

Måling og analyse av støy- og vibrasjonsmiljøet i stormpanservognen CV90

Marianne Østevold

Forsvarets forskningsinstitutt/Norwegian Defence Research Establishment (FFI)

4. september 2008

FFI-rapport 2008/01648

101902

P: ISBN 978-82-464-1419-5

E: ISBN 978-82-464-1420-1

Emneord

Stormpanservogn

Støy

Støymålinger

Vibrasjon

Vibrasjonsmålinger

Vibrasjonstester

Godkjent av

Einar Østevold

Prosjektleder

Johnny Bardal

Avdelingssjef

Sammendrag

Denne rapporten er et bidrag til FFI-prosjekt ”Teknologier for nettverksintegrert stridskjøretøy” (TEKNISK), men den er også ment å tjene fremtidige aktiviteter som omhandler stormpanservogner, og da spesielt CV90. Rapporten omhandler støy- og vibrasjonsmålingene som ble utført i stormpanservognen CV90 på Rena leir ved to anledninger, 27. mai 2008 og 6. august 2008. Disse målingene ble gjort for å undersøke operasjonsmiljøet i kjøretøyet med tanke på diverse datautstyr som skal plasseres inne i kjøretøyet i forbindelse med felles felttester som FFI-prosjektene TEKNISK og TAURUS (Taktisk UAV - Robustifisere, Undersøke, Støtte) skal utføre høsten 2008. Feltestene har til hensikt prøve ut og demonstrere BMS (Battlefield Management System) med nye funksjoner, herunder *Augmented Reality* (AR), og for å undersøke hvordan en Mini-UAV, (Unmanned Aerial Vehicle), også kalt MUAS (Mini Unmanned Aircraft System), bør integreres som støtte til BMS.

Støymålingene ble først og fremst utført med tanke på et mulig fremtidig talegjenkjenningssystem som skal plasseres i kjøretøyet. Talegjenkjenningssystemet skal brukes til å gi muntlige kommandoer til BMS, og det er viktig at det kan fungere i støymiljøet inne i kjøretøyet. Talegjenkjenningssystemet som etter planen skal brukes, DynaSpeak® fra SRI International, er utstyrt med støyfiltreringsverktøy og dynamisk støykompensasjon, men spørsmålet er om dette er tilstrekkelig. For å kartlegge støymiljøet ble det gjort lydtrykknivåmålinger og lydopptak på flere steder i kjøretøyet under ulike skyte- og kjøreforhold. Resultatene fra målingene er fremstilt både i tabellform og grafisk, i tillegg til at det har blitt gjort frekvens- og spektralanalyser. Resultatene viser at det uveide effektive lydtrykknivået ligger i intervallet 90-125 dB, og det maksimaliseres under kjøring i høy hastighet på hardt underlag. Den maksimale uveide spissverdien er 142,7 dB, og den blir naturlig nok oppnådd under skyting. Den konstante bakgrunnsstøyen i kjøretøyet, som øker med hastigheten og hardheten til underlaget, ligger i hovedsak rundt 100 Hz, men et viktig unntak er tomgangskjøring, hvor støyen ligger markant på bestemte frekvenser i intervallet 0-800 Hz. Dialog på intercomen ligger i frekvensområdet 200-1.200 Hz med hurtige variasjoner i amplitude. Både skyting med maskinkanonen og med maskingeværet resulterer i støy som dekker et stort frekvensområde, i all hovedsak intervallet 0-4.000 Hz, men denne støyen er kortvarig. Da vi ikke vet noe om begrensningene til støymiljøet som talegjenkjenningssystemet kan fungere i, kan vi ikke si noe bestemt om hvordan systemet vil fungere i kjøretøyet, men resultatene som er presentert her, kan danne utgangspunktet for videre undersøkelser og forsøk.

Formålet med vibrasjonsmålingene var å kartlegge vibrasjonsmiljøet i kjøretøyet for senere å kunne gjennomføre vibrasjonstesting av utstyret som skal plasseres på veggen inne i kjøretøyet. Målingene ble utført i de fire festepunktene til det vibrasjonsdempede stativet som skal huse utstyret under kjøring i ulike hastigheter. Resultatene fra målingene ble deretter behandlet statistisk, ved bruk av såkalte PSD-estimat (Power Spectral Density), for å kunne fremskaffe det tallmessige grunnlaget for vibrasjonstestene. PSD-grafene viser klart de ulike harmoniske beltefrekvensene, som samsvarer bra med de teoretiske verdiene, og det faktum at vibrasjonene er størst langs den vertikale akse. Vibrasjonstestene vil bli utført på FFIs Miljølaboratorium.

