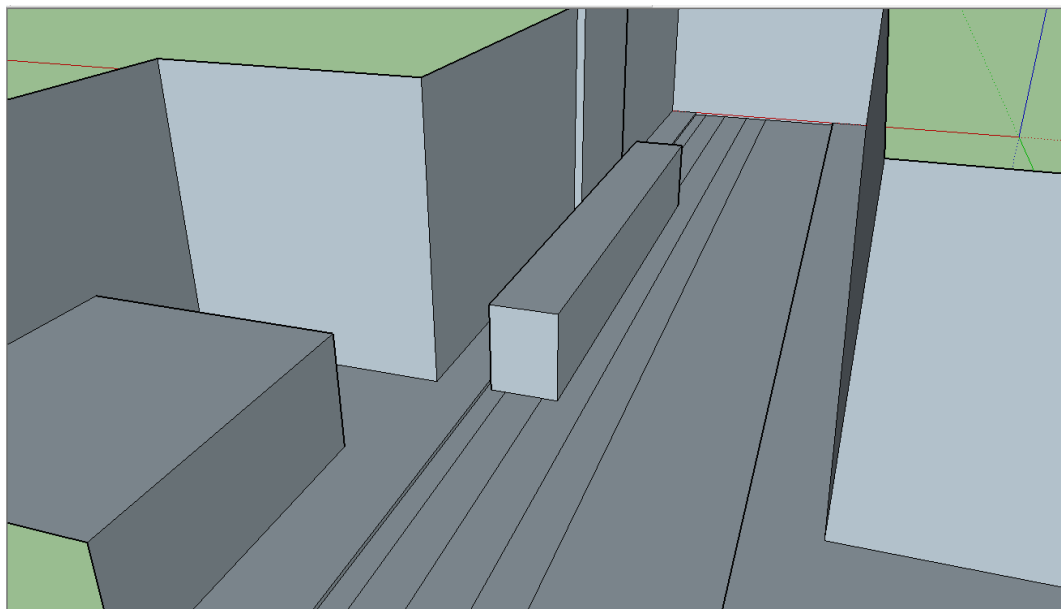
En av de største forenklingene som gjøres på modellen og simuleringen er kilden. En trikk som passerer i ei gate kan umulig defineres med en parameter. Vindmotstand, risting i kjøretøyet, hastighet, støy fra skinnene, vibrasjonsstøy og skrangling er bare noen av eksemplene på forskjellige variabler som påvirker den totale opplevde støy. Motoren i seg selv er en kilde, men det er mange andre faktorer påvirker den opplevde lydkilden.

- I artikkelen *Characterisation of tram noise emission and contribution of the noise sources*[15] vises det til målinger og analyse på trikk som støykilde. Støykildene som påvirker i størst grad er langs bakken. Hjul, bogger og skinnene.
- I artikkelen *Report on Source ranking on state of the art validation platforms and final priorities for research efforts*[16] er flere lydkilder på trikk sammenlignet med hverandre. Motor, gir og hjul-skinne-støy lå på et snitt 75 dBA i forhold til HVAC(Heat, ventilation and air condition) med verdier på <55 dBA. Disse resultatene tilsier også at en simulert kilde bør ligge plassert nært bakken.

Siden målingene i prosjektet som jobbes med i denne rapporten, blir gjort som et tidsgjennomsnitt over hele passeringen til trikken, antas det at en linjekilde som står i høyde med bogger/hjul kan være en god tilnærming til opplevd lydkilde. Trikken blir i Sketchup modellert som et rektangel, og to kilder plasseres nært bakken ved langsiden til trikken i form av linjekilder i Odeon.

3.6 Modellering Sketchup

Sketchup er et tegneprogram hvor man kan lage detaljerte tegninger av f.eks bygg, rom og gateområder. I figur 3.14 kan det ses en modell tatt ut fra Sketchup. Figuren viser en enkel modellering av Storgata rett ved måleområdet. Denne figuren er basert på måleverdier tatt fra skisse i figur E.1, samt de forenklingene som er nevnt i kapittel 3.5.1. I enden av gaten ser man en vegg. Denne veggen vil i Odeon bli gitt parametre som spredning og absorpsjon, for å etterlikne gateområdet som fortsetter derfra. I første design var detaljer fra byggfasadene som vinduer også implementert. Det ble bestemt at vinduene på fasadene i figuren skulle fjernes, da detaljene ikke ville påvirke resultatet i stor grad uansett.



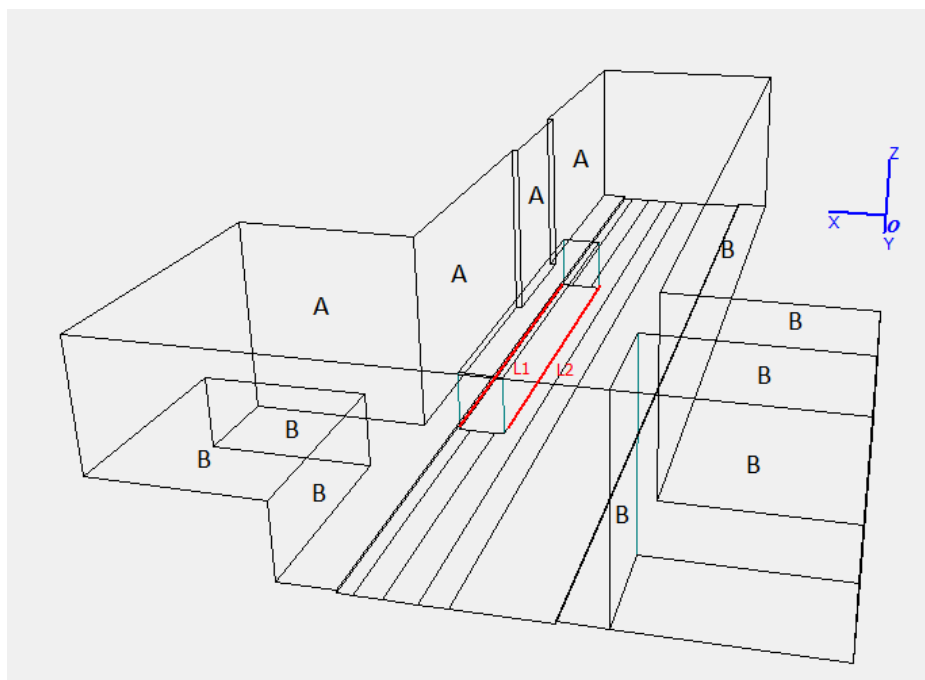
Figur 3.14: Modell storgata

Omtrent ved midten i figuren kan man se trikken. Trikken modelleres som en rektangulær boks med dimensjoner i samsvar med reelle verdier for den enkelte trikketype. Boksen i figuren er en SL79 på vei ut av gaten. Selv om hele modellen ser åpen ut, er dette en tett modell hvor noen av sideflatene og taket er fjernet for å kunne vise innsiden. Det blir laget fire slike modeller, hvor de to forskjellige trikketyperne er modellert i henhold til størrelser fra datablad for trikk[13], for både inn- og ut-passeringer.

Alle flatene og kanter inne i modellen blir lagt til i egne klasser, eller "layers" som det heter. Dette var en av hovedgrunnene til at vindu i modellen ble fjernet. Det ble mye arbeid å legge til egenskaper for hver av de små flatene som oppstår når man modellerer x antall vinduer. Layers brukes for å lettere kunne jobbe videre med material-egenskaper i Odeon.

3.6.1 Odeon

I figur 3.15 ser man modellen fra Sketchup som har blitt importert til Odeon. Dette er en modellering av en SL79 på vei ut av storgata. De røde linjene representerer linjekildene. For modeller av SL95 vil lengden, høyden og bredden på rektanget i midten variere, samt linjekildene vil være lengre. Dersom simuleringen er for en av trikketyperne i motsatt retning, vil rektanget plasseres i motsatt felt.



Figur 3.15: Eksempel Odeon

I figuren er flere av flatene merket med bokstavene A og B (dette er gjort manuelt i etterkant og er ikke representativt for Odeon sin framvisning av modellen). Disse bokstavene representerer

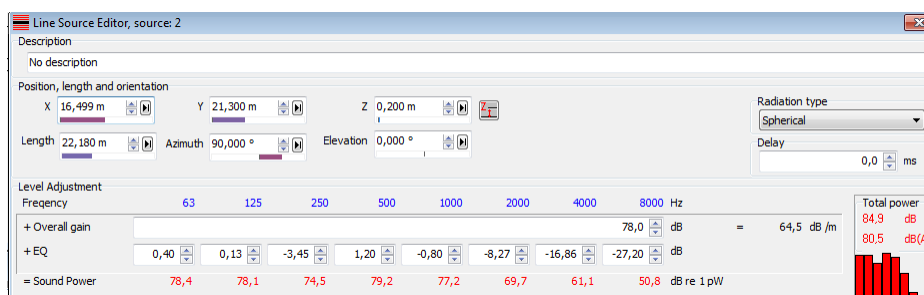
forskjellige type materialer som er definert i Odeon på fasadene. Bakken og trikken, samt himmel og endegater er ikke definerte i figuren, da de er lettere å skille fra fasadene.

3.6.2 Kildeverdier

Trikken og kildene er plassert slik at sentrum av disse i lengderetningen står vinkelrett mot måleplassering for måleoppsett 2 (6,1 m fra utstikk) i forhold til fasaden. Kildens verdier er definert ut i fra måleverdiene, og da spesifikt måleverdiene fra måleoppsett 2, ettersom måleoppsett 2 var bedre optimalisert enn måleoppsett 1 med tanke på resultat.

Rom-modellene hentes fra Sketchup, mens i Odeon blir kilder, material-egenskaper og mikrofoner definert. Det er også i Odeon hvor selve simulering av lydfelt blir gjennomført.

For å sikre posisjon til mikrofoner og linjekilder er det i Odeon mulighet til å markere kanter og hjørner. Ved å trykke inn "M" får man opp kant- og hjørneinformasjon med koordinater. Slik vil man kunne plassere kilder og mikrofoner så nøyaktig som mulig. Linjekildene plasseres 0.35 m over bakken, 0.2 m over gatenivå ved fasade (kantsten er 15 cm høy). For å unngå at kildene "forsvinner" i Odeon og trikkene, blir de plassert 0.001 m unna utsiden på trikkens sider.



Figur 3.16: Kildeoppsett

I figur 3.16 ser man et eksempel på oppsett til kilde i Odeon. Her er det valgt linjekilde med sfærisk stråling, og det er satt individuell forsterkning ved de forskjellige frekvensområdene i 1/1 oktavbånd. Kildeverdiene er bestemt ut i fra målte verdier. Størrelsene og koordinatene avhenger av hvilken trikketype og retning, men alle kilder blir plassert i forhold til måleoppsettet 6.1 m unna utstikket i gaten. Senter av trikken vil stå vinkelrett mot måleoppsettet, og mikrofonene har fast måleposisjon for alle trikker og retninger.

3.6.3 Absorpsjon

I tabell 3.5 ses absorpsjonsspekter for de forskjellige materialvalgene som er gjort i Odeon. Disse verdiene er hentet fra Odeons eget bibliotek med nummerering, hvor man har flere valg for alle typer materialer med gitt absorpsjon for alle frekvensbånd. "Egen" er selvdefinerte verdier gjort ved forenklinger i modellen, og sitering [x] er tatt fra andre kilder.

Material\Abs. α	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Spred.
A: Malt murstein, 104	0,11	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,10
B: Pusset mur, 103	0,10	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	0,08	0,05
Bakke: Asfalt, 14301	0,09	0,09	0,085	0,09	0,25	0,50	0,80	1,00	0,20
Endegate, egen	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Himmel/tak, egen	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,05
Trikk:Alu-plate[24]	0,30	0,23	0,09	0,10	0,07	0,03	0,05	0,05	0,05

Tabell 3.5: Absorpsjon og spredning for materialer

Spredningen er definert ut fra verdier som antas som standard fra [27] i tabell 3.6. Valgene av absorpsjon og spredning gjøres slik at de tilnærmet kan representere de faktiske forhold som ved måleområdet, men uten helt nøyaktige tall for fasadeoverflatene og materialtyper er det vanskelig å si om tallene stemmer. Tallene for endegate er også veldig diffuse, men igjen ville en større modell med detaljer for langt innover i sidegatene gitt mye arbeid, og det er vanskelig å si om verdiene ville ha blitt korrekt uansett. Det vil bli gjort tester med forskjellige ende-gate-verdier for å se hvor stor påvirkning denne faktoren har. Man må nesten ha en helt nøyaktig modell med helt nøyaktige material-detalljer for å kunne løse dette ideelt, men arbeidsmengden vil bli meget stor. Derfor vil forenklinger være nødvendig.

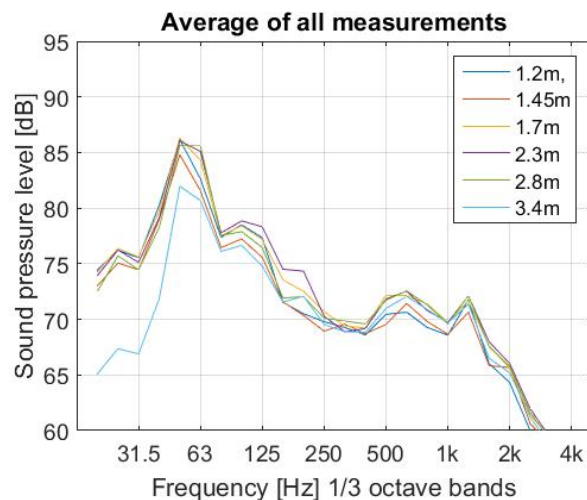
Overflate	Spredning
Publikumsområde	0.600-0.700
Bygg-struktur(0.5m dyp)	0.400-0.500
Bokhylle med bøker	0.30000000
Murstein med åpne ledd	0.20000000
Murstein med fylte ledd	0.10000000
Glatte overflater	0.020-0.050
Malt betong	0.005-0.02

Tabell 3.6: Generell spredning

4. Resultater og diskusjon

4.1 Måleoppsett 1

I figur 4.1 vises gjennomsnittsmålingen for måleoppsett 1. Her er måleresultat fra alle kjøretøy for alle 6 mikrofonhøyder representert i forskjellige farger. Man ser at alle mikrofonene følger hverandre i stor grad, så man kan anta liten spredning av resultatene for de forskjellige mikrofonene. Ved resultatene til mikrofonen plassert ved 3.4 m ses en stor forskjell fra de andre mikrofonene. Ved 20 Hz er differansen hele 10 dB. Denne differansen skyldes ikke tap på grunn av lengre avstand fra kilde, og gir grunn til å tro at noe spesielt har skjedd ved målingen for mikrofon ved 3.4 m. Denne måle-høyden er ganske lik høyden til de to forskjellige trikketypene og kan skyldes endring i lydfeltet på grunn av dette. Etter måling ble det funnet at måling ved 3.4 m hadde blitt gjennomført med A-vektet filter på Front-End, men dette ble kompensert for i analysen.



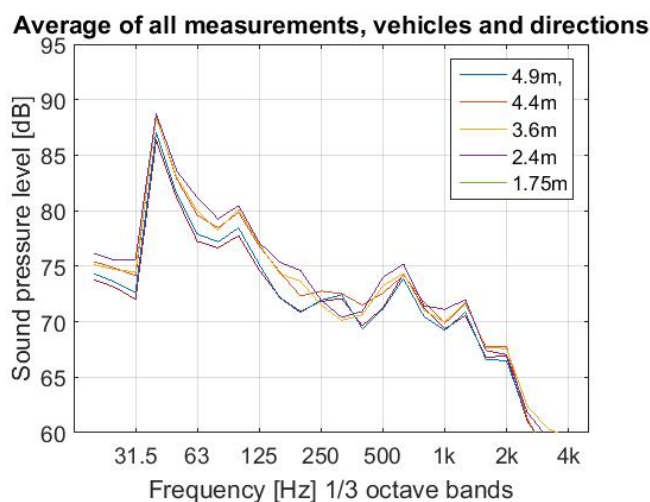
Figur 4.1: Gjennomsnitt mikrofoner måleoppsett 1, alle kjøretøy og retninger

I analysen ble A-vektinga kompensert for i henhold til standard for A-vektede verdier, men resultatet ble slik det ble og det var en tanke om at kanskje ikke enheten produserte en ren A-vekting. Var det feil i enhet, eller var det en reell endring i lydfeltet for de lave frekvensområdene? På grunn av disse usikkerhetene, samt at trikkenes høyde var ved grensen til maksimal høyde for måleoppsett 1, ble det bestemt at måleoppsett 2 skulle gjennomføres. Da ville man kunne se på

lydfeltet høyere opp langs fasaden og se om endringen i lydfelt var reell.

Analysen av resultatene vil i hovedsak gå på resultatene fra måleoppsett 2. Dette er på grunn av årsakene nevnt ovenfor, men også at måleoppsett 2 ses på som bedre. Dette fordi man kun har plasseringsmessig endring i vertikal retning fordi mikrofonene står i samme stativ. Dette vil derfor begrense differanser i resultat som følge av endring/forskjeller på fasade, samt bedre snittmålinger av trikke- og busspasseringer. Ved måleoppsett 1 var målegrensene litt diffuse, da mikrofon-oppsettet sto plassert over en større lengde bortover fasaden.

Resultater fra måleoppsett 1 samsvarer i stor grad med resultatene fra måleoppsett 2. Dette gjelder for alle de 6 forskjellige kjøretøy-retningene (kjøretøy og dets retning), dog med mindre nøyaktighet. Det er større lokale variasjoner for målingene ved måleoppsett 1. Det finnes topper ved de samme frekvensområdene, og likheten mellom de samme kjøretøyretningene for begge måleoppsett, er stor.



Figur 4.2: Gjennomsnitt mikrofoner måleoppsett 2, alle kjøretøy og retninger

4.2 Måleoppsett 2

I figur 4.2 ser man gjennomsnittsverdiene for de 5 mikrofonene, for alle målinger gjennomført med måleoppsett 2. Dersom man sammenligner dette med figur 4.1 diskutert ovenfor, ser man at likheten er slående. Ved måleoppsett 1 viser det seg at det er større variasjon mellom mikrofonhøydene med tanke på spektrumsendring, dette til tross for at det er lavere differanse mellom mikrofonhøydene. Dette kan forklares med dårligere oppsett og metode. Generelt kan man si at med større geometrisk avstand mellom mikrofoner vil det gi større mulighet for forskjellige verdier mellom to mikrofoner.

Verdiene for mikrofon ved 3.1 m i måleoppsett 2 viser en 10 dB forskjell ved 20 Hz i likhet med målingene ved 3.4 m for måleoppsett 1. Denne likheten fortsetter opp til omtrent 80 Hz for begge måleoppsett. Etter 80 Hz ser det ut til at resultatet fra mikrofon ved 3.1 m oppfører seg på lik

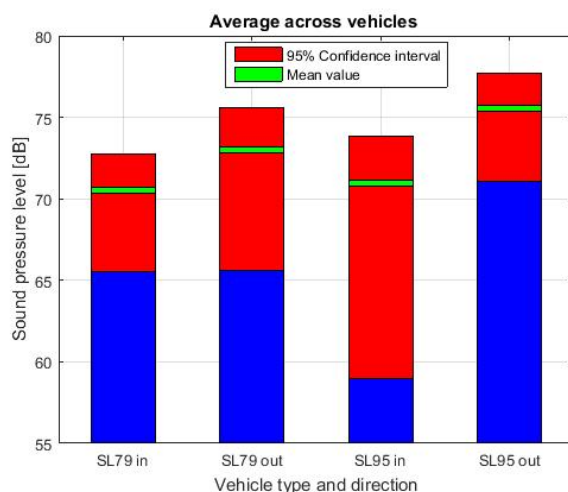
linje med måleresultat for de andre høydene. Skjer det noe spesielt mellom 3.1 m og 3.4 m, som påvirker de laveste frekvensområdene?

Måling ved 2.8 m i måleoppsett 1 og måling ved 3.6 m i måleoppsett 2 viser ingen tilnærming til samme oppførsel som ved 3.4 m og 3.1 m ved henholdsvis måleoppsett 1 og 2. Trikkene har høyde på 3.41 m og 3.62 m. Dessuten gjentar feilen seg for alle kjøretøyretninger. Ovenfor er det nevnt A-vektings-problem, men siden en tilnærmet lik oppførsel viser seg ved måleoppsett 2 kan ikke dette sies å være grunnen.

Siden feilen gjentar seg for begge måleoppsett, og A-vekting ikke ble gjort i måleoppsett 2, antas kompenseringen for A-vekting gjort i måleoppsett 1 å være god nok. Det er også ingen grunn til å tro at det skjer noe spesifikt akkurat ved 3.1 m og 3.4m, da høyden på kjøretøyene varierer. Likevel er den samme 10 dB differansen tilstede for alle retninger og kjøretøy. Det kan virke som en defekt mikrofon, eller at kalibreringen ikke har vært mulig å få nøyaktig nok i de laveste frekvensområdene. Målinger fra mikrofon ved 3.1 m i måleoppsett 2 er fjernet fra figuren.

4.2.1 Konfidensintervall

I figur 4.3 ser man 95 % konfidensintervall for målingene gjort ved måleoppsett 2. Intervallet består av det røde området både over og under middelverdien fra målingen i grønt. 95 % konfidensintervall betyr at man med 95 % sannsynlighet kan si at neste måling vil lande innen dette røde intervallet. Den øvre delen av intervallet kan virke å være mindre enn det nedre, men dette er grunnet forskjell i desibel [dB] som har logaritmisk skala.



Figur 4.3: 95 % konfidensintervall, Måleoppsett 2

Man ser at det er varierende intervall for de forskjellige trikke-retningene. SL95 inn har størst intervall med hele 13 dB differanse. SL95 ut har det laveste intervallet av alle kjøretøyretninger med kun 6.2 dB. I tabell 3.4 fra kapittel 3.3.2 så man mengden målinger for de forskjellige kjøretøyretningene. Selv om målinger av SL95 var forventet å gi mest stabilt gjennomsnitt, gir SL95 inn-målingene størst usikkerhet (stort konfidensintervall). Men, med kun 3 målinger for

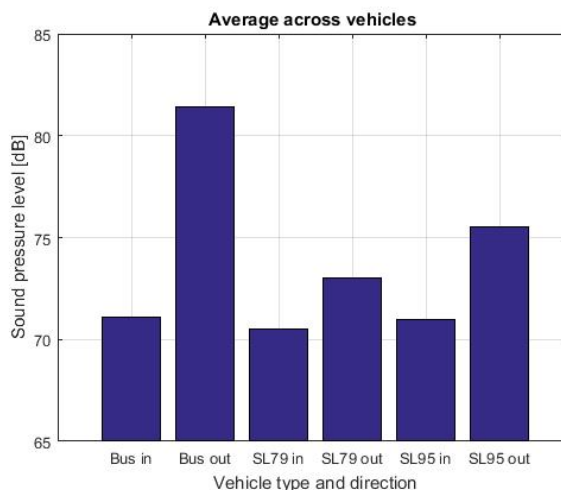
denne passeringen er det ikke annet å forvente. Færre målinger vil typisk gi større konfidensintervall. SL79 ut hadde størst mengde målinger, men likevel gav SL95 ut bedre resultat, noe som stemmer overens med de forventningene gjort i kapittel 3.3.1. Nivåene er også størst for SL95.