English summary

This report has been written as a contribution to FFI's project "Technologies for network integrated combat vehicles" (TEKNISK), but it is also meant to serve future activities involving Infantry Fighting Vehicles (IFV), and in particular the CV90. The report deals with the noise and vibration measurements executed in a CV90 at the military camp at Rena on two occasions, May 27th 2008 and August 6th 2008. These measurements were conducted in order to examine the operational environment for the computer equipment to be installed in the vehicle for the common field tests which are to be carried out by the FFI projects TEKNISK and TAURUS during the fall of 2008. The purpose of the field tests is to test and demonstrate a BMS (Battlefield Management System) with new AR functions (Augmented Reality), and to examine how a MUAS (Mini-UAV) should be integrated and operated to support the BMS optimally.

The noise measurements were primarily conducted with respect to a possible future speech recognition system, which will be installed in the vehicle. The system will be used to give oral commands to the BMS, and it is crucial that it functions in the noise environment inside the vehicle. The speech recognition system that has been chosen, DynaSpeak® from SRI International, is equipped with a noise filtering design tool and dynamic noise compensation, but the question is if that is sufficient. To examine the noise environment, sound pressure level measurements and sound recordings were conducted in different places in the vehicle during various gunfire and driving conditions. The measuring results are presented in tabular form and graphically. In addition, frequency and spectral analysis have been done on the measured data. The results show that the unweighted effective sound pressure level is in the interval 90-125 dB, and it reaches its maximum during driving at high speed on a hard surface. The maximum unweighted peak value is 142.7 dB, and it is of course obtained during gunfire. The constant background noise energy in the vehicle is concentrated around 100 Hz, but an important exception is idling, where the noise energy is situated at certain frequencies in the interval 0-800 Hz. The dialogue on the intercom is in the frequency range 200-1,200 Hz with rapid variations in amplitude. Both firing with the 30 mm main gun and the 7.62 mm machine gun result in noise that covers a large frequency range, primarily in the interval 0-4,000 Hz. As we do not know anything about the limitations of the noise environment in which the speech recognition system can function, we cannot draw conclusions as to how the system will work in the vehicle, but the results presented here form a basis for further investigation and tests.

The purpose of the vibration measurements was to examine the vibration environment in the vehicle in order to be able to conduct vibration testing of the equipment which is to be mounted inside the vehicle. The measurements were done at the four fixation points of the vibration damped rack which will contain the equipment when driving at different velocities. The measuring results were then processed statistically by use of so-called PSD estimates (Power Spectral Density), in order to produce the input data for the vibration tests. The PSD-graphs show clearly the harmonic track frequencies of the vehicle, which correspond well with the theoretical values, and that the vertical vibrations are the most significant ones. The vibration tests will be conducted at FFI's Environmental Laboratory.

Innhold

	Forord	6
1	Innledning	7
2	Generelt om CV90	8
3	Støymiljøet i CV90	9
3.1	Formål	9
3.2	Støy	9
3.3	Skadevirkninger av støy	10
3.3.1	Regelverk	10
3.4	Støymålinger	11
3.4.1	Veiefilter	12
3.4.2	Lydtrykknivåmåler – Nor132 fra Norsonic	14
3.5	Praktisk utføring av målingene	15
3.6	Resultater	17
3.6.1	Lydtrykknivå	17
3.6.2	Bølgeformanalyse	19
3.6.3	Frekvensanalyse	28
3.6.4	Spektralanalyse	38
3.7	Oppsummering støymålinger	48
4	Vibrasjonsmiljøet i CV90	50
4.1	Formål	50
4.2	Vibrasjon	50
4.3	Vibrasjonsmålinger	51
4.4	Praktisk utføring av målingene	52
4.5	Resultater	55
4.6	Vibrasjonstesting av utstyret	64
4.7	Oppsummering vibrasjonsmålinger	68
5	Konklusjon	68
	Referanser	69

Forord

Denne rapporten dokumenterer støy- og vibrasjonsmålingene utført i stormpanservognen CV90 ved to anledninger våren og sommeren 2008 i Rena leir. Rapporten er skrevet i forbindelse med mitt opphold som sommerstudent ved FFI i perioden juli til september 2008. Kjernen i arbeidet er utført av forfatteren, men jeg er meget takknemlig for all veiledning og assistanse som jeg har mottatt underveis. En spesiell takk rettes til min veileder Svein Erlend Martinussen ved FFIs Avdeling for land- og luftsystemer for rettledning og konstruktive faglige bidrag, Atle Skaugen og Øistein Lundberg ved FFIs Miljølaboratorium for utlån av instrumenter og uuvurderlige bidrag i forbindelse med analyse av vibrasjonsmålingene, Idar Dyrdal ved FFIs Avdeling for land- og luftsystemer for assistanse i forbindelse med frekvensanalyse av støymålingene, Jasmina Koric ved FFIs Prototypeverksted for all hjelp i forbindelse med montering av vibrasjonsmåleutstyret, og løytnant Bjørn-Morten Tøndel ved Rena leir for tilrettelegging av den praktiske utførelsen av målingene. Dessuten vil jeg takke Monica Ekeli ved FFIs Prototypeverkstedet og ansatte ved verkstedet på Rena leir for maskinering og tilpassing av festeklossene som ble brukt til vibrasjonsmålingene.

1 Innledning

FFI-prosjekt ”Teknologier for nettverksintegrert stridskjøretøy” (TEKNISK) har som oppgave å opparbeide teknisk kompetanse i Forsvaret som grunnlag for gjennomføring av oppgraderings- og anskaffelsesprosjekter for stridskjøretøy. Prosjektet tar blant annet for seg videreutvikling av såkalte Battlefield Management Systems (BMS). BMS er et etablert begrep innen det militære og omfatter kommando-, informasjons- og kontrollsystemer som støtte for beslutningsprosessen innenfor en bataljon eller kompani/eskadron. Begrepet brukes litt forskjellig av ulike aktører, men i prosjekt TEKNISK, og i denne rapporten, brukes det om beslutningsstøttesystemer for kjøretøy.

En viktig del av et BMS er *Blue Force Tracking*, det vil si et system som ved hjelp av blant annet GPS (Global Positioning System), viser posisjonen til vertskjøretøyet i tillegg til andre egne enheter på det datagenererte terrengkartet. BMS kan blant annet også brukes til å sende og motta tekstmeldinger, og til å rapportere posisjonen til fiendtlige styrker.

TEKNISK har utviklet nye funksjoner til BMS, herunder *Augmented Reality* (AR). AR er et fagfelt innen informasjonsteknologi som kombinerer ekte og datagenererte data. Systemet som TEKNISK har utviklet, kan vise virtuell informasjon, for eksempel symboler for Blue Force Tracking og for observerte objekter, i skjermbildet til live-opptak fra scenen omkring kjøretøyet. Dette gjør det blant annet mulig å følge egne og fiendtlige styrkers posisjoner og bevegelser i terrenget.

FFI-prosjektene TEKNISK og TAURUS (Taktisk UAV - Robustifisere, Undersøke, Støtte) skal høsten 2008 utføre felles felttester for å prøve ut og demonstrere BMS med disse nye funksjonene og for å undersøke hvordan en Mini-UAV (Unmanned Aerial Vehicle), også kalt MUAS (Mini Unmanned Aircraft System), bør integreres som støtte til BMS. UAV-ene kan samle informasjon fra fiendtlig territorium, uten å risikere livet til en pilot. FFIs MUAS er utstyrt med autopilot med GPS, gyroskoper og andre sensorer, og dessuten bildesensorer med radioforbindelse ned til bakken. Stridskjøretøyet som skal brukes til disse testene, er stormpanservognen CV90.

For å kunne gjennomføre felttestene, skal det nødvendige utstyret monteres i to CV90er. Dette utstyret inkluderer to skjermer som skal plasseres på vognkommandørs og skytters plass i tårnet, og ett dagslyskamera som skal festes på maskinkanonen. Datamaskinene som trengs for å kjøre BMS, skal plasseres inne i stridsrommet. Det skal etter planen også utvikles et talegjenkjenningssystem for å kunne gi muntlige kommandoer til BMS, men det vil ikke være klart til felttestene.

Formålet med denne rapporten er å undersøke støy- og vibrasjonsmiljøet i CV90 med tanke på hvordan operasjonsmiljøet påvirker dette utstyret. Det er viktig å vibrasjonsteste datautstyret, og da spesielt den stasjonære datamaskinen som skal brukes, for å være sikker på at det vil tåle påkjenningene under bruk. Undersøkelsen av vibrasjonsmiljøet danner grunnlaget for vibrasjonstesting som skal utføres i forkant av felttestene, mens undersøkelsen av støymiljøet først og fremst gjøres med tanke på talegjenkjenningssystemet.