For hele måleoppsett 1 var måleusikkerheten for stor til å kunne si noe om konfidensintervall. Tallene gikk over skalaen og gav meget stort konfidensintervall. Stort konfidensintervall/usikkerhet skyldes i stor grad en dårligere målemetode, men samtidig så er det også færre måleresultat for noen av kjøretøyretningene. Et lavt antall målinger vil gi en høyere konstant T_p for teoretisk konfidensintervall gitt ved formel 2.13. Alle målingene i måleoppsett 1 hadde målemengde \geq (SL95 inn måleoppsett 2), dog SL95 inn hadde stor nok sikkerhet i målingen til å kunne estimere et 95 % konfidensintervall. Dette tyder på at måleoppsett 2 gav mer nøyaktige måleresultater.

For måleoppsett 2 er konfidensintervall for buss utelatt da usikkerheten for disse var for stor. Bussene kan endre bane/felt, noe som skjedde da målepersonell og utstyr sto meget nært vegen. Trikkene derimot, var avhengige av å følge skinnene. Dette kan føre til større forskjell mellom målingene i forhold buss. To forskjellige busstyper er også analysert sammen. Dette vil påvirke resultatet.

4.2.2 Gjennomsnitt

I figur 4.4 ser man gjennomsnittlig verdi for de forskjellige kjøretøy. Det er et gjennomsnitt over alle mikrofoner og frekvensområder, samt over alle de forskjellige målingene i måleoppsett 2. Det er tydelig at alle "ut"-retninger gir høyere verdi enn fra inn-målingene med verdier fra 3 dB til 10 dB høyere enn for målingene av kjøretøy på vei inn. For målingene av buss sammenlignet med målingene av trikkene ser man at både inn- og ut-målinger er høyst for de respektive retninger. Dette er interessant med tanke på at trikken oppleves som en større støykilde. Alle inn-målinger ligger meget nært hverandre med en differanse på kun maksimum 1 dB.

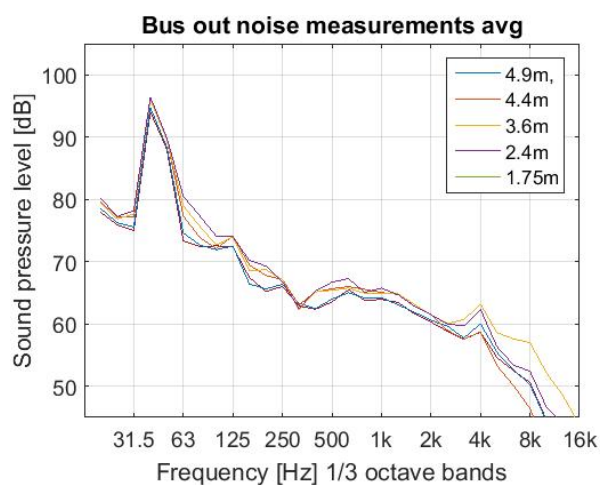


Figur 4.4: Snittverdi for kjøretøyretninger

4.3 Frekvensinnhold

4.3.1 Buss

Buss er målt til, som nevnt i avsnitt 4.2.2, størst nivåer både for inn- og utpasseringer. Med trikkestøy får man støyen i kombinasjon med vibrasjoner som går via hjul-skinne-bakke og man kan føle at lyden virker kraftigere enn hva den er. Buss går på vanlige gummi-dekk som demper og begrenser mengden vibrasjoner som skapes i bakken. I figur 4.5 ser man kilden som bidrar til at gjennomsnittlig verdi for buss er høyest. Det er en kraftig støykilde ved omtrent 40 Hz som ligger godt over nivået til resten av frekvensene.

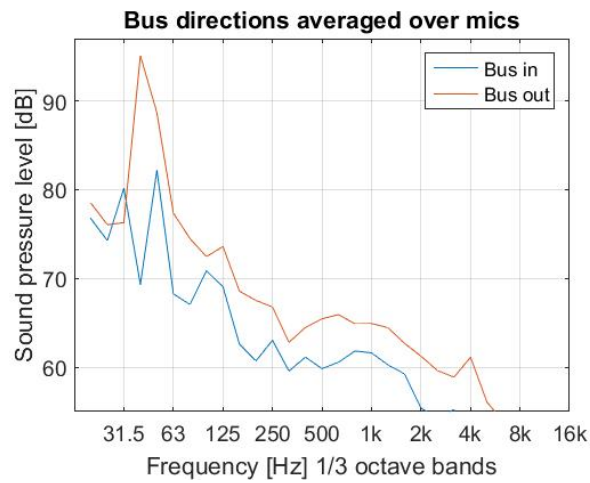


Figur 4.5: Snittmåling for busspasseringer ut av Storgata

Denne frekvensen kan oversettes til et turtall på 2400 RPM i bussmotoren. Det er ikke uvanlig for bussene som passerer å bremse litt foran måleoppsettet, for så å akselerere når sjåfør føler han har kontroll over passeringen. Det at trikken oppleves mer støyende kan kanskje forklares med spekteret til trikkens støy, da støyen til trikk er spredt over flere frekvenser som vi skal se i senere avsnitt. Bredt spekter i kombinasjon med vibrasjoner i bakken kan være forklaring på opplevd støynivå. Det skal også nevnes at målingene av buss hadde udefinert konfidensintervall og derfor har resultater som er mer usikre.

Bussene som brukes i Oslo er av typen MAN Lion City-buss. På bussenes høyre bakende er det en utgang for HVAC(Heat, Ventilation and Air Condition) som kan være grunn til støy. HVAC-utgangen ved høyre side av buss forklarer også den store forskjellen på spekteret til passeringer inn og ut som vises i figur 4.6.

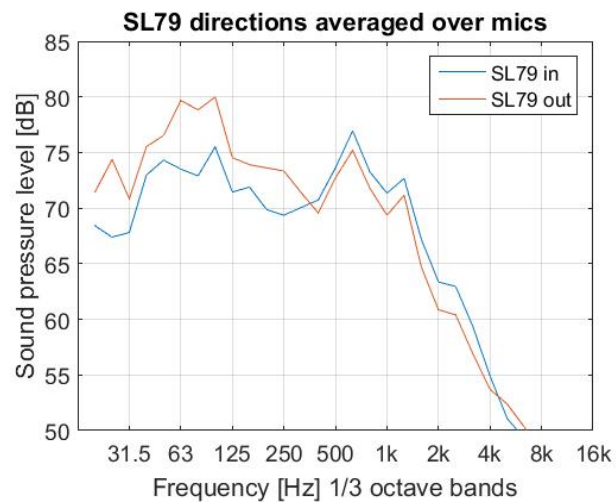
Passeringene til "Buss-ut" gjøres nærmest måleoppsettet, og bussens høyre-side står direkte mot mikrofonene. Når en buss bremser og så akselererer vil man høre en mørk lyd fra motoren og da tydelig fra HVAC-ventilasjonsrist på høyre side. Ved motsatt passering vil HVAC på høyre side av bussen ikke kunne påvirke målingene i like stor grad, da utslippet er på motsatt side i forhold til måleoppsettet.



Figur 4.6: Buss-støy

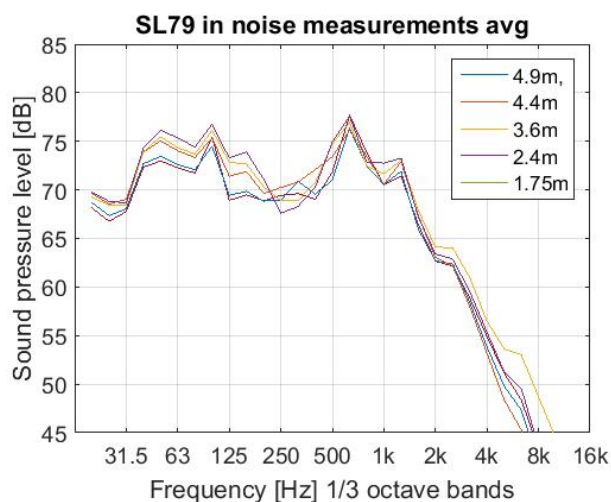
4.3.2 SL79 inn

I figur 4.7 ser man en graf som sammenligner de forskjellige retningene til SL79. Spekteret for begge retninger er tydelig likt, dog det er større variasjoner for de laveste frekvensområdene.



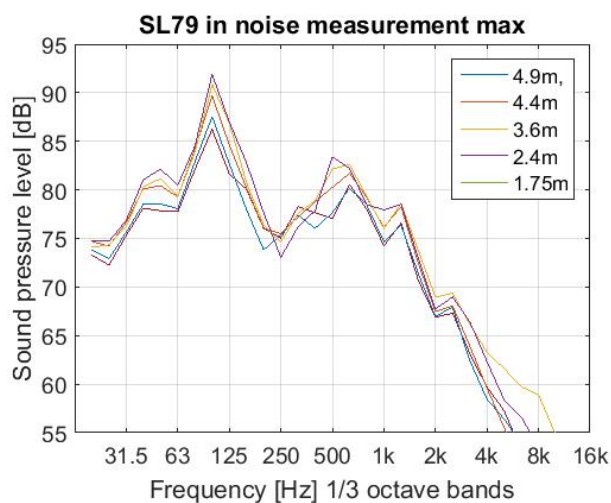
Figur 4.7: Retninger for SL79

Det er tydelig fra figur 4.4 at målingene for ut-kjøring for de fleste kjøretøyretninger i snitt ligger over inn-målingene. Hvorfor er det slik at dette ikke stemmer for SL79 over 400 Hz?



Figur 4.8: SL79 inn

Ved å se på figur 4.8 ser man måleresultatene for en SL79 på vei inn. Dette er gjennomsnitt over passering (AvnOct). I figuren ser man støy fra ca 50-125 Hz med en topp på 100 Hz. Dette frekvensområdet er typisk for rulle-støy, altså støy skapt av kontakten mellom hjul og skinner for trikken. Den største kilden finner man ved 600 Hz.



Figur 4.9: Maksimumsverdier SL79 inn

Men dersom man ser på figur 4.9, ser man en stor forskjell ved rulle-støy-området. Denne figuren viser gjennomsnitt av maksimumsverdiene for hver passering. Her er det rullestøyen som dominerer ved 100 Hz. Støyen ved 500-600 Hz er fortsatt tydelig. Dette kan mest sannsynligvis forklares ved at kilden ved 600 Hz er motor-støyen, mens de største lydkildene kommer fra rullestøy. Motor-støyen vil være stabil og gi et høyt gjennomsnitt, mens rullestøy vil variere

avhengig av skinnene og hastighet og derfor gi en lavere gjennomsnittsverdi.

4.3.3 Rullestøy

Trikkeskinner blir etter bruk ruglete. Det er flere grunner til at slikt kan skje, men to av disse er følgende:

- Ved sveiseledd mellom to skinner, vil man få et lite støt i hjulboggien ved passering. (dunk-dunk-lyd man hører ved f.eks tog) Dette kan sette igang en svinging i boggiens fjæring og da føre til varierende trykk fra trikk/tog mot skinnen i avstander etter leddet. Dette kan skape bølgeformer på grunn av forskjellig grad av slitasje på skinnen.
- I stigning vil man, ved stopp, påføre en viss grad av slitasje når trikk starter/akselererer. Dette skjer typisk ved stasjoner som står i helning slik at sporet vil bli slitt i sterkere grad på grunn av start i stigningen[19].

Når trikker passerer over skinner som har blitt ruglete, vil dette skape rullestøy. Dess verre skinnen er, dess større mengde støy vil en trikkepassering skape. Hjulene vil slå imot hakk/former i skinnen som en hammer og "hoppe" på skinnen.

Trikkeskinner høvles jevnlig av Sporveien Oslo for å fjerne ruglene, da det sliter på både hjul og trikk, samtidig for å minske mengden støy. I figur 4.10 ser man tydelig slitasje på trikkeskinnen, og det kan sies at slitasjen er grunn til større mengde rullestøy.

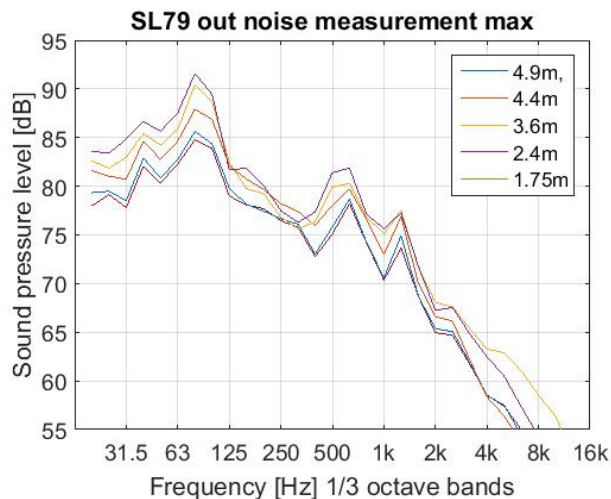


Figur 4.10: Trikkeskinner i bygate i Oslo. Tatt ved annen anledning av Sigmund Olafsen

4.3.4 SL79 ut

For målinger ved SL79 på vei inn(max) ser man en tydelig topp ved 100 Hz. Men denne toppen er ikke like godt representert ved SL79 ut(max) i figur 4.11. Her ser man et bredere spekter representert, dog sentrert ved samme frekvensområde. Det er høye måleverdier fra 63-80-100 Hz. Dette er rullestøy, som definert ovenfor. Bakgrunnen til at spekteret er bredere for målingen av SL79 på vei ut av gaten, er at kjøretøyet passerer med varierende hastighet. På det smaleste ved måleområdet, like ved det såkalte "utstikket", er det kun 1.8 m fra fasade til trikk. Her blir trikkefører nødt til å justere hastighet for å ikke kjøre på forbipasserende personer. En god del utstyr på gangveien gjorde også fortauet smalere for forbipasserende, slik at man måtte gå meget nært veien for å komme forbi. Førerne var på vakt.

Ved ut-passeringer er det også stigning oppover i Storgata. Selv om denne er liten, kan det kanskje påvirke slitasten på trikkeskinnen.



Figur 4.11: Maksimumsverdier SL79 ut

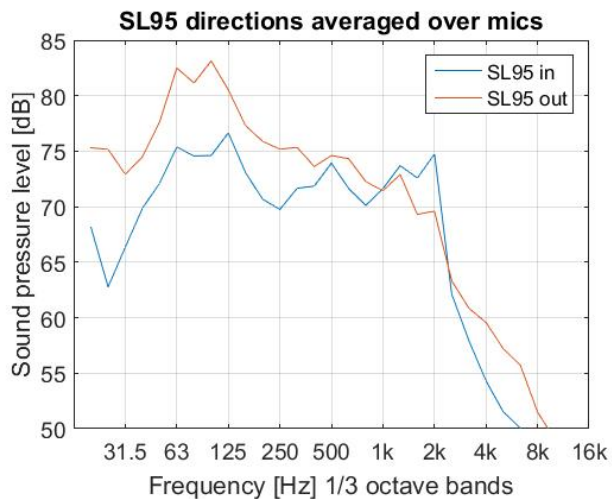
Varierende hastighet på trikk vil gi et bredere snitt over mengden frekvenser, da hjulene ruller over eventuelle ujevnheter på skinnen med forskjellig hastighet, og hjulene slår da mot eventuelle ujevnheter i varierende frekvens. På den andre siden av gaten var det mulighet til å kjøre med jevn hastighet uten frykt for å kjøre på mennesker og utstyr.

Denne kjøringen med større forskjell i hastighet kan i lengden også føre til at banen slites raskere ved ut-kjøring slik at støymengden øker. Merk at grafene ovenfor er max-målinger. En gjennomsnittsmåling vil gi lavere verdier for begge grafene.

Etter 400 Hz er måleverdiene for SL79 inn og SL79 ut så og si identiske. Det er en topp ved 600 Hz som skiller seg ut, og en mindre topp ved 1250 Hz. Switching i motor og bremsing kan være grunn til disse frekvenstoppe.

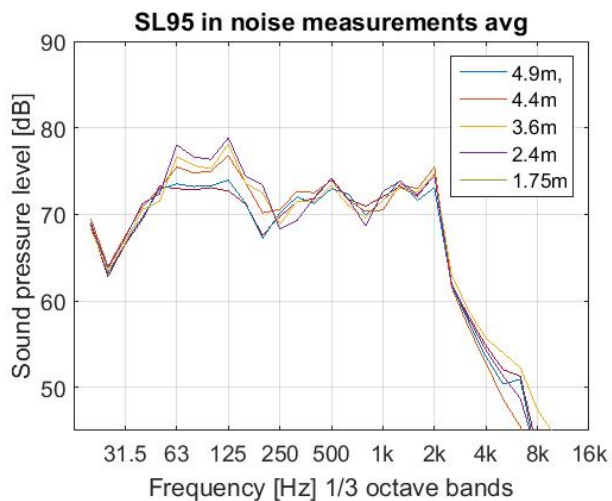
4.3.5 SL95

I figur 4.12 ser man et gjennomsnitt av verdiene for SL95 på vei inn og ut av storgata. På samme måte som med målinger for SL79, er det overraskende nok høyere verdier for trikkepassering inn til storgata, enn ut av storgata, for høyere frekvensområder.



Figur 4.12: Gjennomsnitt retninger SL95

Figur 4.13 viser tydelig at de fleste mikrofoner følger samme gjennomsnitt. Ved 63-125 Hz, 500 Hz, 1250 Hz og 2 kHz er det tydelige topper.



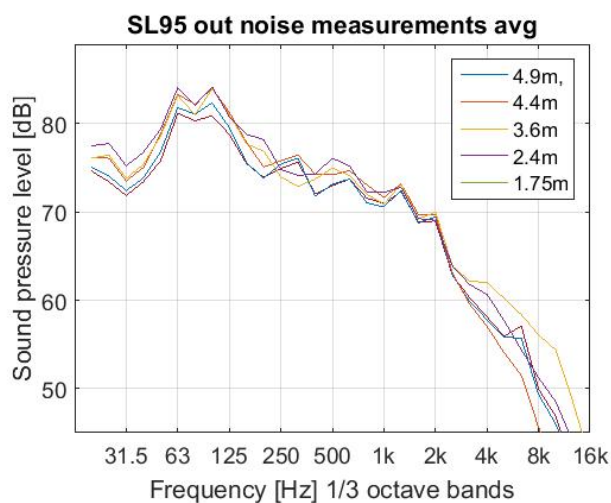
Figur 4.13: Gjennomsnittsverdier for SL95 inn

For de laveste frekvensene er det rullestøy som er kilden. Dette kan sies da hjulene vil slå imot ruglete skinner på samme måte som for en SL79, dog med varierende nivå grunnet vekt- og

størrelsesforskjeller. I likhet med SL79 fins det kilder ved omtrent 500 og 1250 Hz, men det er målinger ved 2 kHz som skiller seg ut.

SL95 er tyngre, bruker lengre tid/mer energi på å akselerere og å bremse. Dette kan forklare bredden til toppene ved 63-125 Hz. Bremsing kan forklare kilden ved 2 kHz for inn-passeringer, basert på samtaler med teknisk ansvarlig ved Oslo sporveier.

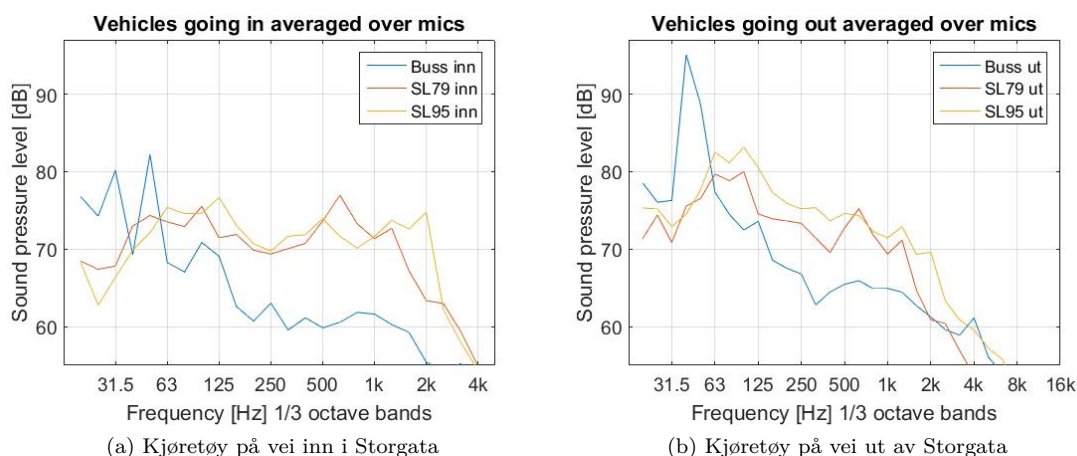
Siden SL95 er mye tyngre vil det kreve mer av motor for å bremse. Trikkene går på strøm, og man bruker motoren aktivt til å bremse trikkene. Dette kalles regenererende bremsing, siden man bruker motoren som generator for å bremse. Figur 4.14 viser gjennomsnittsmålingene for ut-passeringer. Sett bort fra rulle-støyen er det ingen dominerende kilder, og man har et ganske "flatt spekter" opp til 2 kHz.



Figur 4.14: Gjennomsnittsverdier for SL95 ut

4.3.6 Retningsbaserte grafer

I figur 4.15a og 4.15b ser man gjennomsnitt for de 3 kjøretøyene i henholdsvis ut- og inn-retning. Det går tydelig fram fra figurene at ut-passeringer har høyere snittverdi, og at det i hovedsak er de laveste frekvensområdene som dominerer. For inn-passeringer har man flatere spekter og høyere frekvenser er bedre representert for trikk.



Figur 4.15: Sammenligning mellom inn- og utpasseringer

I de lavere frekvensområdene er det motorstøy fra buss og rullestøy fra trikk som dominerer. Busser har HVAC på høyre side, og dette kan være grunn til den store forskjellen ved 40 Hz for inn- og ut for buss. SL79 har tydelige topper ved omtrent 500-600 Hz både inn og ut, og ut ifra samtaler med Helge Solum, teknisk ansvarlig ved Sporveien Oslo, kan dette skyldes en 3-fase-roterende omformer og 2 choppere som "hakker opp" strømmen for bruk i motor. Dette bør utprøves for å finne ut om det stemmer.

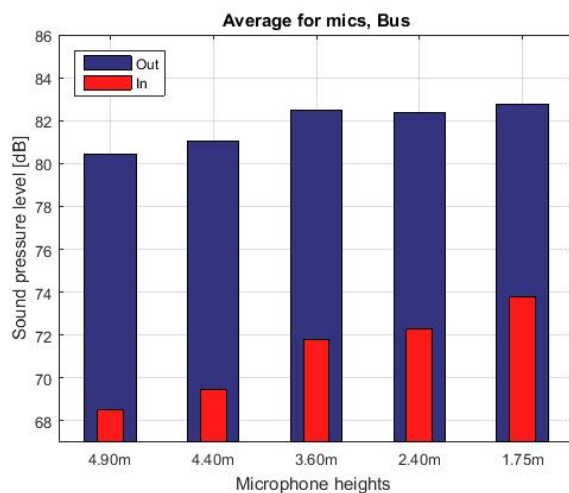
SL95 har ved inn-passering høye verdier ved 1250 Hz og 2 kHz. Disse punktene vises også i grafene for inn-passering av SL79, men i mindre grad. Disse resultatene gjengår i målingene for utpassering, men er ikke like tydelige. Disse toppene ved 2 kHz og 1250 Hz kan derfor skyldes bremsing. Siden SL95 er tyngre, og det heller litt nedover ved inn-passering, vil SL95 måtte bremse jevnt i en større grad enn SL79, og derfor er toppene mer tydelige for SL95.