Foruten en liten introduksjon til CV90 i kapittel 2, har denne rapporten tre hoveddeler. Den gir i kapittel 3 en beskrivelse av støymiljøet i CV90. Først gis en generell innføring i temaet støy og støymålinger, og deretter beskriver kapittelet støymålingene som ble foretatt og resultatene som foreligger. I tillegg til at resultatene vises i tabellform og grafisk, presenteres en frekvensanalyse og en spektralanalyse av støymålingene. Kapittel 4 omhandler vibrasjonsmiljøet i CV90. Kapittelet begynner med en kort innføring i vibrasjon og vibrasjonsmålinger. Deretter beskrives vibrasjonsmålingene som ble foretatt, resultatene i form av en frekvensanalyse, og forberedelsene til vibrasjonstesting. Rapporten avsluttes med oppsummeringer og konklusjoner i kapittel 5.

2 Generelt om CV90

Opplysningene i dette kapittelet er hentet fra Army Technology – *The website for defence industries - army* [1], Forvarsnnett – *Det norske forsvarrets offisielle informasjonstjeneste* [2] og bruker- og verkstedhåndbøkene for CV9030N [3], [4], [5], [6].

Stormpanservognen CV (Combat Vehicle) 90 er et svenskprodusert beltegående og pansret stridskjøretøy. Kjøretøyet er utviklet av Land Systems Hägglunds (skrog) og Saab Bofors Dynamics (tårn), og det blir nå produsert av BAE Systems Hägglunds. Produksjonen startet i 1993, og over 1.000 kjøretøyer har til nå blitt produsert.

CV90s primærrolle er å transportere og gi støtte til infanteri i kamp, og vognen har en høy taktisk og strategisk mobilitet. Den er bevæpnet med en 30 mm maskinkanon, et 7,62 mm maskingevær og tolv røykutskytningsrør. Kanonen er stabilisert, slik at vognen kan avgi ild under fart – noe som øker fremrykningshastigheten til de pansrede styrkene. Besetningen består av tre mann; vognkommandør og skytter i tårnet og vognfører i skroget. I stridsrommet bak i kjøretøyet er det plass til en fotstyrke på åtte mann.

I dag besitter Forsvaret 104 stormpanservogner av eksporttypen CV9030N. Kjøretøyet har vist seg å være meget nyttig, og det blir også brukt av de norske styrkene i Afghanistan. Sverige, Danmark, Finland, Nederland og Sveits har også CV90 som stormpanservogn, noe som gjør det mulig med et flernasjonalt samarbeid om bruk av og oppgradering av kjøretøyet.



Figur 2.1 Stormpanservognen CV9030N

3 Støymiljøet i CV90

3.1 Formål

Støymålingene i CV90 har til hensikt å skaffe til veie ytterligere informasjon om støymiljøet i kjøretøyet. I denne omgang gjøres dette først og fremst med tanke på et mulig fremtidig talegjenkjenningssystem som skal plasseres i kjøretøyet. Både lydtryknivået og frekvensfordelingen til støyen er da av interesse for å kunne vite hvordan den generelle støyen i kjøretøyet vil kunne påvirke systemet og dets funksjonalitet. Hvis den generelle bakgrunnsstøyen i kjøretøyet er for høy eller ligger på bestemte frekvenser, kan man risikere at talegjenkjenningssystemet ikke oppfatter de muntlige kommandoene som blir gitt. Støyinformasjonen vi får gjennom støymålingene kan være av interesse også for andre formål.