Selv om buss har et resultat fra målingene hvor total gjennomsnittsverdi tatt over frekvenser er høyere enn målinger for trikk, er det forståelig at trikk oppleves som høyere. Trikken har jevnt over støy i flere frekvensområder med et flatere spekter. Dessuten inngår også vibrasjon som en del av støyen, og dette vil påvirke opplevelsen av lyd. Et meget viktig poeng å få med er at buss har størst konfidensintervall og derfor kan det sies at måleresultatene for buss er mest usikre. Skal man med sikkerhet kunne si noe om nettopp dette, bør det gjennomføres flere målinger.

Ingen av disse resultatene er helt sikre. Målinger på og ved de spesifikke kildene som er antatt her må gjennomføres for å kunne bevise disse teoriene. For eksempel ved å måle direkte ved skinner, måle ved motor, måle ved HVAC, måle på trikk under kraftig bremsing, akselerering og normal hastighet.

4.4 Gjennomsnittlig måleverdi for mikrofoner

4.4.1 Buss



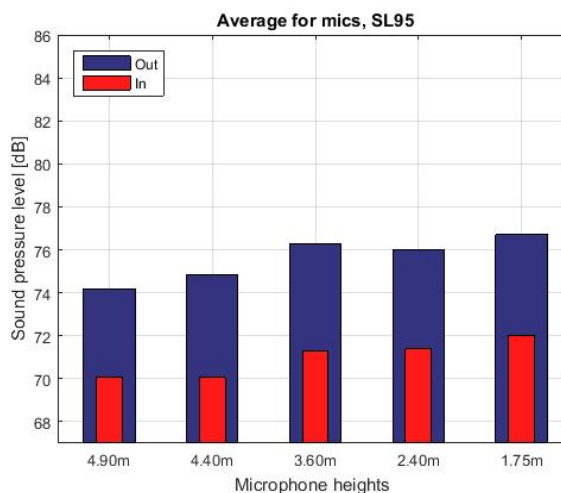
Figur 4.16: Snitt mikrofoner, buss

I figur 4.16 ser man gjennomsnittlige verdier for de 5 forskjellige mikrofonene, både for inn- og utgående buss. Resultater fra mikrofon ved 3.1 m er fjernet fra grafen, da målinger fra denne ses på som feil.

Her forventes tilnærmet lineær økning i måleverdi fra mikrofon ved 4.9 m til mikrofon ved 1.75 m. I stedet er det, for verdiene til buss ut, en minking av verdi fra 3.6 m til 2.4 m. Her er det snakk om at en mikrofon som står lengre unna bakken får høyere verdi. For busser kan dette være logisk, da HVAC og opplevd lyd kommer fra litt oppe på bussen, men bussene er ikke over 3.6 m høye. Derfor er det grunn til å tro at det skjer noe mellom kjøretøy og fasade.

4.4.2 SL95

For trikkene derimot, er kilden i hovedsak definert ved bakkenivå på grunn av hjul-skinne og hjul-boggiene. I figur 4.17 ser man de gjennomsnittlige verdiene for de 5 forskjellige mikrofonene for SL95. Både inn- og ut-retning er definert i grafen ved henholdsvis rød og mørkeblå farge. I figuren gjengår den samme oppførselen for mikrofonene ved 3.6 m og 2.4 m som i målingene for buss. Man har en økning i verdi ved en mikrofon som står lengre unna bakken og da spesifikt kilden. Dette gjelder både for inn- og ut-passeringer.



Figur 4.17: Snitt mikrofoner, SL95

Siden SL95 har målingene med lavest konfidensintervall og de samme resultatene oppstår for målinger ved buss er det grunn til å tro at lydfeltet mellom kjøretøy og fasade vedlikeholdes på grunn av refleksjoner, resonanser og en slags etterklang. Det har ikke vært noen spesifikke frekvenser som har skilt seg ut for enkelte mikrofoner, så det er vanskelig å si noe om spesifikke resonanser.

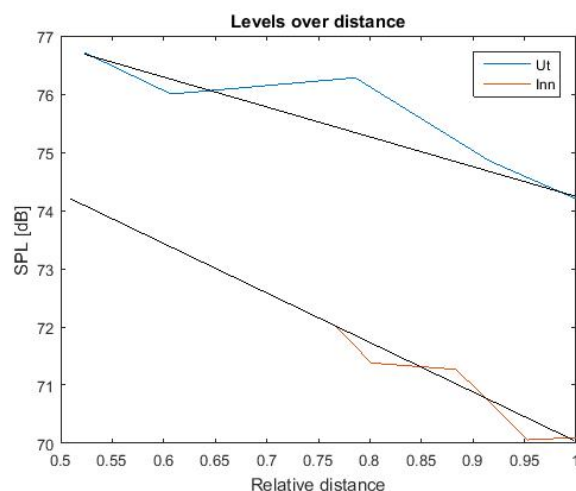
Målinger av SL95 vil bli brukt for videre analyse på grunn av lavest konfidensintervall.

Avstandsdemping

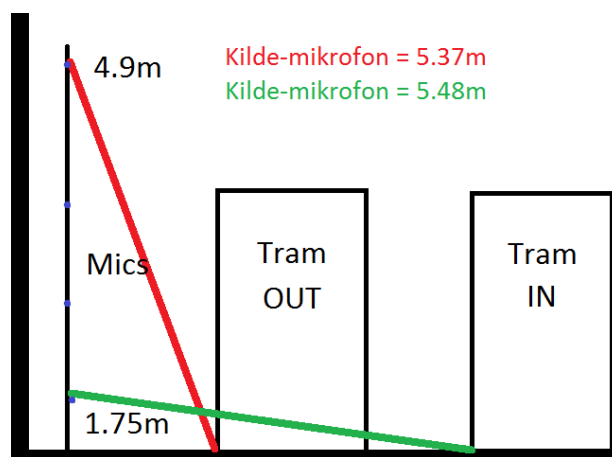
For en avstandsdobling fra kilde til mottaker, vil lyd i teorien dempes med 6 dB. Dette er ikke tilfellet her. For utpasseringer fra mikrofon 6 (høyde 1.75 m) med avstand 2.81 m til kilde, til mikrofon 1 (høyde 4.9 m) med avstand 5.37 m til kilde, har man en tilnærmet dobling av avstand gitt i tabell 3.3, og her ligger differansen mellom målingene omtrent ved kun 2 dB for SL95 ut.

Noe som er interessant med mikrofongjennomsnittene er at differansen mellom inn- og utpasseringer ser ut til å være lik for alle 6 mikrofoner. Dette til tross for at avstanden fra en kilde definert ved bakken til mikrofonene blir forskjellig for inn- og utpasseringer. Trikken er 5.2 m unna måleoppsett ved inn-passering, og bare 2.2 m unna ved ut-passering.

Lydtrykksnivå i forhold til normalisert avstand er grafet i figur 4.18 hvor man ser både dempingen for inn - og utpassering relativt til avstand. Det er trukket en rett linje mellom ytterpunktene for å representere den dempingen. Man ser at det er større grad av demping for inn-passeringer, grafen har brattere nedgang. Dette er ikke ulogisk. Trikkene passerer lengre unna måleoppsettet, noe som vil svekke et eventuelt lydfelt som ”lever” på refleksjoner og klang mellom fasade og trikk.



Figur 4.18: Relativ demping over avstand, SL95 inn og ut

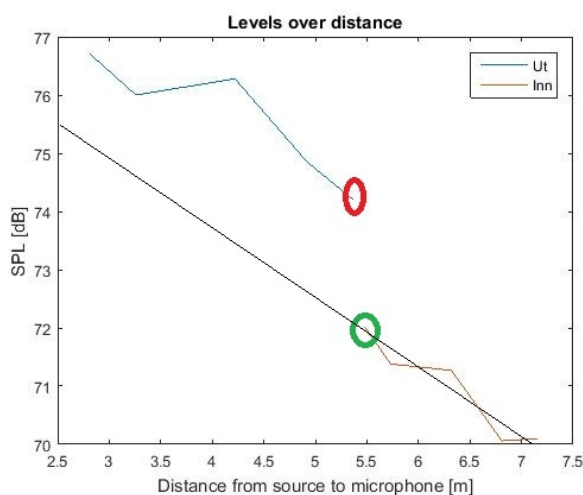


Figur 4.19: Lik avstand mellom mikrofoner, SL95 inn og ut

Dersom demping over avstand var lik mellom inn- og ut-passering, burde resultater fra en ut-passering ved mikrofon 6 (Avstand kilde-mikrofon = 5.37 m) ha vært lik resultater fra en inn-passering til mikrofon 1 (Avstand kilde-mikrofon = 5.48 m). I figur 4.19 ser man disse to mikrofon-avstandene representert, hvor rød og grønn linje er tilnærmet like i lengde. Denne

figuren viser to trikker i gaten samtidig, og er kun for å vise de relative avstander. I realiteten ble målinger tatt ved tidspunkt da kun en trikk var i nærheten av måleområdet. Tallene for mikrofonavstandene er tatt fra tabell 3.3.

Resultatverdiene for inn- og utpassering med mikrofonavstander er vist i figur 4.20. Disse resultatene er gitt ved at man antar at kilden befinner seg langs siden av trikken, ved bakkenivå. I denne figuren, hvor avstand fra kilde til mikrofoner for inn- og utpassering er framvist, ser man at ved omtrentlig samme mikrofonavstand for en inn- og utpassering er det en forskjell på over 2 dB i målingene.



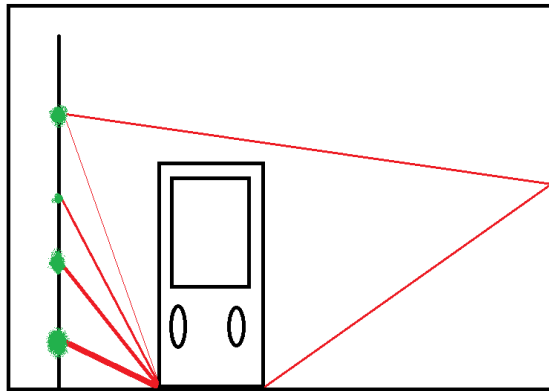
Figur 4.20: Demping over avstand, SL95 inn og ut

Med disse figurene og resultatverdiene ser man at passeringer ut av storgata i sterkere grad har "fasade på begge sider" ut i fra antakelsene gjort i kapittel 1. Dette kan sies fordi nivåene for mikrofonmåling er høyere selv ved omtrent samme avstand fra mikrofon til kilde. Det er dog vanskelig å sette noen nøyaktige tall på dette, annet enn at man kan si at egenskapen finnes. Hvor langt unna en fasade må den andre fasaden være for at avstandsdempningen skal være normal?

Refleksjon fra motsatt side

Ved resultater fra SL95, både inn og ut, har man sett at verdien øker for mikrofoner høyere opp (3.6 m) på fasaden i forhold til mikrofonene nærmere kilden. Grunnen til dette kan være at refleksjoner fra andre siden av gaten vil påvirke verdiene til mikrofoner som står i høyde eller over høyden til trikkene. 3.6 m er i grensen til høyden på SL95, og siden verdien øker her, kan dette være forklaringen. Diffraksjon fra selve hjørnet på taket til trikken er også en mulighet.

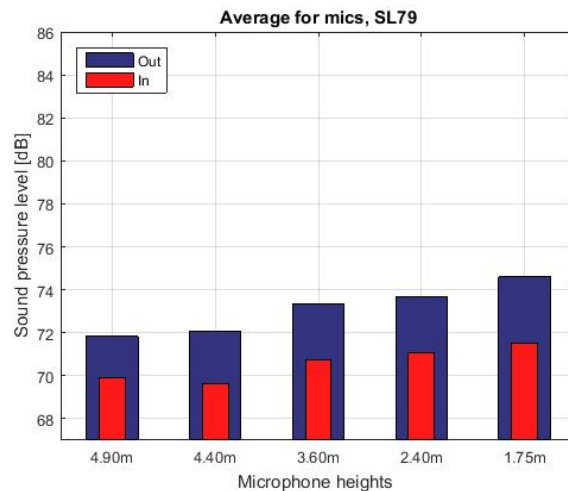
I figur 4.21 ser man en trikk med røde lydbølger strålende ut fra skinnene. Mottatt signal ved mikrofonene er farget i forskjellige størrelser av grønt. Her vil avstandsdemping påvirke de forskjellige mikrofonene, men siden mikrofonen som står høyere enn trikken blir påvirket av refleksjoner fra andre siden av gaten, vil denne ha høyere nivå enn mikrofonen nedenfor.



Figur 4.21: Refleksjon fra fasade på motsatt side av gaten kan påvirke måleverdiene til mikrofoner som står høyere på fasaden enn trikkens høyde

4.4.3 SL79

I figur 4.22 ser man mikrofonsnittverdiene til SL79. Grafen viser en tilnærmet lik oppførsel til resultatet fra SL95, og det er overraskende liten forskjell mellom målinger for 2.4 m og 3.6 m. I dette tilfellet kan det være at effekten av refleksjoner fra motsatt side blir mindre tydelige, siden SL79 er lavere enn SL95. Det er hvertfall lav geometrisk dempning og et klart skille mellom målinger under og rundt trikkehøyde, og målinger over trikkehøyde. Siden differansen mellom mikrofonverdier for inn- og utpasseringer er tilnærmet lik for målinger for SL79 også, i likhet med for SL95, kan man si at avstandsdempningen for inn-passeringer er større enn for ut-passeringer.



Figur 4.22: Snitt mikrofoner, SL79

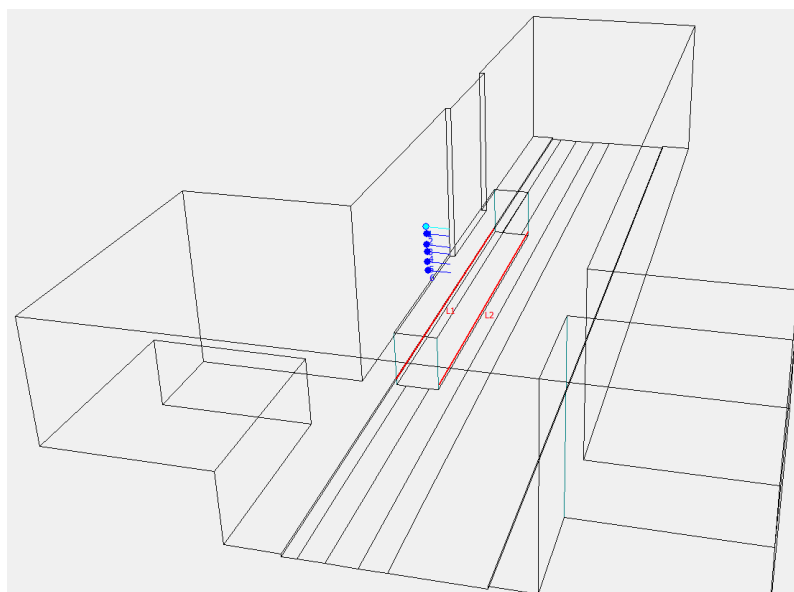
4.5 Resultater basert på simulering med geometrisk akustikk

For hver av de to trikketyperne er det laget to forskjellige modeller i Sketchup. Trikkene modelleres som rektangulære bokser plassert i gaten i sporene for inn- og ut-passering. Disse boksene har lik form som trikkene i høyde, bredde og lengde. Modellen fra Sketchup blir importert inn til Odeon. Kildene er plassert litt opp fra bakkenivå for å unngå kantsten ved siden av trikkene. Siden lydilden fra trikken i hovedsak ikke kun består av hjul-skinne-kontakt, men også motoren inne i trikken, anses dette som en grei måte å representere trikken som kilde på.

For kildens nivåer brukes resultater i $\frac{1}{3}$ -oktavnband fra målingene. Disse er regnet om til $\frac{1}{1}$ -oktavnbandsverdier ved å bruke formel 2.7. I tabell 4.1 vises kildnivåene for oktavnband.

Kjøretøy	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz
SL79 inn	74.97	78.39	78.13	74.54	79.27	77.28	69.73	61.14	50.79	36.83
SL95 inn	72.02	79.01	79.80	75.54	77.37	76.84	76.96	60.15	51.20	36.14
SL79 ut	78.78	83.32	81.84	77.67	77.84	75.67	67.22	59.54	53.14	42.43
SL95 ut	79.10	85.64	85.71	80.26	78.98	77.02	72.97	64.24	57.75	44.84

Tabell 4.1: Oktavnbandsverdier [dB]



Figur 4.23: Eksempel Odeon

I figur 4.23 ser man en modell tatt fra Odeon hvor SL79 på vei ut er representert. De blå prikkene er mikrofonene med plasseringer som angitt i tabell 3.3.

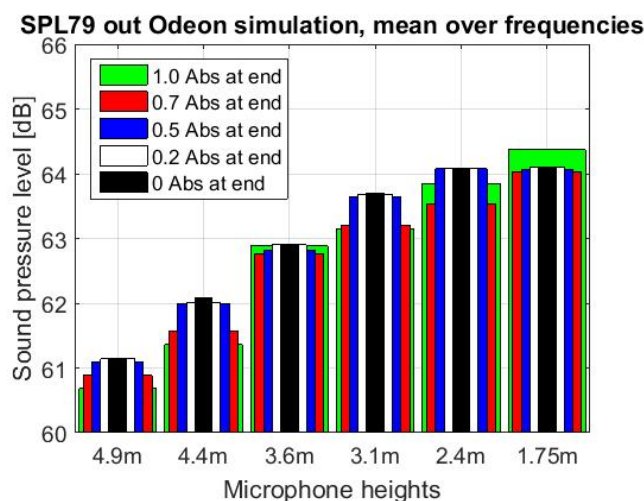
Det største arbeidet med Odeon gikk på å finne materialverdier som absorpsjon og spredning ved forskjellige flater. Det er tross alt disse egenskapene, sterkt knyttet til geometrien, som påvirker hvordan lydfeltet blir å oppføre seg.

4.5.1 Overflatenes påvirkning av absorpsjon

I dette delkapittelet er det fokus på å teste forskjellige absorpsjoner for de forskjellige flatene i modellen. Himmell og endegater er to store delområder som har blitt forenklet i stor grad, og det er derfor fokusert på endringer ved disse flatene. Resterende verdier er basert på de valgene gjort tidligere, vist i tabell 3.5.

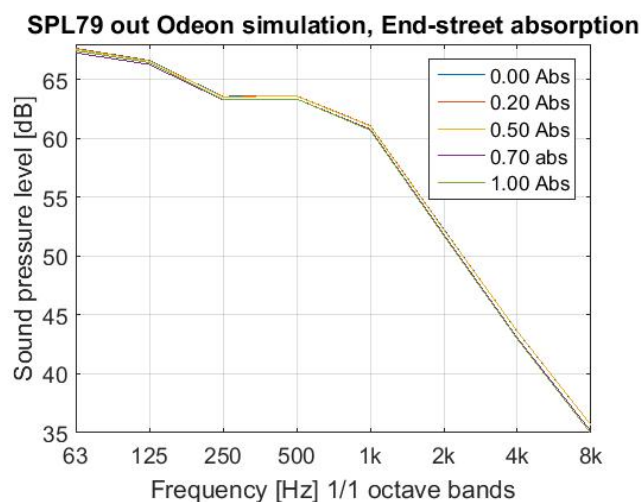
Endegateverdier

I figur 4.24 ser man simuleringer hvor endegatene i modellen har fått forskjellig absorpsjon. Man ser klart og tydelig at endringer fra 0 til 50 % absorpsjon ikke påvirker resultatet i stor grad. Det er tydelig at simuleringer ved 100 % og 70 % absorpsjon gir litt andre resultater, men fortsatt ikke stor forskjell. Dessuten er det knyttet usikkerhet til Odeons kapasitet til å simulere med fasader hvor absorpsjon er satt til 100 %, som vil vises i senere figurer. Det å simulere med store fasader hvor absorpsjonen er satt til 100 % burde i teorien ikke gi måleresultater hvor man får høyere verdi. Resultatene for simulering med 0.7 absorpsjon(70 %) følger denne logikken.



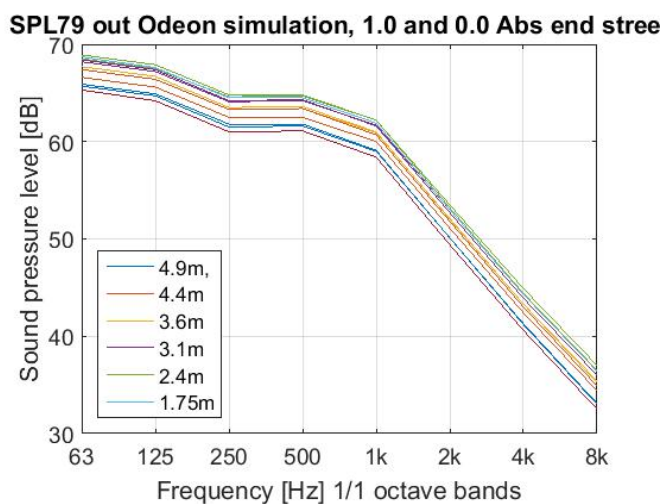
Figur 4.24: Endegate

For å se på hvordan spekteret endrer seg, er det i figur 4.25 grafet opp et gjennomsnitt over alle mikrofonene, for alle de 5 forskjellige absorpsjonsverdiene satt ved endegatene. Over alle frekvenser er alle verdiene tilnærmet like, så det viser at endegatene ikke har veldig stor påvirkning spektralt sett.



Figur 4.25: Endegateverdier med gjennomsnitt over mikrofoner

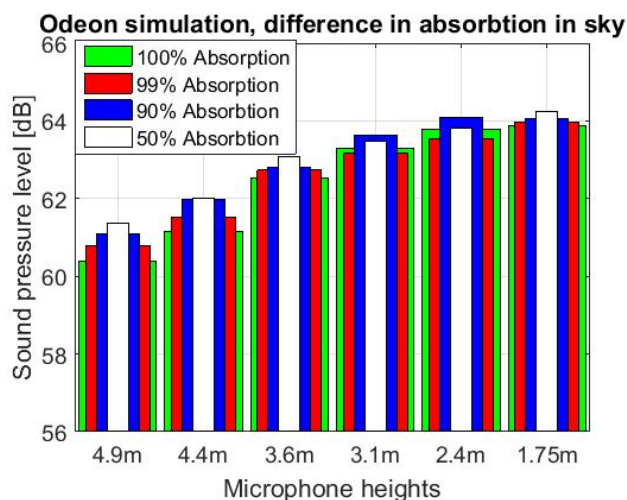
Figur 4.26 viser hvordan 2x6 forskjellige mikrofonverdier oppfører seg ved henholdsvis 100 % og 0 % absorpsjon ved endegatene. Spektralt sett er det lite endring. Alle mikrofoner holder samme relative nivå seg imellom, over alle frekvensbånd. Dette skiller seg ut fra målingene til en viss grad, da det ofte var små lokale variasjoner i resultatene ved måling. Homogeniteten i resultatverdiene fra simuleringen kan skyldes alle forenklinger og valg av homogene flater gjort ved modellering i Sketchup, og materialvalg i Odeon. I realiteten vil det være flere forskjeller i overflater som f.eks dybden og bredden til fugene rundt en mursten, samt forskjellig kvalitet på materialer. Dette kommer til å påvirke absorpsjonskoeffisienter over frekvensbånd.