I og med at det allerede har blitt gjort undersøkelser med tanke på den menneskelige støybelastningen, vil dette ikke behandles detaljert i denne rapporten. Forsvarets bedriftshelse-tjeneste (FBHT) Indre Østland foretok nemlig, i samarbeid med Forsvarets Flymedisinske Institutt (FMI), målinger av støy i beltegående kjøretøy av typen CV90, M113 og Leopard 2 A4.NO ved Telemarksbataljonen (TMBN) i Rena leir i februar 2007 [7]. Dette ble gjort for å kartlegge støybelastningen som personellet på kjøretøyene blir påført. Vognkommandør, skytter, vognfører, lagfører og nestlagfører kan kommunisere med hverandre via et interkommunikasjonssystem, heretter kalt intercom, inkorporert i et hodesett som også fungerer som hørselsvern. De øvrige soldatene ombord har kun på seg ordinære hørselsvern. Tidligere undersøkelser utført av FBHT Indre Troms hadde påvist støyverdier langt over grenseverdiene, og det inne i hodesettet. FBHT Indre Østland målte støyen inne i hodesettet i tillegg til innenfor ørepropper og hodesett på en prøvetakningsdukke. Dukken ble plassert på ulike posisjoner i kjøretøyet. Støyen ble også målt via en fritthengende mikrofon inne i kjøretøyet. Vognene ble kjørt i ulike hastigheter på vei og i terreng. Veien var dekket med hardpakket snø/is med 5-10 cm nysnø oppå, mens terrenget var dekket av snø, noe som anses for å være de gunstigste kjøreforholdene med tanke på støy og vibrasjoner.

3.2 Støy

Hvis ikke annet er notert, er opplysningene og bakgrunnsinformasjonen i de følgende underkapitlene om støy, skadevirkninger av støy og støymålinger hentet fra verkene *Fundamentals of Acoustics* [8], *Handbook of Noise Measurement* [9] og *Handbook of Noise Assessment* [10], i tillegg til rapportene *Mulige tiltak for å redusere støy* fra Statens forurensingstilsyn [11] og *The Effects of Noise on Health and Behavior – Recent research* [12]. En del av definisjonene er hentet fra det internetbaserte leksikonet Wikipedia.

Helt generelt defineres støy som uønskede signaler, men ulike fagområder kan ha andre definisjoner på begrepet. Innen informasjonsteori brukes for eksempel støy om signal som ikke inneholder informasjon. Disse signalene kan være akustiske, det vil si lyd, eller elektromagnetiske. I denne rapporten begrenser vi begrepet støy til kun å gjelde lyd, og nærmere bestemt

støyforurensing, det vil si uønsket menneske- eller maskingenerert lyd som forstyrrer mennesker, kommunikasjon mellom mennesker eller kommunikasjon mellom mennesker og maskin.

Det skiller mellom hvit støy, eller sus, som kjennetegnes ved at alle frekvenser av lyd er likt representert, og annen støy, der dette ikke er tilfelle. I motsetning til en sinusbølge, er støysignalet tilfeldig, det vil si at man ikke kan forutsi signalet selv om man kjenner det ved et gitt tidspunkt. Sannsynlighetsfordelingen til de ulike frekvensene er det eneste som er kjent.

3.3 Skadevirkninger av støy

Støy påvirker menneskers fysiske og psykiske helse. Selv om vår kunnskap på dette området fortsatt er mangelfull, er det stor enighet om at eksponering for støy blant annet kan føre til irritasjon, aggresjon, hypertensjon (for høyt blodtrykk), høyt stressnivå, tinnitus (øresus), hørselstap, hodepine, magesmerter, tretthetsfølelse, ansenhet og søvnforstyrrelser. Stress og hypertensjon kan resultere i hjerte-karsykdommer, mens tinnitus kan medføre glemsomhet, alvorlige depresjoner og til tider også panikkanfall. Forskning viser at eldre menn som har vært kronisk utsatt for støy i arbeidslivet, har betydelig dårligere hørsel enn sine jevnaldrende som ikke har jobbet i et støyende miljø. Denne forskjellen avtar imidlertid med alderen og forsvinner ved fylte 79 år [13].

3.3.1 Regelverk

Det aktuelle regelverket fra arbeidsmiljøloven er nedskrevet i forskrift 398 *om vern mot støy på arbeidsplassen* fra 2006 [14]. Forskriften gjelder for virksomheter der arbeidstakere kan bli utsatt for støy i forbindelse med arbeidet. Hensikten er å beskytte arbeidstakere mot farer og helserisiko som kan oppstå som følge av støy. Forsvaret er imidlertid etter § 3 i forskrift 1567 *om unntak fra arbeidsmiljøloven for visse typer arbeid og arbeidstakergrupper* fra 2005 [15] unntatt fra arbeidsmiljøloven ved ”feltmessig øvingsvirksomhet som på en realistisk måte har til hensikt å øve Forsvaret i å kunne virke effektivt i en krise- eller krigssituasjon”. Forsvarssjefens intensjon er derimot at arbeidsmiljøloven skal gjelde for hele Forsvaret også i øvingssammenheng og i forbindelse med operativ virksomhet [7].