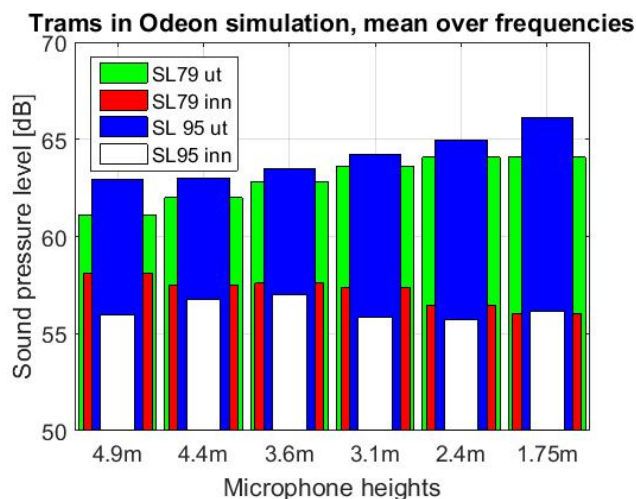
Figur 4.26: Mikrofonverdier

Himmelabsorpsjon

Figur 4.27 viser effekten av endringer av absorpsjon til "himmelen", eller taket i modellen. Her testes bruk av 99 % absorpsjon for å se om det er noen stor forskjell fra 100 %. Man ser at røde og grønne verdier, som tilsvarer 99 % og 100 % henholdsvis, har relativt store forskjeller sammenlignet med resterende verdier med tanke på differansen i absorpsjon. Dette, i kombinasjon med tolkning av tidligere grafer, tyder på at resultater fra simuleringer med 100 % absorpsjon kanskje ikke er troverdige.



Figur 4.27: Endring ved himmelabsorpsjon

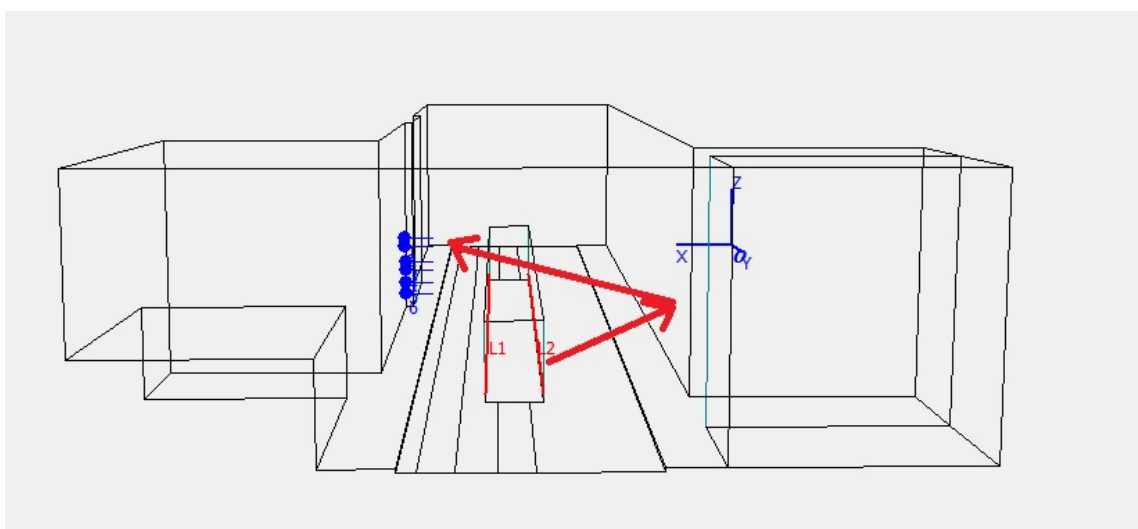


Figur 4.28: Simulerte trikker

4.5.2 Simuleringsverdier

I figur 4.28 ser man første simulering av de 4 forskjellige trikkeretningene. Denne er gjort med verdiene satt i tabell 3.5 fra kapittel 3. Siden tidligere simuleringer har vist liten eller ingen differanser med tanke på spektrum, vil videre resultater framvises som et gjennomsnitt over alle frekvenser.

Begge trikketyperne på vei ut av den simulerte storgata, gjenspeiler faktiske målte verdier, hvor det i hovedsak er en svak geometrisk demping på grunn av avstand fra kilde. Dette viser seg å ikke stemme like godt for simuleringer med trikk på vei inn. Både SL95 og SL79 viser noen litt stokastiske verdier eller helt annen oppførsel enn hva resultatet for målingene ble. Noen av resultatene fra mikrofonene lengst unna kildene viser høyere verdier enn for mikrofonene nærmest kildene.

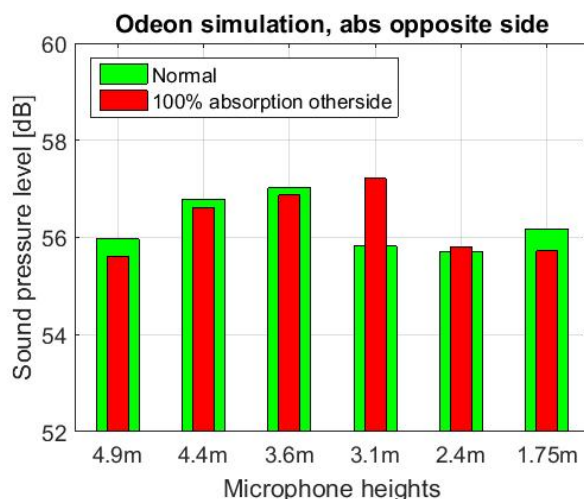


Figur 4.29: Teori om refleksjonspåvirkning

I figur 4.29 ser man en mulig forklaring på disse verdiene. Kan det stemme at refleksjonene fra andre siden av gaten gjør at mikrofonene som står høyere på fasaden enn trikkens høyde, får høyere verdier? For resultater ved trikk på vei inn vil kilde L2, på høyre side av trikken i figuren, være nærmere fasaden på motsatt side av måleoppsettet enn for målinger på vei ut av gaten. Dette kan være grunn til at refleksjoner over trikken påvirker i større grad. Dette bør man sjekke, da måleverdiene for situasjonen i Storgata hadde en slik oppførsel også.

Absorpsjon ved fasade på motsatt side av måleoppsett

Det ble så gjort en simulering hvor fasaden på høyre side i figuren ovenfor fikk absorpsjon satt til 100 %, for å se om det stemte. Med dette vil man teste om refleksjonen på motsatt side av gaten virkelig har en så stor påvirkning på verdiene til mikrofonene høyst oppe på fasaden.



Figur 4.30: Endring i fasaderefleksjon, SL95 inn

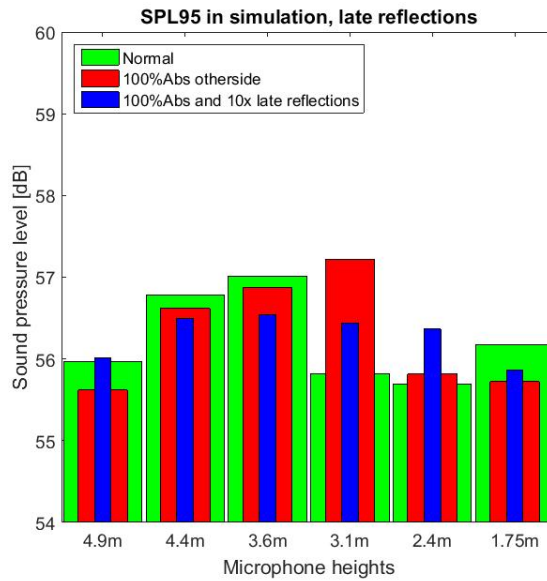
I figur 4.30 ser man resultatene fra en simulering av SL95 inn, hvor absorpsjonen til fasaden på motsatt side av måleoppsettet er endret. Normalt er absorpsjonsverdier gitt fra tabell 3.5. Igjen er det uventede resultater ved bruk av 100 % absorpsjon. Det er veldig ulogisk at total energi i simuleringen ser ut til å stige, selv etter å ha fjernet en stor del av den totale mengde refleksjoner i modellen (stor fasade med 100 % absorpsjon).

På bakgrunn av disse simuleringene og ulogiske resultat ble det prøvd å finne en løsning ved å ta kontakt med Odeons administrerende direktør, Claus Lyng. Han tok imot modellen og prøvde seg fram med diverse parametre. I følge ham var det større krav til sene refleksjoner og stråler ("Late rays") for å kunne oppnå bedre resultater for denne typen simulering.

Ved å bruke resultatene fra ovenfor, samt å øke mengden sene stråler ble videre resultater oppnådd. Mengden sene stråler ble økt fra 1000 til 10 000. Dette medfører en større beregningstid for simuleringene.

4.5.3 Late rays

Med informasjon fra samtalen med Claus Lyng ble mengden sene stråler økt. Simuleringene på "SL95 inn" fortsetter, da det er resultatene fra disse simuleringene, samt for SL79 inn, som virker å være mest ulogiske. Resultatene nedenfor er derfor kun basert på simuleringer gjort på modellen av SL95 inn.

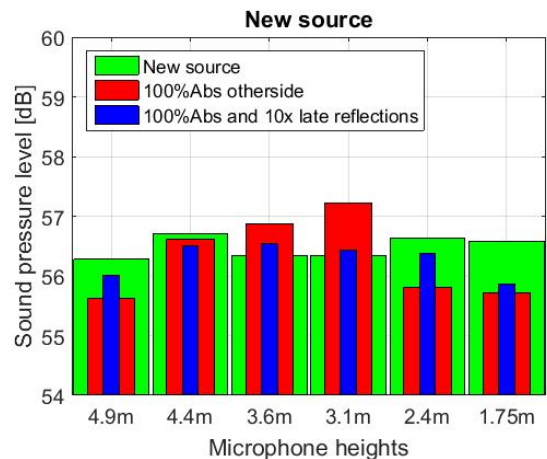


Figur 4.31: Endring i fasaderefleksjon, SL95 inn, late rays

I figur 4.31 ser man i blått en ny simulering hvor mengden sene stråler er økt. Man ser at det gir nye resultater, men det er fortsatt noe som skurrer med resultatet i forhold til forventede verdier. Det bestemmes derfor at kildens plassering skal endres for å se om dette har stor påvirkning.

Ny kilde

Med ny kilde i grønt og de samme verdiene for simulering som tidligere, ser man forskjellen i figur 4.32. Det er tydelig at kildeplasseringen har påvirket resultatet i stor grad.

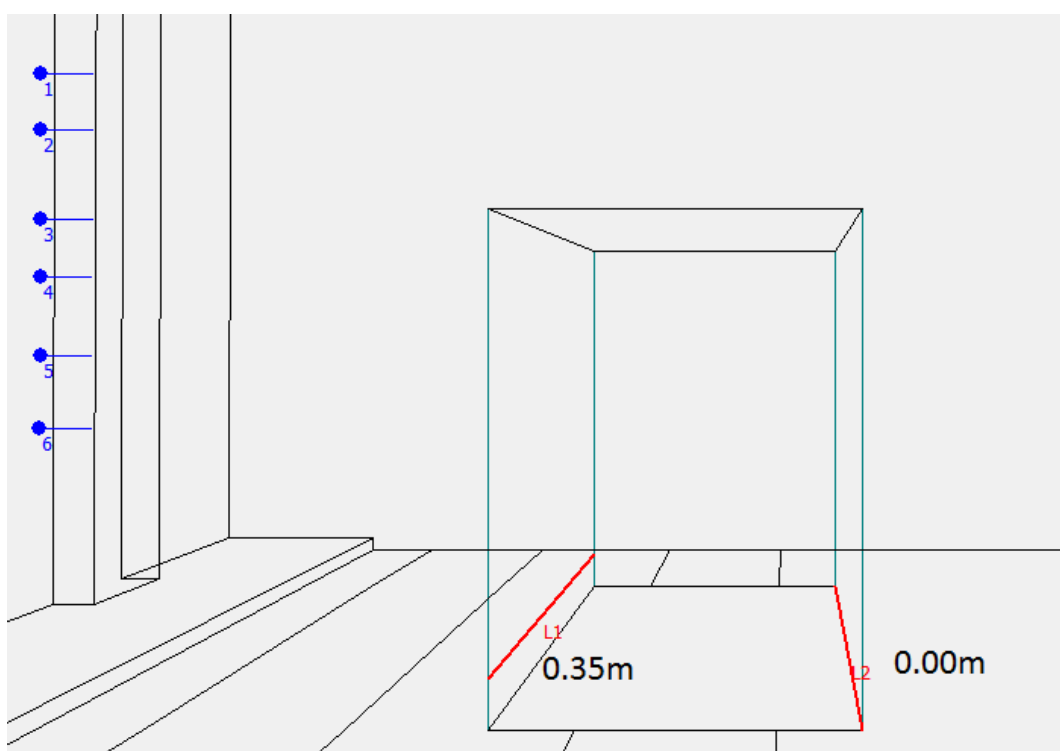


Figur 4.32: Simulering med ny kildeplassering

Kildeplassering

I tidligere simuleringer har kilden stått 35 cm fra bakken. Dette på bakgrunn av kildeanalysen gjort i kapittel 3. SL95s hjul er 680 mm høye, halvparten av dette ble derfor rundet av til 35 cm. På bakgrunn av litt uønskede resultatene fra simuleringene gjort tidligere, ble det derfor bestemt å bruke en ny plassering av kilde som vist i figur 4.33. Simuleringene gjort i figur 4.32 ovenfor ble gjennomført med denne nye kildeplasseringen.

I figuren ser man mikrofonene i blått på venstre side på fasaden. Boksen i midten er modell av trikken og man ser to røde streker. Dette er de forskjellige linjekildene definert i Odeon. L1 som er den gamle kildeplasseringen 0.35 m over bakken. Kilde L2 er plassert ved bakkenivå. I de nye simuleringene vil begge kilder være lik L2. Denne figuren med forskjellig L1 og L2 er framstilt kun for sammenlignings skyld.



Figur 4.33: Kildeplassering

4.5.4 Høyere presisjon og nye verdier for materialer

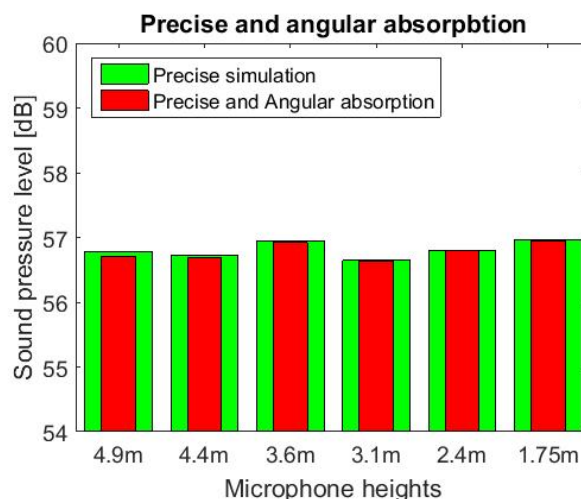
Med høyere presisjon (flere late rays) øker simuleringstiden, dog resultatene virker å bli mer nøyaktige. Det bestemmes derfor å gjennomføre simuleringer med nye materialverdier, kilden som definert ovenfor, og med enda høyere presisjon.

I Odeon defineres mengden sene stråler til 16000 ("Precision"), og med større vinkelpåvirkning på absorpsjonen ("All materials"). Denne vinkelpåvirkningen vil si at absorpsjonskoeffisientene gis en liten avhengighet til inngangsvinkelen for innkommende lydstråler. Dette er to faktorer som vil påvirke simuleringstiden, men også kvaliteten på resultatet. Det defineres nye materialverdier for alle overflater i Odeon. Disse er presentert i tabell 4.2. Dette er forenklinger, men valgene er basert på resultatene som er fått for de forskjellige simuleringene gjort tidligere.

Material & nr:	Absorpsjon α
Fasader: 10	10 % for alle f
Bakke: 10	10 % for alle f
Endegate: 70	70 % for alle f
Himmel/tak: 99	99 % for alle f
Trikk: 10	10 % for alle f

Tabell 4.2: Absorpsjon for materialer

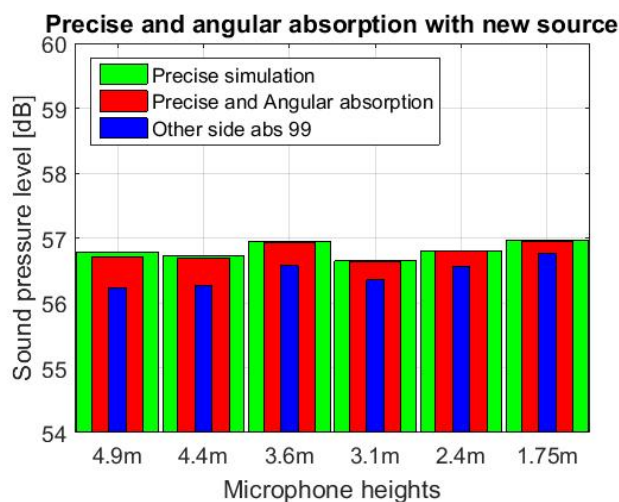
I figur 4.34 ser man resultatene fra en simulering som er gjennomført med de nye verdiene og høy presisjon. Vinkel inn mot fasader med tanke på absorpsjonsverdier utgjør ingen stor forskjell, men brukes videre da det ikke skader annet enn simuleringstiden.



Figur 4.34: Større presisjon på simulering

I figur 4.35 ser man grafen for det nye oppsettet, og sammenlignet med 99 % absorpsjon på fasaden ved motsatt side av måleoppsettet og mikrofonene, markert i blått. Her er det bevisst valgt 99 % absorpsjon i stedet for 100 % for å unngå eventuelle problemer. Man ser fortsatt litt

av effekten som man trodde refleksjoner på motsatt side hadde, og dette simuleringsresultatet begynner å likne på måleresultatet for SL95 inn. Med høy absorpsjon på motsatt side ser man at dempingen er større for mikrofonene som står høyst, noe som beviser at refleksjonene fra motsatt side har en effekt på målingene. Siden man har gjort store endringer i kildeplassering og presisjon i simulering, åpner det for ny testing av absorpsjonsverdier for forskjellige flater i modellen.



Figur 4.35: Presisjon med høy absorpsjon på andre side

Nye absorpsjonsverdier

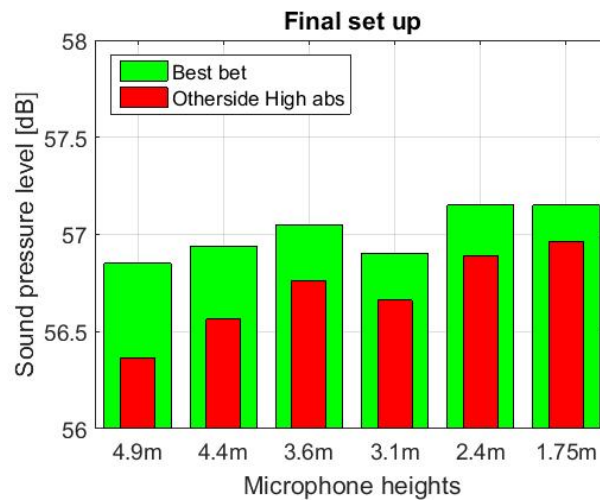
Etter videre testing med de absorpsjonsverdiene definert i tabell 4.2 er det kommet fram til et resultat som ligner godt på resultatet for SL95 inn. Verdiene til spredningen for denne simuleringen er vist i tabell 4.3 ved høy presisjon (stor mengde sene stråler) og med den nye kildeplasseringen.

Flate:	Spredning:
A: Malt murstein	0.02
Trikk	0.02
Asfalt	0.05
Himmel	0.05
Ende av gate	0.05
B: Glatt mur	0.10

Tabell 4.3: Spredning for materialer

Plasseringene for de forskjellige materialtypene er de samme som vist i 3.15 fra kapittel 3. I figur 4.36 ser man resultatet oppnådd med de endelige simuleringsverdiene.

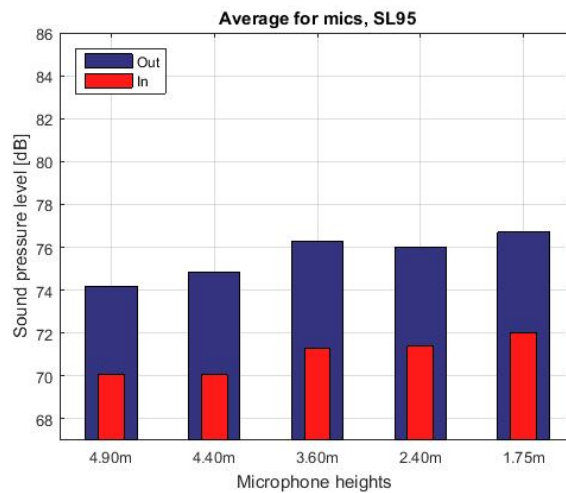
I grønt (best bet) er normal simulering gjennomført med verdiene fra tabell 4.2 og 4.3. I rødt har motsatt fasade blitt satt til 99 % absorpsjon. Her viser resultatet at høyere mikrofonplassering blir påvirket av refleksjonen fra fasade på motsatt side, da differansen mellom original simulering,



Figur 4.36: SL95 inn, endelig simuleringresultat

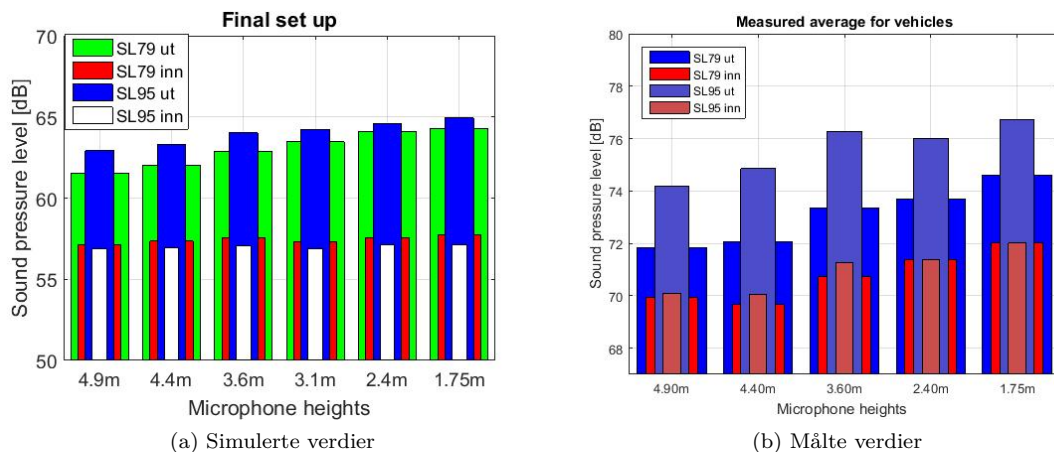
og simulering med høyere absorpsjon, øker for høyere mikrofonplassering.

Resultatet fra simuleringen vist i figur 4.36 er resultatet som ligner på målingene for SL95 inn, vist i figur 4.37. Nivåforskjellene er små, men man har samme oppførsel for både simulering og for måling, nemlig en viss grad av nivåøkning når mikrofonene står over trikken.



Figur 4.37: SL95 inn, måling

I figur 4.38a og 4.38b ser man resultatet for alle forskjellige trikkeretninger både simulert og målt. Her er ikke likheten like tydelig som for tidligere grafer, da disse var zoomet inn. Grafene virker å være mer ulike på grunn av de små nivåforskjellene som er oppnådd, men også på grunn av at mikrofon 4 (3.1 m) er med i simulering, men den er fjernet fra måleresultater. Figuren viser



Figur 4.38: Sammenligning mellom simulering og måling

at simuleringer for SL79 og SL95 inn, har lavere nivåforskjeller over mikrofonavstander enn for ut-passeringer. Dette tyder på at resultater fra simulering gir lavere avstandsdemping enn hva som er målt.

Ved å benytte seg av forskjellige kildeposisjoner, absorpsjonsverdier og spredningsfaktor har man til en viss grad klart å simulere virkelige verdier, dog det kreves en større finjustering for å kunne ha en modell klar til bruk.

4.6 Avsluttende resultat

I forbindelse med antakelsene gjort med tanke på nivåforskjeller i gatenivå med fasader, hvor man antar +3 dB økning dersom fasade er tilstede på en side, og +6 dB økning dersom man har fasade på begge sider av gaten, har målingene som har blitt gjennomført i denne rapporten ikke kunnet støtte videre forståelse for dette. Men, det foreslås en målemetode som vil kunne se på dette i større grad.

I dette prosjektet ble det iverksatt et måleoppsett hvor en rekke med mikrofoner står oppover langs fasaden, i en gitt avstand. Måleoppsett 2 kan sies å være best, da geometriske forskjeller i fasaden bak oppsettet ikke vil påvirke resultater i like stor grad som for målinger gjennomført med måleoppsett 1. Dessuten er måleoppsett 2 mindre krevende med tanke på mengde utstyr og oppsett. Resultatene fra målingene gjort i prosjektet har gitt en forståelse for hvordan lydfeltet oppfører seg mellom trikk og fasade. For å kunne se på antakelsene om nivåforskjeller i forbindelse med fasader, foreslås det å gjennomføre målinger i andre posisjoner med samme måleoppsett.

Det har blitt vist i simuleringer at refleksjoner på motsatt side av gaten kan påvirke mikrofoner høyt oppe på fasaden, dog det er vanskelig å vite hvordan totalt nivå påvirkes. For å kunne se på disse nivåtilleggene bør det måles mot samme type trikker, i gateområder hvor avstand fra trikk til fasade er lik - og da også med eksempler hvor man har fasade på kun en side av gaten. Ved å måle på begge sider av gaten vil man også kunne sammenligne flere resultater for å få en bedre forståelse.

4.6.1 Diskusjon

I dette avsnittet blir det presentert noen mulige kilder til usikkerhet og problemer rundt målingene og simuleringene.

Utstyr

Mikrofonene følger strenge kvalitetskrav og regnes som fullstendig nøyaktige. Kalibrering er gjennomført over hele systemet, og det antas at utstyr ikke er grunn til feilkilder.

Kamfilter

På dagene da begge målingene ble gjennomført, lå temperaturen på rundt $+2-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette vil, i følge formel 2.2, bety en lydshastighet på omtrent $c = 333\text{ m/s}$. I følge [18] vil man da kunne få et problemområde ved forskjellige frekvenser på grunn av kamfiltereffekten som er gitt ved $\frac{1}{2}$ til $\frac{1}{4}$ av bølgelengden ved målinger på fasade. Målingene som er gjennomført er blitt gjort i en avstand på 0.4 m fra fasaden. $\frac{\lambda}{4}$ og $\frac{\lambda}{2}$ vil da bety $\lambda_1 = 4 \cdot 0.4\text{ m} = 1.6\text{ m}$ og $\lambda_2 = 2 \cdot 0.4\text{ m} = 0.8\text{ m}$, som tilsvarer frekvenser fra 208.125_1 Hz til 416.25_2 Hz . Dette vil i størst grad påvirke mikrofonene som står nærmest bakken, da refleksjonene i større grad vil være vinkelrett. Høyere oppe i fasaden vil refleksjonene komme fra en vinkel og spredningen langs veggen vil sannsynligvis dempe kamfiltereffekten. Dessuten vil en annen inngangsvinkel gi annen relativ refleksjonsavstand og da også påvirke annet spekter.

Ut fra figurene tidligere i rapporten går det an å si at kamfiltereffekten kan ha påvirket måleverdiene, men det har ikke påvirket resultatene. Problemområdet ligger ikke ved de sentrale frekvensene som har blitt nevnt, men "problemområdet" kan være tilstede. Dette kan sies da det er i grensen mellom 200 Hz og 400 Hz at det er størst enkeltvis forskjell mellom mikrofonene ut i fra figur 4.2.

Kilder trikk

Det at trikkene det er målt på har hatt varierende hastighet vil ha påvirkning på resultatet. I følge [15] vil en forskjell i hastighet på trikk fra 20 km/t til 40 km/t gi forskjell på i snitt 7.8 dBA for 4 forskjellige typer målinger. Siden det ikke er gjennomført veldig store mengder målinger i forbindelse med dette prosjektet kan det sies at usikkerhet i forbindelse med målinger kan skyldes hastighetsvariasjoner.

Det er også viktig å presisere at forskjellige trikker av samme modelltype kan ha små ulikheter som påvirker lydkilden de representerer. Hvor lang tid det er siden trikken har hatt service på motor og hjul/boggier kan også påvirke dette.

I gateområdet hvor målingene ble gjennomført er det stor gjennomgang av trafikk. I mange tilfeller var det andre trikker og/eller busser i nærheten. Flere støykilder vil påvirke eventuelle resultat.

Disse problemene ville ha blitt løst med å gjennomføre flere målinger.

Odeon

Simuleringene gjort i Odeon kan ha flere feilkilder. For det første gjøres det noen grunnleggende forenklinger av Odeon som program, i forbindelse med kalkuleringer. Det er vanskelig å si hvor stor påvirkning dette har, men når marginene er små vil det mest sannsynligvis ha noe å si for det endelige resultat. Det er også en stor mengde parametre det går an å sette i Odeon. Erfaring i bruk av programmet har kanskje ikke vært tilstrekkelig, og det kan godt være mulig at flere parametre ikke har blitt satt til hva som burde ha vært gjort. Dette gjelder både absorpsjonskoeffisienter og spredning, men også på litt mer avanserte ting som diffusjon, late rays og vinkelavhengighet. I rom med store geometriske forskjeller og ujevn fordeling av absorpsjon er det viktig med flere late rays for å kunne få gode resultater [32]. Dette ble gjennomført og med vellykket utfall.

En av de viktigste punktene som bør nevnes er at geometrien hadde store forenklinger. På grunnlag av både tidsbegrensning, erfaringsbegrensning og ikke minst usikker fortjeneste i forhold til arbeid lagt i, ble de fleste flater, lengder og former rundet av og homogenisert. Dette vil absolutt påvirke et endelig resultat, men det er veldig vanskelig å si i hvilken grad og hvor i modellen det har mest å si.

Kilden har blitt veldig forenklet i simulering. Dette er på grunn av manglende verdier for dette. Med reelle tall for kilden, både i form av styrke, plassering på trikk og fordeling langs hele overflaten til trikken, ville nok resultatet ha blitt noe helt annet.

Dersom alle usikkerheter hadde blitt fjernet eller kompensert for, ville man nok ha klart å kommet fram til en simulering som i større grad hadde vært lik målte verdier.

5. Konklusjon

Denne masteroppgaven har sett på trikkestøy i gateområder. Det har blitt gjennomført målinger og simuleringer for å se på lydfeltet som skapes mellom trikk og fasade i Storgata i Oslo. Ved å bruke en OROS multikanalsenhet har man målt på lydfeltet med forskjellige metoder ved en fasade for å se hvordan passerende trikker og busser påvirker lydfeltet, både som kilde og som reflekterende fasade. En av målemetodene har vist seg å gi bedre resultater, samtidig som at den var enklere å benytte seg av.

Det har blitt skrevet en kode i Matlab for å bruke til analyse av resultater fra OROS. Denne koden har stort potensiale for forbedringer, men den klarer å analysere store mengder data uten problemer.

Man har sett på resultatene fra målingene og analysert frekvensinnholdet i støyen. For trikker er det rullestøy som skaper de høyeste maksimumsverdiene og er en stor kilde til støyen ved lavere frekvensområder fra 63 Hz til 125 Hz. Det man har vurdert til å være motorstøyen, har høye gjennomsnittsverdier, dog lavere maksimum enn for rullestøyen til trikken. Denne motorkilden kan variere fra trikk til trikk, men for SL95 og SL79 defineres det ved 500/630 Hz. I øvre spekter har man sett på muligheten for at bremsing kan være grunn til en kilde ved 1250-2000 Hz, dog dette er ikke bevist i stor grad.

Det har blitt vist at man kan klare å simulere trikkestøyen ved bruk av Odeon og med modell fra Sketchup. Selv om resultatene fra simulering ikke gjengir verdier som er nøyaktig lik målte, er det vist, ved å endre forskjellige verdier i Odeon, at man kan simulere resultater som har samme oppførsel som for målinger. Ved å anta en kilde for trikken som en linjekilde plassert på begge sidene av trikken langs bakken, og ved å bruke målte verdier for denne kilden - får man (til en viss grad) tilfredsstillende resultater.

Geometri og absorpsjons- og spredningsverdier har stor påvirkning på simuleringen. Det er derfor viktig å benytte seg av stor nok presisjon når man kjører simuleringene. Det er funnet at simuleringer hvor en eller flere av flatene i modellen blir satt til 100 %, kan det oppstå uforståelige problemer. I modeller hvor det er store lokale forskjeller i absorpsjonsverdi, er det viktig at simuleringen har nok "Late rays", eller, sene stråler. Erfaring i bruk av Odeon og det å gjøre kvalifiserte valg når det gjelder materialvalg er en absolutt fordel når det gjelder videre simulering av denne typen modell.

Det har ikke vært mulig å gi en konkret forklaring på nivå-antakelsene som gjelder målinger i bygater ved varierende mengde fasader på forskjellige sider av måleoppsett. Men det kan sies at når trikk står nærmere måleoppsett og fasade, begrenses avstandsdempingen og man får et sterkere lydfelt.

5.1 Videre arbeid

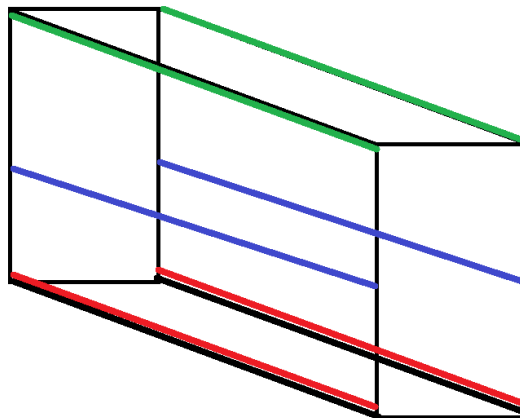
I dette delkapittelet vil det bli gått igjennom mulige oppgaver som kan løses med videre arbeid i forbindelse med prosjektet. Dette kan være effektivisering av diverse deloppgaver eller forslag til løsninger på problemer som ikke ble løst i løpet av oppgaven.

5.1.1 Lydkilder på trikk

Simuleringene gjort i prosjektet ble gjort med mange antakelser og forenklinger. En av de største forenklingene ble gjort i forbindelse med lydkildene fra trikken. For å lettere kunne simulere mer nøyaktig i Odeon, kan det være en fordel å ha gjennomført målinger på og ved trikken i større grad, med fokus på plassering av de forskjellige lydkildene. Hvor på overflaten til trikken er det lyden kommer fra i størst grad, og kan det kanskje være mulig å simulere med flere linjekilder, dog med forskjellige frekvenser, for trikkens lydkilder?

Dersom antakelsene om de forskjellige frekvensene og lydkildene gjort i dette prosjektet stemmer, vil motorstøy komme fra andre posisjoner på trikkens overflate enn hvor rullestøy er størst. Bremsstøy vil mest sannsynligvis også komme fra en annen høyde langs trikken.

Med nøyaktige tall om kildeplasseringer, frekvenser og nivåer for trikken, vil man kunne definere dette i Odeon og forhåpentligvis få bedre simuleringsresultater med flere typer linjekilder som vist i figur 5.1. Dette kan f.eks være en kilde for rullestøy, en for motortype og en for HVAC eller støy fra vindmotstand.



Figur 5.1: Mulige linjekilder for videre simulering

5.1.2 Detaljnivå

I dette prosjektet har det blitt gjort store forenklinger med tanke på geometrien til modellen. For å kunne oppnå mer troverdige resultater kan det gjennomføres en mer nøyaktig analyse og modellering av gateområdet. Dette var ikke mulig i dette prosjektet, men man kan si at større detaljnivå vil kunne gi mer nøyaktige resultater. Et problem med dette er at arbeidsmengden vil øke eksponentielt med den økende graden av detaljer, samt at en simulering med høy presisjon vil gi stor beregningsmengde i en slik detaljert modell.

5.1.3 Måleområder for videre analyse

Generelt bruker man å legge til et visst nivå for målinger av lydfelt i gateområder:

- 1: Med ingen bygninger på sidene av gaten legger man til 0 dB.
- 2: Dersom man har bygning ved samme side som mikrofon: +3 dB
- 3: Bygninger på begge sider av gaten: +6 dB[12]

For å kunne se på disse antakelsene anbefales det å måle ved slike gateområder. I forbindelse med dette prosjektet bør man da bruke måleoppsett 2 hvor avstand fra trikkeskinne til fasade er omtrent like stor i alle 3 måleområdene. Man bør gjennomføre målinger i de forskjellige gateområder med samme oppsett og mot samme type kilde slik at det blir lett å sammenligne resultatene. Dersom eneste variabel som er forskjellig, er antall fasader ved måleoppsett, vil man lett kunne se på effekten av dette.

I dette prosjektet gjorde ikke måleplassering det mulig å se på disse antakelsene da man ikke hadde noen referansemåling å sammenligne med. Det man har sett er at det oppstår et lydfelt mellom trikk og fasade som begrenser avstandsdempingen.

5.1.4 Matlabkode

I forbindelse med matlab-koding ble det lagt ned mye arbeid i å automatisere analysen av resultatene. Koden kan ta store mengder resultater og analysere uten at det begrenser kapasiteten, og selv med forskjellige typer kjøretøy og retninger er det ingen problem å analysere disse om hverandre. Om man har 100 eller 1000 resultatfiler vil eneste forskjell være begrensning i kapasiteten til datamaskinen og man må belage seg på lengre ventetid.

I hovedscriptet for kjøring av analysen er det skrevet enkeltvis kode for alle forskjellige grafer, og det kan være rotete å sette seg inn i. En mulig forbedring til dette vil være å skrive kode hvor man lagrer de forskjellige variabelnavnene i matriser, og å kommentere i større grad. Man kan med dette kjøre gjennom variabelnavnene med en for-løkke og lage like mange figurer på mye færre kodelinjer. Kodelengden kan lett halveres ved å gjennomføre dette.

Videre arbeid med matlabkoden kan være å forenkle løsningene i forbindelse med analyse av forskjellige kjøretøy og retninger. Det kan skrives kode hvor man lager en GUI(Graphical User Interface) slik at koden enkelt kan brukes av utenforstående uten matlabkunnskaper. Med dette

kan man trykke seg gjennom menyer for å sette analyseparametere, uten å måtte endre på koden. Dette vil kreve mye arbeid, men vil også forenkle analyse av målinger gjennomført med OROS.

En ide for en slik GUI vil være at man åpner programmet, og velger forskjellige innstillinger:

- Hvor mange kjøretøy / retninger man har målt.
- Hvor mange mikrofoner er brukt.
- Hvilke måleverdier (AvnOct / MaxOct) man har målt med.
- Resultatnavn på forskjellige kjøretøy/retninger basert på mappe-plassering (Slik at disse lagres i videre valg man tar)
- Velge hva man vil sammenligne eller se på (f.eks Resultatnavn1-gjennomsnitt mot resultatnavn2-gjennomsnitt)

Slik vil man kunne se på og sammenligne tusenvis av resultater på kort tid, og å lett gjøre statistiske analyser av dette. Med slike analyser vil man kanskje også kunne se på om det finnes dårlige skinner eller motor-feil på noen av trikkene? Dersom det er store sprang i forhold til resterende trikkemålinger vil man kunne se dette. Ved f.eks store variasjoner i lave frekvensområder kan det tyde på skinnefeil.

Med analysen må man også ta hensyn til hastigheten til trikken, type trikk, skinne kvalitet, fasader rundt, annen trafikk/bakgrunnsstøy, vind/værforhold og kanskje mengden passasjerer. Det er mange variabler som spiller inn på nivåene, og nettopp det er kanskje grunnen til at det er vanskelig å lage en god modell for trikkestøy.

Bibliografi

- [1] Kinsler, Frey, Coppens, Sanders. *Fundamentals of Acoustics, 4th edition*, John Wiley & Sons, Inc. Desember 2000, p121.
- [2] Kinsler, Frey, Coppens, Sanders. *Fundamentals of Acoustics, 4th edition*, John Wiley & Sons, Inc. Desember 2000, p526
- [3] Cyril M. Harris, *Handbook of Acoustical measurements and noise control, third edition*, Acoustical society of America. Suite 1NO1, 2 Huntington Quadrangle Melville, NY 117474-4502, 1998. p4.9
- [4] Cyril M. Harris, *Handbook of Acoustical measurements and noise control, third edition*, Acoustical society of America. Suite 1NO1, 2 Huntington Quadrangle Melville, NY 117474-4502, 1998. p2.13
- [5] Cyril M. Harris, *Handbook of Acoustical measurements and noise control, third edition*, Acoustical society of America. Suite 1NO1, 2 Huntington Quadrangle Melville, NY 117474-4502, 1998. p4.2
- [6] Cyril M. Harris, *Handbook of Acoustical measurements and noise control, third edition*, Acoustical society of America. Suite 1NO1, 2 Huntington Quadrangle Melville, NY 117474-4502, 1998. p5.12
- [7] Cyril M. Harris, *Handbook of Acoustical measurements and noise control, third edition*, Acoustical society of America. Suite 1NO1, 2 Huntington Quadrangle Melville, NY 117474-4502, 1998. p30.2
- [8] Leo L. Beranek, *Acoustical Measurements, Revised edition*, Acoustical Society of America by the american institute of Physics. 1993, p15
- [9] Tor Halmrast, *More Combs*, Statsbygg, Oslo Norway, volume 33, pt 2. 2011.
- [10] P. Svensson, R. I. Fred, J. Vanderkooy, *An analytic secondary source model of edge diffraction impulse responses*, JASA 106, 2331-2343, November 1999.
- [11] Frank Fahy, *Foundations of Engineering Acoustics*, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, Academic press, 2001. p17.
- [12] Sigmund Olafsen, *Environmental noise monitoring for the trams of Oslo*, Brekke & Strand Acoustics Consulting, 2015.
- [13] Gaarder, Nilsson, Rasten, Sando. *Norske lok og motorvogner*, Norsk jernbaneklubb - forskningsavdelingen, P204-206, 1.1.2008.

- [14] Gaarder, Nilsson, Rasten, Sando. *Norske lok og motorvogner*, Norsk jernbaneklubb - forskningsavdelingen, P207, 1.1.2008.
- [15] M.A Pallas, J. Lelong, R. Chatagnon. *Characterization of tram noise emission and contribution of noise sources*, Laboratoire Transport Environment, INRETS, 25 Avenue F Mitterand, case 24, 69675 Bron cedex, France. February 2011
- [16] Fillol C, Frid A, Poisson F. *Report on source ranking on state of the art validation platforms and final priorities for research efforts*, Deliverable E.D2, SILENCE Project. <http://www.silence-ip.org>, 2008
- [17] T.J Cox, B.-I.L Dalenback, P.D'Antonio, J.J Embrechts, J.Y.Jeon, E.Mommertz, M. Vorländer, *A Tutorial on Scattering and Diffusion Coefficients for Room Acoustic Surfaces*, in Acta Acustica united, January 2006.
- [18] Oskar A. Sivertsen, *Lydfelt på fasade*, Project thesis in collaboration with NTNU/Brekke&Strand, 2015.
- [19] Sigmund Olafsen, *R1 051219 Test av Trikk* Målinger på bestilling av Sporveien, Brekke & Strand, Skøyen 22.12.2005
- [20] Sigmund Olafsen, *Towards an empirical Model for Sound insulation against Tram noise*, Brekke & Strand Akustikk, Joint Baltic-Nordic Acoustics meeting 2006.
- [21] Erwin Kreyzig, *Advanced Engineering Mathematics 9th edition* Wiley international edition, John Wiley & Sons inc, 2006. p996.
- [22] Erwin Kreyzig, *Advanced Engineering Mathematics 9th edition* Wiley international edition, John Wiley & Sons inc, 2006. Table A9, appendix 5, page A100.
- [23] Erwin Kreyzig, *Advanced Engineering Mathematics 9th edition* Wiley international edition, John Wiley & Sons inc, 2006. p1053.
- [24] Svein Strøm, *Romakustikk prosjektering; Prosjektering og datasamling for lydabsorberende materialer og konstruksjoner*, Norges Byggforskningsinstitutt, Trondheim 1979. p93
- [25] <http://www.lydogakustikk.no/?p=355&lang=nb> Spredning/diffusjon, 17.03.16
- [26] www.Sketchup.com : Sketchup nedlastning/info, 05.02.16
- [27] www.Odeon.dk/get-started : Odeon hjemmeside, 10.02.16
- [28] www.Oros.com/3892-or36-multi-analyzer-recorder.htm : OR36 beskrivelse, 08.03.16
- [29] www.kristska.com/Oslo_Sporveier/trikk_hoved.html :Plantegninger - trikk, 19.04.16. Helge Solum, teknisk ansvarlig Oslo Sporveier via epost.
- [30] www.norsonic.com/en/products/microphones+preamplifiers/microphones/nor1220-free-field-microphone/ : Mikrofon Norsonic 1220, 12.05.2016.
- [31] www.schallmessung.com/images/stories/Oros/oros36.jpg : Bilde av OROS, 12.05.2016
- [32] <http://www.odeon.dk/pdf/ODEONManual12.pdf> : Odeon manual, 14.06.16
- [33] www.hearforever.org/tools-to-learn/sound-source-a-and-c-weighted-noise-measurements : Vekting, 30.06.16
- [34] www.sengpielaudio.com/calculator-octave.htm : Oktavbånd, 30.06.16

A. Matlabkode

Matlabkode er lagt ved i .ZIP-fil ved DAIM for videre utforskning dersom ønskelig.

A.1 Kalkuleringer

I vedlegget nedenfor vises kode for beregninger gjort på måleresultatene i Matlab. Denne koden er spesifikk for måleoppsett 2, dog en lignende kode er skrevet for måleoppsett 1. Forskjell ligger for det meste i plotting, da filene var forskjellig med tanke på titler, størrelser osv.

```
1  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2  %% OROS text-file analyzer
3
4  % This script is written for analyzing OROS.txt-files containing avgOct and
5  % maxOct values in 1/3 octave bands from 20-20khz. Other values in the
6  % .txt-files will not be analyzable in this script without rewriting parts
7  % of it.
8
9  % Sort different measurefiles in their respective folders, and manage
10 % directory for matlab before running. Averaged values for all measurements
11 % in the directory-folder will be calculated and plotted, both max- and time
12 % -average.
13 % Plots are handled in an own script, as this script is purely calculations
14 % to make variables. 'kjoring.m' needs to be run so the measurements
15 % from all folders are calculated and plotted.
16
17
18 % On behalf of Brekke&Strand,
19 % Oskar Andreas Sivertsen, 2016
20
21 %% Creates a list of all textfiles in directory
22 result = {0};
23 fileList = 0;
24 [status, list] = system( 'dir /B *.txt' );
25 result = textscan( list, '%s', 'delimiter', '\t' );
26 fileList = result{1};
27
28
29 %% Creates a cell with all the documents, saves only the 2nd column.
30 %(measurement- values are located there)
31 doclist= {};
32 for i = 1:length( fileList );
33     fileID = fopen( cell2mat( fileList( i,1) ) );
34     doclist( i,1) = textscan( fileID, '%*s %s' );% %*s ignores the first column
35     fclose( fileID );
36 end
37
```

```

38
39
40 %% Finds the locations of 'Pa' in all the documents
41
42 name = 'Pa';
43 PaPos = {};
44 for i = 1:length(doclist)
45     PaPos{i,1} = strfind( cellstr( doclist{i,1} ),name);
46 end
47
48
49 %% Creates a matrix with the positions of 'Pa'.
50
51 stringstart = [];
52 for i = 1:length(PaPos)
53     for j = 1:length(PaPos{1,1})
54         if PaPos{i,1}{j,1} ==1
55             stringstart = [stringstart ,j];
56         end
57     end
58 end
59 % Pa is located in same spot for all files .
60 stringstart = stringstart(1:(length(stringstart)/length(doclist)));
61
62
63 %% Adds only the measurementvalues into a new cell and converts to SPL
64 % (based on the position of 'Pa')
65
66 % Number of measurement values. 20–20kHz in 1/3 octave bands
67 measurelength=31;
68
69 % Relative pressurelevel
70 p0=20*10^-6;
71
72 measurementmatrix = zeros(measurelength ,length(stringstart) ,length(doclist));
73
74 for i =1:length(doclist)
75     for k = 1:length(stringstart)
76         for j = 1:measurelength
77             % Adds the measurementvalues from doclist into a new matrix
78             % based on the positions of 'Pa' and converts to DOUBLE from
79             % string-values in the cell
80             measurementmatrix(j,k,i) = str2double( doclist{i,1}...
81                 (stringstart(k)+j,1));
82         end
83     end
84 end
85
86 %% SPLmatrix / measurementmatrix has a size: 31x12 x Ammount of documents.
87 % 31 different frequencies , 12 different mic values , where the 6 first are
88 % AvnOct and the 6 last are MaxOct. Ammount of documents varies for every
89 % runthrough of the different folders.
90 SPLmatrix = [0];
91 SPLmatrix = 20*log10(measurementmatrix/p0);
92
93 %% Compensates for A-weighted measurement on mic 6
94 % This can be removed for other measurements.
95 % A-weighting values
96 Aweight = [50.5,44.7,39.4,34.6,30.2,26.2,22.5,19.1,16.1,13.4,10.9,8.6,...
97     6.6,4.8,3.2,1.9,0.8,0,-0.6,-1,-1.2,-1.3,-1.2,-1,-0.5,0.1,1.1,2.5,...
98     4.3,6.6,9.3];
99

```

```

100 % for i =1:length(doclist)
101 %     for l = 1:2
102 %         SPLmatrix(:,l*6,i) = SPLmatrix(:,l*6,i) + Aweight.';
103 %     end
104 % end
105
106 %% Creating average values
107
108 % Reverts to P^2 - values for use in averaging
109 p2matrix = [0];
110 p2matrix = 10.^(SPLmatrix/10);
111
112 % Takes STD over all documents(per mic and freq)
113 p2std = 0;
114 xx = p2matrix(:,1:3,:);
115 yy = p2matrix(:,5:6,:);
116 p2std = std(xx,1,3);
117 p2std2 = std(yy,1,3);% 31x12
118 p2std = [p2std p2std2];
119 mean_std_p2 = 0;
120 mean_std_p2 = mean(p2std,2); % 31x1(averages std over mics)
121 Allmean_std_p2 = 0;
122 Allmean_std_p2 = mean(mean_std_p2); % Mean standard deviation
123
124 %Average over events
125 p2_averageacrossevent = 0;
126 p2_averageacrossevent = mean(p2matrix,3);
127 SPL_averageacrossevent = 0;
128 SPL_averageacrossevent = 10*log10(p2_averageacrossevent);
129 averagelist = SPL_averageacrossevent;
130
131 % Average over mics
132 p2_averageacrossmic_mean = 0;
133 p2_averageacrossmic_mean = mean(p2matrix(:,1:6,:),2);
134 SPL_averageacrossmic_mean = 0;
135 SPL_averageacrossmic_mean = 10*log10(p2_averageacrossmic_mean);
136 SPL_averageacrossmic_mean = squeeze(SPL_averageacrossmic_mean);
137
138 % Chosing of confidence-interval coefficient.
139 nobs = length(fileList)-1; %AKA DF
140 obs = length(fileList);
141
142 if nobs == 1;
143     tp = 12.7;
144 elseif nobs == 2;
145     tp = 4.3027;
146 elseif nobs == 3
147     tp = 3.1824;
148 elseif nobs == 4
149     tp = 2.7765;
150 elseif nobs == 5
151     tp = 2.5706;
152 elseif nobs == 6
153     tp = 2.4469;
154 elseif nobs == 7
155     tp = 2.3646;
156 elseif nobs == 8
157     tp = 2.3060;
158 elseif nobs == 9
159     tp = 2.2622;
160 elseif nobs == 10
161     tp = 2.2281;

```

```

162 else
163     tp = 2;
164 end
165
166 % Average over mic and freq
167 p2_averageacrossmicandfreq = [0];
168 p2_averageacrossmicandfreq = mean(p2_averageacrossmic_mean(:, :, 1:size(fileList))
    ,1);
169 p2_averageacrossmicandfreq = squeeze(p2_averageacrossmicandfreq);
170 SPL_averageacrossmicandfreq = 0;
171 SPL_averageacrossmicandfreq = 10*log10(p2_averageacrossmicandfreq);
172
173 % 95% konfidence interval
174 p2_mean = [0];
175 p2_mean = mean(p2_averageacrossmicandfreq);
176 p2_conf = 0;
177 p2_conf = (Allmean_std_p2/sqrt(obs))*tp;
178 SPL_conf = 10*log10(p2_conf);
179 SPL_mean = 0;
180 SPL_mean = 10*log10(p2_mean);
181 % Setting the upper and lower values for plotting konf.
182 Ubar = 10*log10(1 +(p2_conf/p2_mean));
183 Lbar = 10*log10(1 -(p2_conf/p2_mean));
184
185 std_micfreq = 0;
186 std_micfreq = std(p2_averageacrossmicandfreq);
187 std_micfreq = 10*log10(std_micfreq);
188
189
190 %Average over mics and events , mean
191 p2_averageacrosseventandmic_mean = 0;
192 p2_averageacrosseventandmic_mean = mean(p2_averageacrossevent(:, 1:6), 2);
193 SPL_averageacrosseventandmic_mean = 0;
194 SPL_averageacrosseventandmic_mean = 10*log10(p2_averageacrosseventandmic_mean);
195
196 %Converting to 1/1 octave for use in Odeon(source)(31.5Hz,63Hz,125Hz..)
197 SPLoctave = [0];
198 for i = 1:size(SPL_averageacrosseventandmic_mean)
199     if mod(i,3) == 0
200         SPLoctave(i/3) = 10*log10(10^(SPL_averageacrosseventandmic_mean ...
201             (i-1)/10) + 10^(SPL_averageacrosseventandmic_mean(i)/10) + ...
202             10^(SPL_averageacrosseventandmic_mean(i+1)/10) );
203     end
204 end
205
206 %AweightingSPL
207 SPLA=0;
208 for i=1:size(Aweight)
209     SPLA(i) =10^((SPL_averageacrosseventandmic_mean(i)-Aweight(i))/10);
210 end
211 ASPL = 10*log10(sum(SPLA));
212
213 %Average over mics and events , max
214 p2_averageacrosseventandmic_max = 0;
215 p2_averageacrosseventandmic_max = mean(p2_averageacrossevent(:, 7:12), 2);
216 SPL_averageacrosseventandmic_max = 0;
217 SPL_averageacrosseventandmic_max = 10*log10(p2_averageacrosseventandmic_max);
218
219 %Average over mics and events , all
220 p2_averageacrosseventandmic_all = 0;
221 p2_averageacrosseventandmic_all = mean(p2_averageacrossevent(:, 1:12), 2);
222 SPL_averageacrosseventandmic_all = 0;

```

```

223 SPL_averageacrosseventandmic_all = 10*log10(p2_averageacrosseventandmic_all);
224
225 %Average over events and freq
226 p2_averageacrosseventandfreq = 0;
227 p2_averageacrosseventandfreq = mean(p2_averageacrossevent);
228 SPL_averageeventandfreq = 0;
229 SPL_averageeventandfreq = 10*log10(p2_averageacrosseventandfreq);
230
231 %Average over everything
232 SPL_p2_averageacrosseventandmicanddoc = 0;
233 SPL_p2_averageacrosseventandmicanddoc = 10*log10(mean((
    p2_averageacrosseventandfreq)));

```

Kodeutsnitt A.1: Hovedscript

A.2 Grafisk utforming av resultater

```

1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
2 % Pick a directory to run from, and CD will load different folders and then
3 % run OROSplotting_PS222222 for the different folders 1 by 1. This will
4 % result in variables and averages for all the different measurementfiles
5 % to be saved in various matrixes for comparison.
6
7
8 % Oskar Andreas Sivertsen , 2016
9
10
11 %% Main file with all the measurementfiles for a total average
12 cd Trikkemaling
13 OROSplotting_PS222222
14 avgall = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
15 maxall = SPL_averageacrosseventandmic_max;
16 SPL_all = SPL_mean;
17 mics_all = averagelist;
18 AverageAllEventFreq = SPL_averageeventandfreq;
19
20 MaxMic = AverageAllEventFreq(7:12);
21 AvgMic = AverageAllEventFreq(1:6);
22
23 %For setting the plots ranges
24 maxyval = max(max(averagelist));
25 maxyval = ceil(maxyval/5)*5;
26
27 %% Loading all the different folders and respective measurementfiles
28 % All different variables will be saved individually for different vehicles
29 % and their directions.
30 cd ('..')
31 cd Trikkemaling/Bussinn
32 OROSplotting_PS222222
33 SPL_bussinn = SPL_mean;
34 mics_bussinn = averagelist;
35 avg_Bussinn = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
36 Ubussinn = Ubar;
37 Lbussinn = Lbar;
38 AvgMicBi = SPL_averageeventandfreq(1:6);
39 stdBussinn = Allmean_std_p2;
40
41 cd ../..

```

```

42 cd Trikkemaling/Bussut
43 OROSplotting_PS222222
44 SPL_bussut = SPL_mean;
45 Averageacrossevent_Bussut = SPL_averageacrossevent;
46 mics_bussut = averagelist;
47 avg_Bussut = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
48 Ubussut = Ubar;
49 Lbussut = Lbar;
50 AvgMicBu = SPL_averageeventandfreq(1:6);
51 stdBussut = Allmean_std_p2;
52
53 cd ../..
54 cd Trikkemaling/SL79inn
55 OROSplotting_PS222222
56 SPL_SL79in = SPL_mean;
57 mics_SL79inn = averagelist;
58 avg_SL79inn = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
59 USL79inn = Ubar;
60 LSL79inn = Lbar;
61 AvgMicSi = SPL_averageeventandfreq(1:6);
62 SPLoctSL79inn = SPLoctave(2:9);
63 stdSL79inn = Allmean_std_p2;
64
65 cd ../..
66 cd Trikkemaling/SL79ut
67 OROSplotting_PS222222
68 SPL_SL79ut = SPL_mean;
69 mics_SL79ut = averagelist;
70 avg_SL79ut = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
71 USL79ut = Ubar;
72 LSL79ut = Lbar;
73 AvgMicSu = SPL_averageeventandfreq(1:6);
74 SPLoctSL79ut = SPLoctave(2:9);
75 stdSL79ut = Allmean_std_p2;
76
77
78 cd ../..
79 cd Trikkemaling/SL95inn
80 OROSplotting_PS222222
81 SPL_SL95in = SPL_mean;
82 mics_SL95inn = averagelist;
83 avg_SL95inn = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
84 USL95inn = Ubar;
85 LSL95inn = Lbar;
86 AvgMicSsi = SPL_averageeventandfreq(1:6);
87 SPLoctSL95inn = SPLoctave(2:9); % For 1/1 oct 63-8kHz
88 stdSL95inn = Allmean_std_p2;
89
90 cd ../..
91 cd Trikkemaling/SL95ut
92 OROSplotting_PS222222
93 SPL_SL95ut = SPL_mean;
94 Averageacrossevent_SL95ut = SPL_averageacrossevent;
95 mics_SL95ut = averagelist;
96 avg_SL95ut = SPL_averageacrosseventandmic_mean;
97 USL95ut = Ubar;
98 LSL95ut = Lbar;
99 AvgMicSsu = SPL_averageeventandfreq(1:6);
100 SPLoctSL95ut = SPLoctave(2:9);
101 stdSL95ut = Allmean_std_p2;
102
103 % CD to get back to starting directory

```

```

104 cd ../../
105 %% Saving the individual variables into matrices to plot them together
106 % Average over event, mic and freq for the different vehicles
107 AvgVehicles = [SPL_bussinn ,SPL_bussut ,SPL_SL79in ,SPL_SL79ut ,SPL_SL95in ,SPL_SL95ut
108 ];
109 % 95%confidence-interval
110 Uconf = [Ubussinn ,Ubussut ,USL79inn ,USL79ut ,USL95inn ,USL95ut ];
111 %Lconf = abs ([Lbussinn ,Lbussut ,LSL79inn ,LSL79ut ,LSL95inn ,LSL95ut ]);
112 Lconf = abs ([-470,-24,LSL79inn ,LSL79ut ,LSL95inn ,LSL95ut ]);
113
114 %Average over event and mic for the different vehicles
115 AvgVehicdir = [avg_Bussinn ,avg_Bussut ,avg_SL79inn ,avg_SL79ut ,avg_SL95inn ,
116 avg_SL95ut ];
117
118 % Std for different vehicles
119 stdALL = [stdBussinn ,stdBussut ,stdSL79inn ,stdSL79ut ,stdSL95inn ,stdSL95ut ];
120
121 %% Plotting
122 % Below is a long list of different plots for all measurementvalues for the
123 % 6 different vehicles/directions. Titles/comments will be explaining what
124 % the different plots are
125
126 % Frequency range: 20–20kHz in 1/3 octave bands
127 frequency_range=[2e+1,2.5e+1,3.15e+1,4e+1,5e+1,6.3e+1,8e+1,1e+2,1.25e+2,...
128 1.6e+2,2e+2,2.5e+2,3.15e+2,4e+2,5e+2,6.3e+2,8e+2,1e+3,1.25e+3,1.6e+3,...
129 2e+3,2.5e+3,3.15e+3,4e+3,5e+3,6.3e+3,8e+3,1e+4,1.25e+4,1.6e+4,2e+4];
130
131 color = [ 'r' , 'b' , 'y' , 'g' , 'm' , 'k' ];
132
133 iv = [1:length(frequency_range)];
134
135 % Naming the x-axis values
136 labelvec{1} = '31.5';
137 labelvec{2} = '63';
138 labelvec{3} = '125';
139 labelvec{4} = '250';
140 labelvec{5} = '500';
141 labelvec{6} = '1k';
142 labelvec{7} = '2k';
143 labelvec{8} = '4k';
144 labelvec{9} = '8k';
145 labelvec{10} = '16k';
146 %% Buss inn
147 figure(1)
148 h1 = plot(iv ,mics_bussinn (:,1:3));
149 hold on
150 plot(iv ,mics_bussinn (:,5:6));
151 hldiagram = get(h1(1), 'Parent');
152 set(hldiagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
153 set(hldiagram, 'XTickLabel', labelvec)
154 set(hldiagram, 'FontSize', 14);
155 ylim ([maxyval-50 maxyval-5])
156 grid
157 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
158 set(g, 'FontSize', 14);
159 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
160 set(g, 'FontSize', 14);
161 g = title('Bus in noise measurements avg');
162 set(g, 'FontSize', 14);
163 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');

```

```

164 figure(2)
165 h2 = plot(iv, mics_bussinn(:,7:9));
166 hold on
167 plot(iv, mics_bussinn(:,11:12));
168 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
169 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
170 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
171 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
172 ylim([maxyval-40 maxyval+7])
173 grid
174 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
175 set(g, 'FontSize', 14);
176 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
177 set(g, 'FontSize', 14);
178 g = title('Bus in noise measurement max');
179 set(g, 'FontSize', 14);
180 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
181
182 %% Buss ut
183 figure(3)
184 h1 = plot(iv, mics_bussut(:,1:3));
185 hold on
186 plot(iv, mics_bussut(:,5:6));
187 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
188 set(h1diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
189 set(h1diagram, 'XTickLabel', labelvec)
190 set(h1diagram, 'FontSize', 14);
191 ylim([maxyval-50 maxyval+10])
192 grid
193 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
194 set(g, 'FontSize', 14);
195 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
196 set(g, 'FontSize', 14);
197 g = title('Bus out noise measurements avg');
198 set(g, 'FontSize', 14);
199 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
200
201 figure(4)
202 h2 = plot(iv, mics_bussut(:,7:9));
203 hold on
204 plot(iv, mics_bussut(:,11:12));
205 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
206 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
207 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
208 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
209 ylim([maxyval-40 maxyval+10])
210 grid
211 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
212 set(g, 'FontSize', 14);
213 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
214 set(g, 'FontSize', 14);
215 g = title('Bus out noise measurement max');
216 set(g, 'FontSize', 14);
217 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
218
219 %% SL79 inn
220 figure(5)
221 h1 = plot(iv, mics_SL79inn(:,1:3));
222 hold on
223 plot(iv, mics_SL79inn(:,5:6));
224 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
225 set(h1diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);

```



```

226 set(h1diagram,'XTickLabel',labelvec)
227 set(h1diagram,'FontSize',14);
228 ylim([maxyval-50 maxyval-10])
229 grid
230 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
231 set(g,'FontSize',14);
232 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
233 set(g,'FontSize',14);
234 g = title('SL79 in noise measurements avg');
235 set(g,'FontSize',14);
236 g = legend('4.9m','4.4m','3.6m','2.4m','1.75m');
237
238 figure(6)
239 h2 = plot(iv,mics_SL79inn(:,7:9));
240 hold on
241 plot(iv,mics_SL79inn(:,11:12));
242 h2diagram = get(h2(1),'Parent');
243 set(h2diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
244 set(h2diagram,'XTickLabel',labelvec)
245 set(h2diagram,'FontSize',14);
246 ylim([maxyval-40 maxyval])
247 grid
248 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
249 set(g,'FontSize',14);
250 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
251 set(g,'FontSize',14);
252 g = title('SL79 in noise measurement max');
253 set(g,'FontSize',14);
254 g = legend('4.9m','4.4m','3.6m','2.4m','1.75m');
255
256 %% SL79 ut
257 figure(7)
258 h1 = plot(iv,mics_SL79ut(:,1:3));
259 hold on
260 plot(iv,mics_SL79ut(:,5:6));
261 h1diagram = get(h1(1),'Parent');
262 set(h1diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
263 set(h1diagram,'XTickLabel',labelvec)
264 set(h1diagram,'FontSize',14);
265 ylim([45 90])
266 grid
267 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
268 set(g,'FontSize',14);
269 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
270 set(g,'FontSize',14);
271 g = title('SL79 out noise measurements avg');
272 set(g,'FontSize',14);
273 g = legend('4.9m','4.4m','3.6m','2.4m','1.75m');
274
275
276 figure(8)
277 h2 = plot(iv,mics_SL79ut(:,7:9));
278 hold on
279 plot(iv,mics_SL79ut(:,11:12));
280 h2diagram = get(h2(1),'Parent');
281 set(h2diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
282 set(h2diagram,'XTickLabel',labelvec)
283 set(h2diagram,'FontSize',14);
284 ylim([maxyval-40 maxyval])
285 grid
286 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
287 set(g,'FontSize',14);

```

```

288 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
289 set(g, 'FontSize', 14);
290 g = title('SL79 out noise measurement max');
291 set(g, 'FontSize', 14);
292 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
293
294 %% SL95 inn
295 figure(9)
296 h1 = plot(iv, mics_SL95inn(:, 1:3));
297 hold on
298 plot(iv, mics_SL95inn(:, 5:6));
299 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
300 set(h1diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
301 set(h1diagram, 'XTickLabel', labelvec)
302 set(h1diagram, 'FontSize', 14);
303 ylim([45 90])
304 grid
305 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
306 set(g, 'FontSize', 14);
307 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
308 set(g, 'FontSize', 14);
309 g = title('SL95 in noise measurements avg');
310 set(g, 'FontSize', 14);
311 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
312
313
314 figure(10)
315 h2 = plot(iv, mics_SL95inn(:, 7:9));
316 hold on
317 plot(iv, mics_SL95inn(:, 11:12));
318 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
319 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
320 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
321 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
322 ylim([45 90])
323 grid
324 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
325 set(g, 'FontSize', 14);
326 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
327 set(g, 'FontSize', 14);
328 g = title('SL95 in noise measurement max');
329 set(g, 'FontSize', 14);
330 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
331
332 %% SL95 ut
333 figure(11)
334 h1 = plot(iv, mics_SL95ut(:, 1:3));
335 hold on
336 plot(iv, mics_SL95ut(:, 5:6));
337 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
338 set(h1diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
339 set(h1diagram, 'XTickLabel', labelvec)
340 set(h1diagram, 'FontSize', 14);
341 ylim([maxyval-50 maxyval-6])
342 grid
343 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
344 set(g, 'FontSize', 14);
345 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
346 set(g, 'FontSize', 14);
347 g = title('SL95 out noise measurements avg');
348 set(g, 'FontSize', 14);
349 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');

```

```

350
351 figure(12)
352 h2 = plot(iv , mics_SL95ut (:,7:9));
353 hold on
354 plot(iv , mics_SL95ut (:,11:12));
355 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
356 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
357 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
358 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
359 ylim([maxyval-40 maxyval+3])
360 grid
361 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
362 set(g, 'FontSize', 14);
363 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
364 set(g, 'FontSize', 14);
365 g = title('SL95 out noise measurement max');
366 set(g, 'FontSize', 14);
367 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
368
369
370 %% Average over vehicles
371
372 figure(13)
373 inaverages = AvgVehicles;
374 trainbar{1} = 'Bus in';
375 trainbar{2} = 'Bus out';
376 trainbar{3} = 'SL79 in';
377 trainbar{4} = 'SL79 out';
378 trainbar{5} = 'SL95 in';
379 trainbar{6} = 'SL95 out';
380 h1 = bar(inaverages);
381 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
382 set(h1diagram, 'XTick', [1 2 3 4 5 6]);
383 set(h1diagram, 'XTickLabel', trainbar)
384 set(h1diagram, 'FontSize', 10);
385 grid
386 ylim([65 85])
387 g = xlabel('Vehicle type and direction');
388 set(g, 'FontSize', 14);
389 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
390 set(g, 'FontSize', 14);
391 g = title('Average across vehicles ');
392 set(g, 'FontSize', 14);
393
394
395 %% Konfidensintervall
396 figure(14)
397 %trainbar{1} = 'Bus in';
398 %trainbar{2} = 'Bus out';
399 trainbar{1} = 'SL79 in';
400 trainbar{2} = 'SL79 out';
401 trainbar{3} = 'SL95 in';
402 trainbar{4} = 'SL95 out';
403 %h1 = errorbar(1:6, AvgVehicles, Lconf, Uconf, 'X');
404 w1 = 0.5;
405 w2 = 0.5;
406 w3 = 0.5;
407 h1 = bar(3:6, AvgVehicles(3:6)+Uconf(3:6), w1, 'FaceColor', [1 0 0]);
408 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
409 set(h1diagram, 'XTick', [3 4 5 6]);
410 set(h1diagram, 'XTickLabel', trainbar)
411 set(h1diagram, 'FontSize', 10);

```

```

412 grid
413 ylim([55 80])
414 g = xlabel('Vehicle type and direction');
415 set(g, 'FontSize',14);
416 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
417 set(g, 'FontSize',14);
418 g = title('Average across vehicles ');
419 set(g, 'FontSize',14);
420 hold on
421 bar(3:6, AvgVehicles(3:6)+0.20,w2, 'FaceColor',[0 1 0])
422 hold on
423 bar(3:6, AvgVehicles(3:6)-0.20,w2, 'FaceColor',[1 0 0])
424 hold on
425 bar(3:6, AvgVehicles(3:6) - Lconf(3:6),w3, 'FaceColor',[0 0 1])
426 legend('95% Confidence interval', 'Mean value');
427
428 %% All
429 figure(15)
430 h1 = plot(iv, maxall, iv, avgall);
431 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
432 set(h1diagram, 'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
433 set(h1diagram, 'XTickLabel',labelvec)
434 set(h1diagram, 'FontSize',14);
435 ylim([maxyval-40 maxyval])
436 grid
437 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
438 set(g, 'FontSize',14);
439 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
440 set(g, 'FontSize',14);
441 g = title('Measurement avg over all microphones ');
442 set(g, 'FontSize',14);
443 g = legend('max', 'mean');
444
445 figure(16)
446 h2 = plot(iv, mics_all(:,1:3));
447 hold on
448 plot(iv, mics_all(:,5:6));
449 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
450 set(h2diagram, 'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
451 set(h2diagram, 'XTickLabel',labelvec)
452 set(h2diagram, 'FontSize',14);
453 ylim([60 95])
454 grid
455 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
456 set(g, 'FontSize',14);
457 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
458 set(g, 'FontSize',14);
459 g = title('Average of all measurements, vehicles and directions');
460 set(g, 'FontSize',14);
461 g = legend('4.9m', '4.4m', '3.6m', '2.4m', '1.75m');
462
463 %% Comparisons on directions per vehicle
464 figure(17)
465 h2 = plot(iv, AvgVehicdir(:,1:2));
466 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
467 set(h2diagram, 'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
468 set(h2diagram, 'XTickLabel',labelvec)
469 set(h2diagram, 'FontSize',14);
470 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
471 grid
472 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
473 set(g, 'FontSize',14);

```

```

474 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
475 set(g, 'FontSize', 14);
476 g = title('Bus directions averaged over mics');
477 set(g, 'FontSize', 14);
478 g = legend('Bus in', 'Bus out');
479
480 figure(18)
481 h2 = plot(iv, AvgVehicdir(:, 3:4));
482 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
483 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
484 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
485 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
486 ylim([50 85])
487 grid
488 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
489 set(g, 'FontSize', 14);
490 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
491 set(g, 'FontSize', 14);
492 g = title('SL79 directions averaged over mics');
493 set(g, 'FontSize', 14);
494 g = legend('SL79 in', 'SL79 out');
495
496 figure(19)
497 h2 = plot(iv, AvgVehicdir(:, 5:6));
498 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
499 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
500 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
501 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
502 ylim([50 85])
503 grid
504 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
505 set(g, 'FontSize', 14);
506 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
507 set(g, 'FontSize', 14);
508 g = title('SL95 directions averaged over mics');
509 set(g, 'FontSize', 14);
510 g = legend('SL95 in', 'SL95 out');
511
512 figure(20)
513 h2 = plot(iv, AvgVehicdir(:, 1), iv, AvgVehicdir(:, 3), iv, AvgVehicdir(:, 5));
514 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
515 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
516 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
517 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
518 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
519 grid
520 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
521 set(g, 'FontSize', 14);
522 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
523 set(g, 'FontSize', 14);
524 g = title('Vehicles going in averaged over mics');
525 set(g, 'FontSize', 14);
526 g = legend('Buss inn', 'SL79 inn', 'SL95 inn');
527
528 figure(21)
529 h2 = plot(iv, AvgVehicdir(:, 2), iv, AvgVehicdir(:, 4), iv, AvgVehicdir(:, 6));
530 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
531 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
532 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
533 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
534 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
535 grid

```

```

536 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
537 set(g, 'FontSize',14);
538 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
539 set(g, 'FontSize',14);
540 g = title('Vehicles going out averaged over mics');
541 set(g, 'FontSize',14);
542 g = legend('Buss ut', 'SL79 ut', 'SL95 ut');
543
544 figure(22)
545 h2 = plot(iv, AvgVehicdir);
546 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
547 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
548 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
549 set(h2diagram, 'FontSize',14);
550 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
551 grid
552 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
553 set(g, 'FontSize',14);
554 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
555 set(g, 'FontSize',14);
556 g = title('Vehicles and their direction - averaged over mics');
557 set(g, 'FontSize',14);
558 g = legend('Buss inn', 'Buss ut', 'SL79 inn', 'SL79 ut', 'SL95 inn', 'SL95 ut');
559
560 %% Plotting of Max and Avg mic-values averaged across event and freq.(BAR)
561 figure(23)
562 %Widths for barplot
563 w1= 0.5;
564 w2 = 0.25;
565 trainbar{1} = '4.90m';
566 trainbar{2} = '4.40m';
567 trainbar{3} = '3.60m';
568 trainbar{4} = '2.40m';
569 trainbar{5} = '1.75m';
570 h1 = bar(1:3, MaxMic(1:3), w1, 'FaceColor', [0.2 0.2 0.5]);
571 hold on
572 bar(4:5, MaxMic(5:6), w1, 'FaceColor', [0.2 0.2 0.5]);
573 h1diagram = get(h1(1), 'Parent');
574 set(h1diagram, 'XTick', [1 2 3 4 5]);
575 set(h1diagram, 'XTickLabel', trainbar)
576 set(h1diagram, 'FontSize',10);
577 grid
578 ylim([70 85])
579 g = xlabel('Microphones heights ');
580 set(g, 'FontSize',14);
581 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
582 set(g, 'FontSize',14);
583 g = title('Maximum- and average values across microphones');
584 set(g, 'FontSize',14);
585 hold on
586 h2 = bar(1:3, AvgMic(1:3), w2, 'FaceColor', [1 0.1 0.1]);
587 bar(4:5, AvgMic(5:6), w2, 'FaceColor', [1 0.1 0.1]);
588 legend([h1, h2], 'Max-values', 'Time-averaged values', 'Location', 'northwest')
589
590 %% Mics over distance(All directions compared at same mic)
591 figure(24)
592 h2 = plot(iv, mics_bussinn(:,1), iv, mics_bussut(:,1), iv, mics_SL79inn(:,1), iv,
593         mics_SL79ut(:,1), iv, mics_SL95inn(:,1), iv, mics_SL95ut(:,1));
594 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
595 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
596 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)

```

```

597 set(h2diagram,'FontSize',14);
598 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
599 grid
600 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
601 set(g,'FontSize',14);
602 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
603 set(g,'FontSize',14);
604 g = title('Vehicles/direction at microphone at 4.9m');
605 set(g,'FontSize',14);
606 g = legend('Buss inn','Buss ut','SL79 inn','SL79 ut','SL95 inn','SL95 ut');
607
608 figure(25)
609 h2 = plot(iv,mics_bussinn(:,2),iv,mics_bussut(:,2),iv,mics_SL79inn(:,2),iv,
        mics_SL79ut(:,2),iv,mics_SL95inn(:,2),iv,mics_SL95ut(:,2));
610 h2diagram = get(h2(1),'Parent');
611 set(h2diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
612 set(h2diagram,'XTickLabel',labelvec)
613 set(h2diagram,'FontSize',14);
614 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
615 grid
616 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
617 set(g,'FontSize',14);
618 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
619 set(g,'FontSize',14);
620 g = title('Vehicles/direction at microphone at 4.4m');
621 set(g,'FontSize',14);
622 g = legend('Buss inn','Buss ut','SL79 inn','SL79 ut','SL95 inn','SL95 ut');
623
624 figure(26)
625 h2 = plot(iv,mics_bussinn(:,3),iv,mics_bussut(:,3),iv,mics_SL79inn(:,3),iv,
        mics_SL79ut(:,3),iv,mics_SL95inn(:,3),iv,mics_SL95ut(:,3));
626 h2diagram = get(h2(1),'Parent');
627 set(h2diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
628 set(h2diagram,'XTickLabel',labelvec)
629 set(h2diagram,'FontSize',14);
630 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
631 grid
632 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
633 set(g,'FontSize',14);
634 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
635 set(g,'FontSize',14);
636 g = title('Vehicles/direction at microphone at 3.6m');
637 set(g,'FontSize',14);
638 g = legend('Buss inn','Buss ut','SL79 inn','SL79 ut','SL95 inn','SL95 ut');
639
640 figure(27)
641 h2 = plot(iv,mics_bussinn(:,4),iv,mics_bussut(:,4),iv,mics_SL79inn(:,4),iv,
        mics_SL79ut(:,4),iv,mics_SL95inn(:,4),iv,mics_SL95ut(:,4));
642 h2diagram = get(h2(1),'Parent');
643 set(h2diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
644 set(h2diagram,'XTickLabel',labelvec)
645 set(h2diagram,'FontSize',14);
646 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
647 grid
648 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
649 set(g,'FontSize',14);
650 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
651 set(g,'FontSize',14);
652 g = title('Vehicles/direction at microphone at 3.1m');
653 set(g,'FontSize',14);
654 g = legend('Buss inn','Buss ut','SL79 inn','SL79 ut','SL95 inn','SL95 ut');
655

```

```

656 figure(28)
657 h2 = plot(iv , mics_bussinn(:,5) , iv , mics_bussut(:,5) , iv , mics_SL79inn(:,5) , iv ,
        mics_SL79ut(:,5) , iv , mics_SL95inn(:,5) , iv , mics_SL95ut(:,5));
658 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
659 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
660 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
661 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
662 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
663 grid
664 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
665 set(g, 'FontSize', 14);
666 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
667 set(g, 'FontSize', 14);
668 g = title('Vehicles/direction at microphone at 2.4m');
669 set(g, 'FontSize', 14);
670 g = legend('Buss inn', 'Buss ut', 'SL79 inn', 'SL79 ut', 'SL95 inn', 'SL95 ut');
671
672 figure(29)
673 h2 = plot(iv , mics_bussinn(:,6) , iv , mics_bussut(:,6) , iv , mics_SL79inn(:,6) , iv ,
        mics_SL79ut(:,6) , iv , mics_SL95inn(:,6) , iv , mics_SL95ut(:,6));
674 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
675 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
676 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
677 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
678 ylim([maxyval-40 maxyval+2])
679 grid
680 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
681 set(g, 'FontSize', 14);
682 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
683 set(g, 'FontSize', 14);
684 g = title('Vehicles/direction at microphone at 1.75m');
685 set(g, 'FontSize', 14);
686 g = legend('Buss inn', 'Buss ut', 'SL79 inn', 'SL79 ut', 'SL95 inn', 'SL95 ut');
687
688 figure(30)
689 h2 = plot(iv , AvgVehicdir(:,3:6));
690 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
691 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
692 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
693 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
694 ylim([55 85])
695 grid
696 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
697 set(g, 'FontSize', 14);
698 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
699 set(g, 'FontSize', 14);
700 g = title('SL79 and SL95 directions averaged over mics');
701 set(g, 'FontSize', 14);
702 g = legend('SL79 in', 'SL79 out', 'SL95 inn', 'SL95 ut');
703
704 figure(31)
705 h2 = plot(iv , (AvgVehicdir(:,3)+AvgVehicdir(:,4))/2 , iv , (AvgVehicdir(:,5)+
        AvgVehicdir(:,6))/2);
706 h2diagram = get(h2(1), 'Parent');
707 set(h2diagram, 'XTick', [3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
708 set(h2diagram, 'XTickLabel', labelvec)
709 set(h2diagram, 'FontSize', 14);
710 ylim([55 85])
711 grid
712 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
713 set(g, 'FontSize', 14);
714 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');

```



```

715 set(g, 'FontSize', 14);
716 g = title('SL79 and SL95 directions averaged over mics and directions');
717 set(g, 'FontSize', 14);
718 g = legend('SL79', 'SL95');
719
720 figure(32)
721 %Widths for barplot
722 w1= 0.5;
723 w2 = 0.25;
724 trainbar{1} = '4.90m';
725 trainbar{2} = '4.40m';
726 trainbar{3} = '3.60m';
727 trainbar{4} = '2.40m';
728 trainbar{5} = '1.75m';
729 h1 = bar(1:3, AvgMicSsu(1:3), w1, 'FaceColor', [0.2 0.2 0.5]);
730 hldiagram = get(h1(1), 'Parent');
731 set(hldiagram, 'XTick', [1 2 3 4 5]);
732 set(hldiagram, 'XTickLabel', trainbar)
733 set(hldiagram, 'FontSize', 10);
734 grid
735 ylim([67 86])
736 g = xlabel('Microphone heights ');
737 set(g, 'FontSize', 14);
738 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
739 set(g, 'FontSize', 14);
740 g = title('Average for mics, SL95');
741 set(g, 'FontSize', 14);
742 hold on
743 bar(4:5, AvgMicSsu(5:6), w1, 'FaceColor', [0.2 0.2 0.5]);
744 h2 = bar(1:3, AvgMicSsi(1:3), w2, 'FaceColor', [1 0.1 0.1]);
745 bar(4:5, AvgMicSsi(5:6), w2, 'FaceColor', [1 0.1 0.1]);
746 legend([h1, h2], 'Out', 'In', 'Location', 'northwest')
747
748 figure(33)
749 %Widths for barplot
750 w1= 0.5;
751 w2 = 0.25;
752 trainbar{1} = '4.90m';
753 trainbar{2} = '4.40m';
754 trainbar{3} = '3.60m';
755 trainbar{4} = '2.40m';
756 trainbar{5} = '1.75m';
757 h1 = bar(1:3, AvgMicSu(1:3), w1, 'FaceColor', [0.2 0.2 0.5]);
758 hldiagram = get(h1(1), 'Parent');
759 set(hldiagram, 'XTick', [1 2 3 4 5]);
760 set(hldiagram, 'XTickLabel', trainbar)
761 set(hldiagram, 'FontSize', 10);
762 grid
763 ylim([67 86])
764 g = xlabel('Microphone heights ');
765 set(g, 'FontSize', 14);
766 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
767 set(g, 'FontSize', 14);
768 g = title('Average for mics, SL79');
769 set(g, 'FontSize', 14);
770 hold on
771 bar(4:5, AvgMicSu(5:6), w1, 'FaceColor', [0.2 0.2 0.5]);
772 h2 = bar(1:3, AvgMicSi(1:3), w2, 'FaceColor', [1 0.1 0.1]);
773 bar(4:5, AvgMicSi(5:6), w2, 'FaceColor', [1 0.1 0.1]);
774 legend([h1, h2], 'Out', 'In', 'Location', 'northwest')
775
776 figure(34)

```

```

777 %Widths for barplot
778 w1= 0.5;
779 w2 = 0.25;
780 trainbar{1} = '4.90m';
781 trainbar{2} = '4.40m';
782 trainbar{3} = '3.60m';
783 trainbar{4} = '2.40m';
784 trainbar{5} = '1.75m';
785 h1 = bar(1:3,AvgMicBu(1:3),w1,'FaceColor',[0.2 0.2 0.5]);
786 h1diagram = get(h1(1),'Parent');
787 set(h1diagram,'XTick',[1 2 3 4 5]);
788 set(h1diagram,'XTickLabel',trainbar)
789 set(h1diagram,'FontSize',10);
790 grid
791 ylim([67 86])
792 g = xlabel('Microphone heights ');
793 set(g,'FontSize',14);
794 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
795 set(g,'FontSize',14);
796 g = title('Average for mics, Bus');
797 set(g,'FontSize',14);
798 hold on
799 bar(4:5,AvgMicBu(5:6),w1,'FaceColor',[0.2 0.2 0.5]);
800 h2 = bar(1:3,AvgMicBi(1:3),w2,'FaceColor',[1 0.1 0.1]);
801 bar(4:5,AvgMicBi(5:6),w2,'FaceColor',[1 0.1 0.1]);
802
803 legend([h1,h2],'Out','In','Location','northwest')
804
805
806
807 % Plot of A-weight
808 figure(35)
809 h1 = plot(1:31,-Aweight);
810 h1diagram = get(h1(1),'Parent');
811 set(h1diagram,'XTick',[3 6 9 12 15 18 21 24 27 30]);
812 set(h1diagram,'XTickLabel',labelvec)
813 set(h1diagram,'FontSize',14);
814 grid
815 g = xlabel('Frequency [Hz] 1/3 octave bands');
816 set(g,'FontSize',14);
817 g = ylabel('Sound pressure level [dB] ');
818 set(g,'FontSize',14);
819 g = title('A-weight');
820 set(g,'FontSize',14);
821 xlim([0 32])
822
823
824
825 figure(36)
826 %Widths for barplot
827 w1 = 0.8;
828 w2 = 0.6;
829 w3 = 0.4;
830 w4 = 0.2;
831 trainbar{1} = '4.90m';
832 trainbar{2} = '4.40m';
833 trainbar{3} = '3.60m';
834 trainbar{4} = '2.40m';
835 trainbar{5} = '1.75m';
836 h1 = bar(1:3,AvgMicSu(1:3),w1,'FaceColor',[0 0 1]);
837 h1diagram = get(h1(1),'Parent');
838 set(h1diagram,'XTick',[1 2 3 4 5]);

```

```

839 set(h1diagram, 'XTickLabel', trainbar)
840 set(h1diagram, 'FontSize', 10);
841 grid
842 ylim([67 80])
843 g = xlabel('Microphone heights ');
844 set(g, 'FontSize', 14);
845 g = ylabel('Sound pressure level [dB]');
846 set(g, 'FontSize', 14);
847 g = title('Measured average for vehicles');
848 set(g, 'FontSize', 14);
849 hold on
850 bar(4:5, AvgMicSu(5:6), w1, 'FaceColor', [0 0 1]);
851 h2 = bar(1:3, AvgMicSi(1:3), w2, 'FaceColor', [1 0 0]);
852 bar(4:5, AvgMicSsi(5:6), w2, 'FaceColor', [1 0 0]);
853 h3 = bar(1:3, AvgMicSsu(1:3), w3, 'FaceColor', [0.3 0.3 0.8]);
854 bar(4:5, AvgMicSsu(5:6), w3, 'FaceColor', [0.3 0.3 0.8]);
855 h4 = bar(1:3, AvgMicSsi(1:3), w4, 'FaceColor', [0.8 0.3 0.3]);
856 bar(4:5, AvgMicSsi(5:6), w4, 'FaceColor', [0.8 0.3 0.3]);
857 legend([h1, h2, h3, h4], 'SL79 ut', 'SL79 inn', 'SL95 ut', 'SL95 inn', 'Location', '
northwest')

```

Kodeutsnitt A.2: Gjennomkjøring og grafing

B. NVGATE

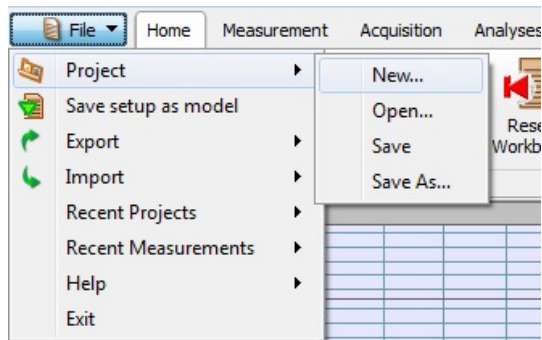
B.1 NVGATE Guide

Dette er skrevet som en kort introduksjon til å sette opp og organisere et prosjekt for målinger av AvnOct og MaxOct med OROS.

Det første som skal gjøres er å slå på OROS, samt at denne er koblet til PC med TCP-kabel. NVGATE(B.1) åpnes og man kan starte et prosjekt(B.2).

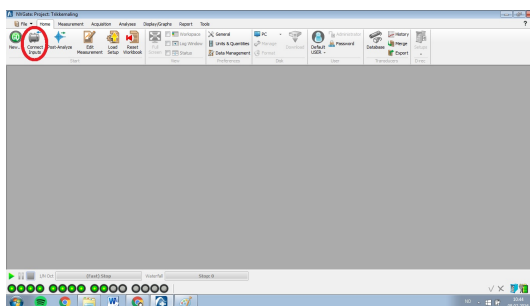


Figur B.1: NVGATE ikon



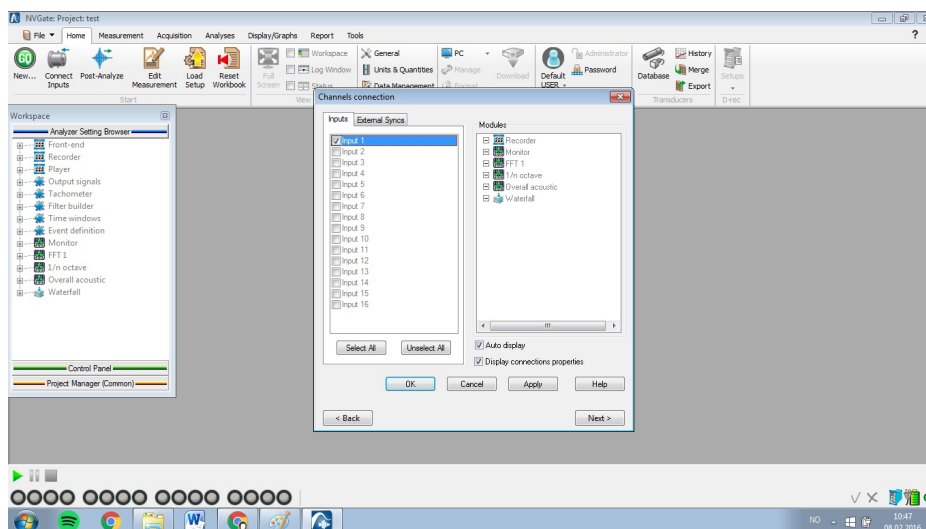
Figur B.2: Prosjekt

Når man har laget et prosjekt kan man gå videre til å koble til sine enheter. Dersom man har fysisk koblet til mikrofoner/utstyr til OROS er neste punkt å trykke "Connect Inputs"(B.3).



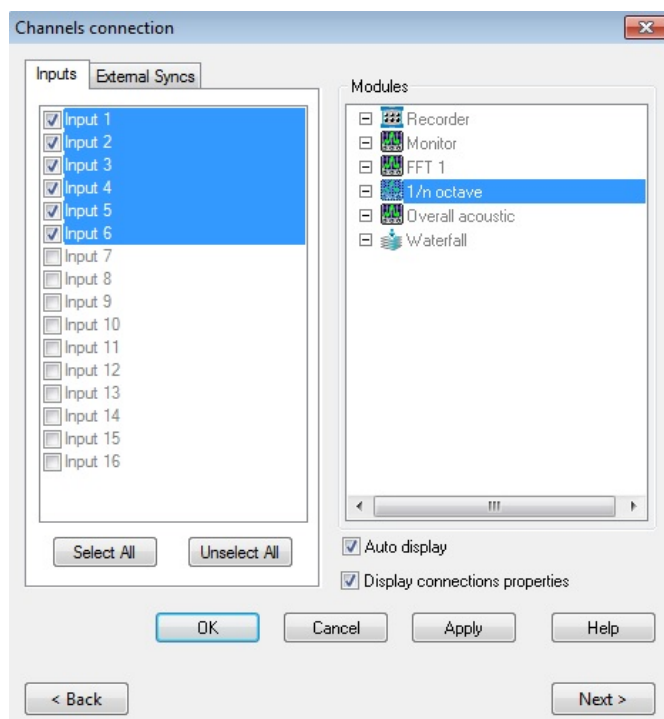
Figur B.3: Connect

Man får da opp følgende bilde:



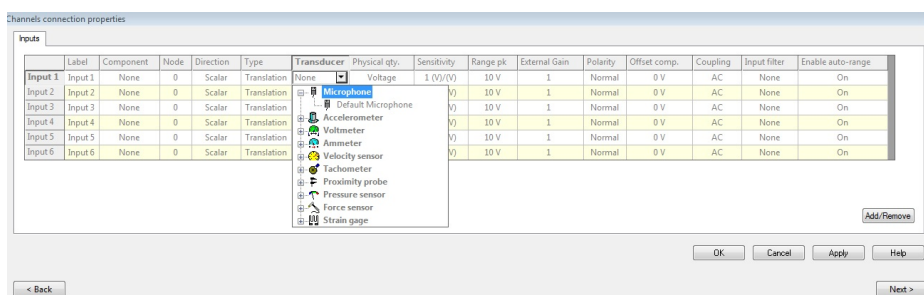
Figur B.4: Velg inputs

Ved å velge ferdig antall inputs man skal bruke, kan man dra disse over til hvilken modul man vil bruke. I dette prosjektet brukes ”1/n octave”



Figur B.5: Modulvalg

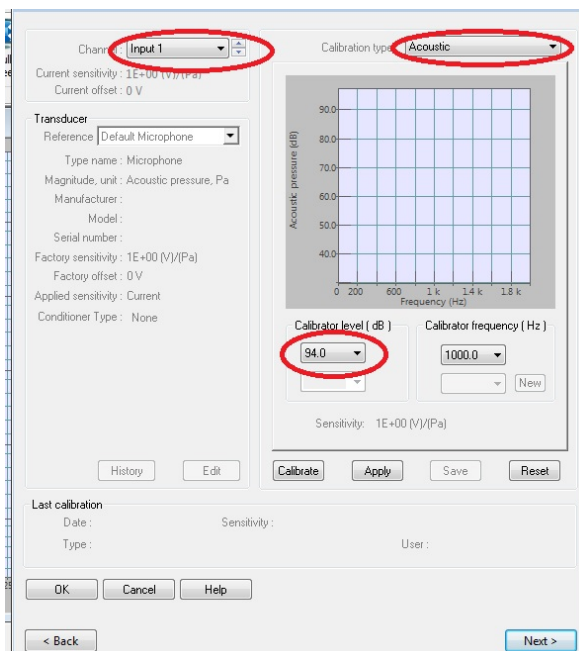
Når alle inputs er tilkoblet og man har valgt hvilken modul som skal brukes, trykkes next, og dette bildet kommer opp:



Figur B.6: Inputoversikt

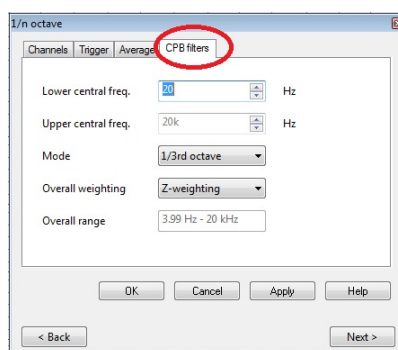
I dette vinduet må man definere enhetene og dette gjøres ved å klikke på de forskjellige rutene og å endre deres egenskaper. Dersom man bruker mikrofoner endrer man ”Transducer” til ”Microphone - Default Microphone”.(Sensitivity vil endres her etter man har kalibrert)

I neste steg kan man kalibrere mikrofonene. For å gjennomføre kalibrering velger man input, hvilken type kalibrator og hva slags kalibrering man skal bruke. Ved å plassere mikrofonen i kalibratoren og å gjentatte ganger kjøre "Calibrate" og "Apply", til man får en skarp peak ved det angitte nivået, og mikrofonen er kalibrert.



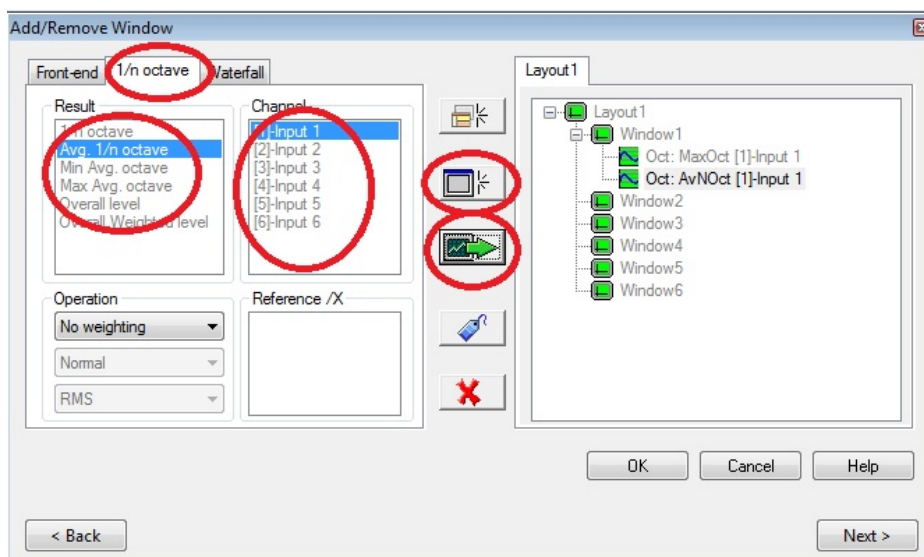
Figur B.7: Kalibrering

Ved å trykke seg videre ved å trykke "Next" kommer man til vinduet hvor man kan velge målerekkevidden man skal bruke i oppsettet.



Figur B.8: Range

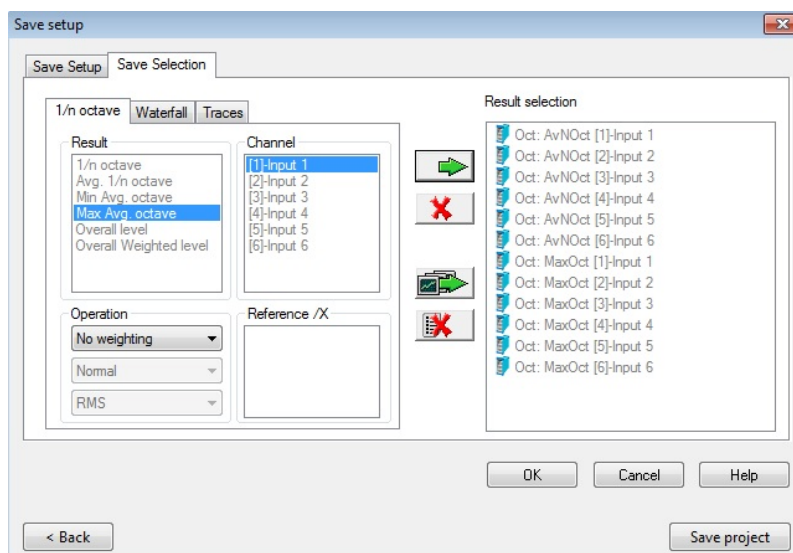
For å velge hva som skal vises i selve prosjektet når man kjører målinger, trykker man seg videre til "Add/Remove Window":



Figur B.9: Valg av visning

Her kan man velge av forskjellige måletyper og å legge disse inn i forskjellige vinduer. Ved å trykke på den grønne pilen merket av "nederst til høyre", legger man inn den valgte kvaliteten i det valgte vindu. Man kan legge til flere vinduer ved å trykke på firkanten ovenfor pilen.

Som siste steg av oppsettet kan man velge hva som skal lagres og hvordan det lagres. Dette vises i figur B.10

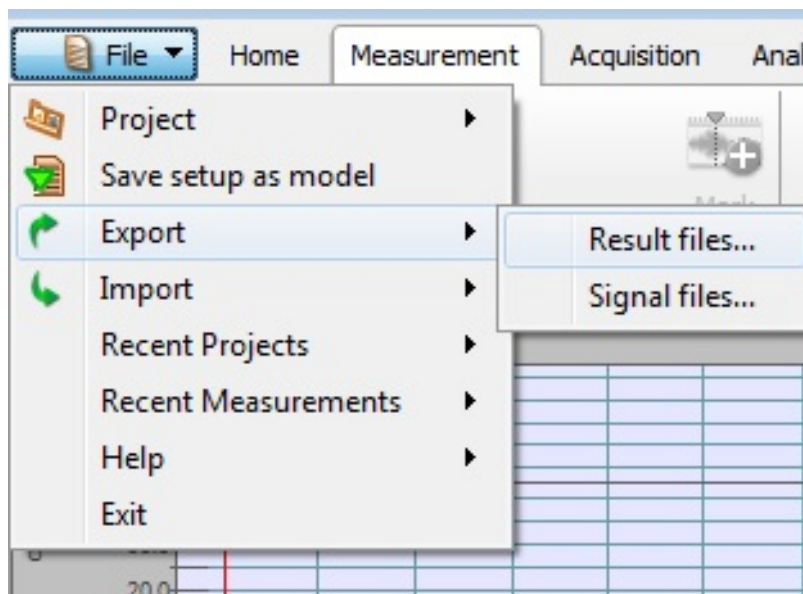


Figur B.10: Lagringsoppsett

Man må da velge de forskjellige kanalene man bruker, og hvilke typer måleresultat man skal lagre for disse.

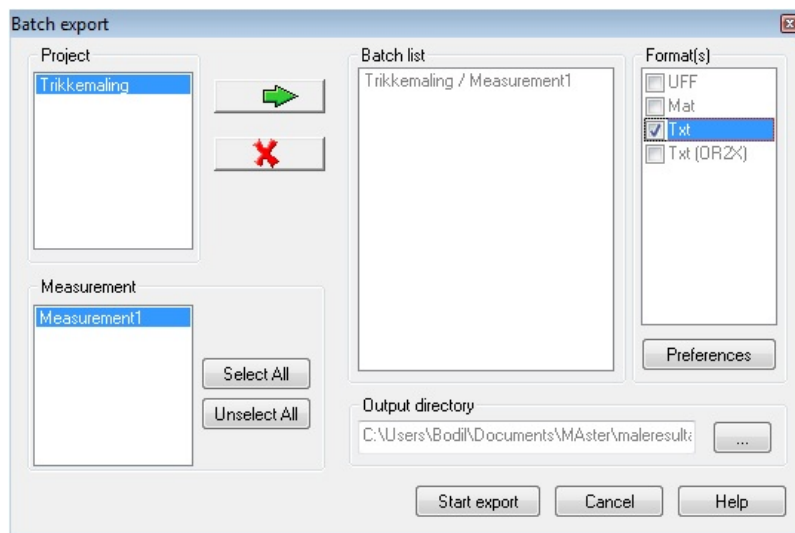
Prosjektet lagres så under det navnet man startet prosjektet under, og kan lastes inn til senere bruk ved lignende oppsett.

Når målingene er gjennomført kan resultatene eksporteres i tekstfiler ved å gjøre som vist i figur B.11



Figur B.11: Eksportering av tekstfil

I figur B.12 ser man oppsettet for eksportering. Man kan velge hvilket format man vil bruke, og fra hvilke målinger/prosjekter man vil eksportere filer fra. Ved å velge "Output directory" kan man velge hvor man vil lagre filene.



Figur B.12: Eksportering av tekstfil

Det er alltid mulig å trykke "Connect Inputs" og å bla seg igjennom hele oppsettet og lett endre innstillinger i prosjektet.

C. Datablad SL79 og SL95

Hentet fra *Norske lok og motorvogner* 1.1.2008, Gaarder, Nilsson, Rasten og Sando.

<p>Oslo Sporvognsdrift AS SL79/I 101-125 = 25 stk.</p>  <p>122 på Duxen 1.3.2008 © Håkon Kinck Gaarder</p> <table border="0"> <tr> <td>Akselrekkefølge</td> <td>B'2'B'</td> <td>Hjuldiameter</td> <td>680 mm</td> </tr> <tr> <td>Motorer</td> <td>2 x NEBB 4ELO 2054B</td> <td>Egenvekt</td> <td>32,8 tonn</td> </tr> <tr> <td>Timeytelse</td> <td>434 kW/590 hk</td> <td>Største hastighet</td> <td>70/80 km/h</td> </tr> <tr> <td>Motorregulering</td> <td>71¹</td> <td>Sitteplasser</td> <td>71¹</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>tyristorbaseret chopper</td> <td>Sitteplasser</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Lengde o.s.</td> <td>22 400 mm</td> <td>Byggeår</td> <td>1982-83</td> </tr> <tr> <td>Bredde</td> <td>2 500 mm</td> <td>Bygget av</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Boggihjulstand</td> <td>1 800 mm</td> <td>.....</td> <td>Duewag, Strømmen, NEBB</td> </tr> <tr> <td>Boggisenteravstand</td> <td>2 x 7 700 mm</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>¹ Hvorav åtte klappstjer ved dør 2 og 3. 204</p>	Akselrekkefølge	B'2'B'	Hjuldiameter	680 mm	Motorer	2 x NEBB 4ELO 2054B	Egenvekt	32,8 tonn	Timeytelse	434 kW/590 hk	Største hastighet	70/80 km/h	Motorregulering	71 ¹	Sitteplasser	71 ¹	tyristorbaseret chopper	Sitteplasser	66	Lengde o.s.	22 400 mm	Byggeår	1982-83	Bredde	2 500 mm	Bygget av	Boggihjulstand	1 800 mm	Duewag, Strømmen, NEBB	Boggisenteravstand	2 x 7 700 mm			 <p>117 halvtra ved Kirkeristen 10.4.2008 © Svein Sandø</p> <p>Brems: Elektrisk motorbrems som driftsbrms (alt. motstand / tilbakemating), trykkluftstøtt fjærkraftbrms, seks stk. 24 V skinnbrems.</p> <p>Vognene 101-110 er bygd av Duewag, mens vognene 111-125 er bygd på lisens av Strømmen.</p> <p>Betjeningsmulighet vha. rangeringspult i bakenden. En stengt dør på venstre side bak. Vogn 124 er eneste gjenværende vogn med originale baklykter. Vogn 116 og 121 har SL79/II-front etter kollisjoner.</p> <p>Tidligere litra: S79/II (til 1992).</p> <p>205</p>																																
Akselrekkefølge	B'2'B'	Hjuldiameter	680 mm																																																																		
Motorer	2 x NEBB 4ELO 2054B	Egenvekt	32,8 tonn																																																																		
Timeytelse	434 kW/590 hk	Største hastighet	70/80 km/h																																																																		
Motorregulering	71 ¹	Sitteplasser	71 ¹																																																																		
.....	tyristorbaseret chopper	Sitteplasser	66																																																																		
Lengde o.s.	22 400 mm	Byggeår	1982-83																																																																		
Bredde	2 500 mm	Bygget av																																																																		
Boggihjulstand	1 800 mm	Duewag, Strømmen, NEBB																																																																		
Boggisenteravstand	2 x 7 700 mm																																																																				
<p>Oslo Sporvognsdrift AS SL79/II 126-140 = 15 stk.</p>  <p>133 i Storgata 10.4.2008 © Svein Sandø</p> <table border="0"> <tr> <td>Akselrekkefølge</td> <td>B'2'B'</td> <td>Boggisenteravstand</td> <td>2 x 7 700 mm</td> </tr> <tr> <td>Motorer</td> <td>2 x ABB 4ELO 2054B</td> <td>Hjuldiameter</td> <td>680 mm</td> </tr> <tr> <td>Timeytelse</td> <td>434 kW/590 hk</td> <td>Egenvekt</td> <td>32,8 tonn</td> </tr> <tr> <td>Motorstyring</td> <td>71¹</td> <td>Største hastighet</td> <td>80 km/h</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>GTO-tyristorbaseret chopper</td> <td>Sitteplasser</td> <td>71¹</td> </tr> <tr> <td>Lengde o.s.</td> <td>22 400 mm</td> <td>Sitteplasser</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Bredde</td> <td>2 500 mm</td> <td>Byggeår</td> <td>1989-90</td> </tr> <tr> <td>Boggihjulstand</td> <td>1 800 mm</td> <td>Bygget av</td> <td>Strømmen, ABB</td> </tr> </table> <p>Brems: Elektrisk motorbrems som driftsbrms (alt. motstand / tilbakemating), trykkluftstøtt fjærkraftbrms, seks stk. 24 V skinnbrems.</p> <p>Betjeningsmulighet vha. rangeringspult i bakenden.</p> <p>Tidligere litra: S79/II (til 1992).</p> <p>¹ Hvorav åtte klappstjer. 206</p>	Akselrekkefølge	B'2'B'	Boggisenteravstand	2 x 7 700 mm	Motorer	2 x ABB 4ELO 2054B	Hjuldiameter	680 mm	Timeytelse	434 kW/590 hk	Egenvekt	32,8 tonn	Motorstyring	71 ¹	Største hastighet	80 km/h	GTO-tyristorbaseret chopper	Sitteplasser	71 ¹	Lengde o.s.	22 400 mm	Sitteplasser	66	Bredde	2 500 mm	Byggeår	1989-90	Boggihjulstand	1 800 mm	Bygget av	Strømmen, ABB	<p>Oslo Sporvognsdrift AS SL95 141-172 = 32 stk.</p>  <p>161 på Avløs 29.6.2007 © Håkon Kinck Gaarder</p> <table border="0"> <tr> <td>Akselrekkefølge</td> <td>Bo'Bo'Bo'Bo'</td> <td>Boggisenteravstand</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Motorer</td> <td>8 x MTA-A6-105V</td> <td>Hjuldiameter</td> <td>9855+5170+9855 mm</td> </tr> <tr> <td>Timeytelse</td> <td>840 kW/1142 hk</td> <td>Hjuldiameter</td> <td>680 mm</td> </tr> <tr> <td>Motorregulering</td> <td>71¹</td> <td>Egenvekt</td> <td>64,98 tonn</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>IGBT-basert vekselretter</td> <td>Største hastighet</td> <td>80 km/h</td> </tr> <tr> <td>Lengde o.s.</td> <td>33 120 mm</td> <td>Sitteplasser</td> <td>88¹</td> </tr> <tr> <td>Bredde</td> <td>2 600 mm</td> <td>Sitteplasser</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>Boggihjulstand</td> <td>1 800 mm</td> <td>Byggeår</td> <td>1998-2000</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>Bygget av</td> <td>Ansaldo, Firema</td> </tr> </table> <p>Brems: Elektrisk motorbrems som driftsbrms (alt. motstand / tilbakemating), hydraulisk styrt fjærkraftbrms som holdbrems, åtte stk. 24 V skinnbrems.</p> <p>Toretningsvogn med dører på begge sider og ca. 50 % lavgulv med innstigningshøyde 350 mm. Utstyrt med klimaanlegg.</p> <p>¹ Hvorav åtte klappstjer. 207</p>	Akselrekkefølge	Bo'Bo'Bo'Bo'	Boggisenteravstand	Motorer	8 x MTA-A6-105V	Hjuldiameter	9855+5170+9855 mm	Timeytelse	840 kW/1142 hk	Hjuldiameter	680 mm	Motorregulering	71 ¹	Egenvekt	64,98 tonn	IGBT-basert vekselretter	Største hastighet	80 km/h	Lengde o.s.	33 120 mm	Sitteplasser	88 ¹	Bredde	2 600 mm	Sitteplasser	108	Boggihjulstand	1 800 mm	Byggeår	1998-2000	Bygget av	Ansaldo, Firema
Akselrekkefølge	B'2'B'	Boggisenteravstand	2 x 7 700 mm																																																																		
Motorer	2 x ABB 4ELO 2054B	Hjuldiameter	680 mm																																																																		
Timeytelse	434 kW/590 hk	Egenvekt	32,8 tonn																																																																		
Motorstyring	71 ¹	Største hastighet	80 km/h																																																																		
.....	GTO-tyristorbaseret chopper	Sitteplasser	71 ¹																																																																		
Lengde o.s.	22 400 mm	Sitteplasser	66																																																																		
Bredde	2 500 mm	Byggeår	1989-90																																																																		
Boggihjulstand	1 800 mm	Bygget av	Strømmen, ABB																																																																		
Akselrekkefølge	Bo'Bo'Bo'Bo'	Boggisenteravstand																																																																		
Motorer	8 x MTA-A6-105V	Hjuldiameter	9855+5170+9855 mm																																																																		
Timeytelse	840 kW/1142 hk	Hjuldiameter	680 mm																																																																		
Motorregulering	71 ¹	Egenvekt	64,98 tonn																																																																		
.....	IGBT-basert vekselretter	Største hastighet	80 km/h																																																																		
Lengde o.s.	33 120 mm	Sitteplasser	88 ¹																																																																		
Bredde	2 600 mm	Sitteplasser	108																																																																		
Boggihjulstand	1 800 mm	Byggeår	1998-2000																																																																		
.....	Bygget av	Ansaldo, Firema																																																																		

Figur C.1: Datablad trikketyper

D. Målinger

Måling	Retning	Trikkenummer/Buss
1	Ut	172
2	Inn	164
3	Ut	168
4	Ut	116
5	Inn	129
6	Ut	112
7	Inn	132
8	Ut	133
9	Ut	GA10679
10	Inn	146
11	Inn	103
12	Ut	143
13	Ut	120
14	Inn	116
15	Ut	GA10645
16	Inn	GA10647
17	Ut	GA10655
18	Inn	GA10676
19	Inn	131
20	Ut	DL86693
21	Ut	127
22	Inn	159
23	Inn	DL84365
24	Inn	162

Tabell D.1: Målinger 10. februar

Måling	Retning	Trikkenummer/Buss
1	Ut	101
2	Inn	139
3	Inn	123
4	Inn	131
5	Ut	115
6	Inn	162
7	Ut	153
8	Inn	134
9	Ut	168
10	Ut	105
11	Ut	146
12	Ut	171
13	Ut	136
14	Inn	141
15	Ut	129
16	Ut	125
17	Inn	132
18	Ut	169
19	Ut	109
20	Inn	122
21	Inn	149
22	Ut	152
23	Inn	110
24	Ut	157
25	Ut	128
26	Ut	120
27	Inn	137
28	Ut	154
29	Ut	131
30	Ut	DL8434
31	Ut	GA10650
32	Ut	GA10680
33	Inn	DL82345
34	Ut	GA10657
35	Ut	GA10690
36	Ut	DL84361
37	Inn	GA10682

Tabell D.2: Målinger 9. mars