De innledende bestemmelsene i forskriften *om vern mot støy på arbeidsplassen* plasserer personell i stormpanservogner i gruppe III (arbeidsforhold med støyende maskiner og utstyr under forhold som ikke går inn under arbeidsgruppe I og II). Nedre tiltaksverdi for arbeidsforhold i gruppe III er $L_{EX,8h} = 80$ dB. Øvre tiltaksverdier er $L_{EX,8h} = 85$ dB og $L_{pC,peak} = 130$ dB. Tiltaksverdier er verdier for eksponering som krever iverksetting av tiltak for å redusere helserisikoen og uheldig belastning til et minimum. $L_{EX,8h}$, daglig støyeksponeringsnivå, er ekvivalentnivået for en arbeidsdag normalisert til 8 timer i henhold til internasjonal standard ISO 1999:1990 punkt 3.6, og det omfatter all støy på arbeidsplassen.

$L_{EX,8h}$ regnes ut ved hjelp av følgende formel [16]:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq} + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{T_e}{T_0} \right)$$

hvor L_{Aeq} er det A-veide (se kapittel 3.4.1) effektive lydtryknivået, T_e er arbeidshagens varighet i sekunder, og T_0 er 28.800 sekunder (8 timer).

$L_{pC,peak}$, spissverdien av lydtryknivået, er det høyeste observerte C-veide (se kapittel 3.4.1) lydtryknivå målt i løpet av måletiden med målerinnstilling *peak*. Grenseverdiene for støyeksposering, altså de verdier for støyeksposering som ikke skal overskrides, er $L_{EX,8h} = 85$ dB og $L_{pC,peak} = 130$ dB.

3.4 Støymålinger

Hvor forstyrrende en lyd er, avhenger av støyens lydnivå og støyens karakter, for eksempel frekvensinnhold, tidsforløp, forutsigbarhet og hvor raskt støyen øker i nivå og varighet. Dessuten vil graden av støysjenanse avhenge av en rekke individuelle forhold og forhold knyttet til de situasjoner og aktiviteter som blir forstyrret.

Det er den fysiske styrke av lyden, lydtrykket, som måles for å tallfeste støy, eller retttere sagt støyens amplitude. Lydtrykket er det lokale avviket fra det vanlige trykket forårsaket av en lydbølge. Det momentane lydtrykket er det lokale avviket fra det vanlige trykket forårsaket av en lydbølge på et gitt sted til en gitt tid. Det effektive lydtrykket er effektivverdien, også kalt RMS-verdien (Root-Mean-Square), av det momentane lydtrykket over et gitt tidsintervall. RMS-verdien blir benyttet fordi den gir en positiv verdi. Siden lyd er vibrasjoner rundt luftens statiske trykk, ville det aritmetiske gjennomsnittet gitt den lite nyttige verdien null for det effektive lydtrykket.

RMS-verdien av en samling av n verdier $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ er

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

Tilsvarende formel for en kontinuerlig funksjon $f(t)$ definert over tidsintervallet $T_1 \leq t \leq T_2$ er

$$f_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt}$$

I luft kan lydtrykket måles ved hjelp av en mikrofon, og det måles i pascal (Pa). Det er derimot lydtryknivået, målt i desibel (dB), som blir angitt for å gi en kvantitativ beskrivelse av støy. Det er viktig å huske at desibel er en måleenhet uten dimensjon. Lydtryknivået L_p er et logaritmisk mål for det effektive lydtrykket til en lyd relativt til en referanseverdi. Det mest brukte

referanselydtrykket i luft er 20 μPa (RMS), som vanligvis blir ansett for å være den menneskelige høregrense.

Lydtrykknivået L_p regnes ut ved hjelp av følgende formel:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{\text{RMS}}^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{\text{RMS}}}{p_{\text{ref}}} \right)$$

hvor p_{RMS} er det målte effektive lydtrykket, og p_{ref} er referanselydtrykket

Lydtrykknivået til den menneskelige høregrense vil da være 0 dB. En økning på 6 dB innebærer en dobling av lydtrykket. Ved 1 kHz vil en økning på 10 dB innebære en dobling av opplevd lydstyrke. Det menneskelige ørets smertegrense er 130 dB, det vil si et lydtrykk som er 3,16 millioner ganger større enn referanseverdien. Tabell 3.1 under viser lydtrykket og lydtrykknivået for flere ulike lydkilder.

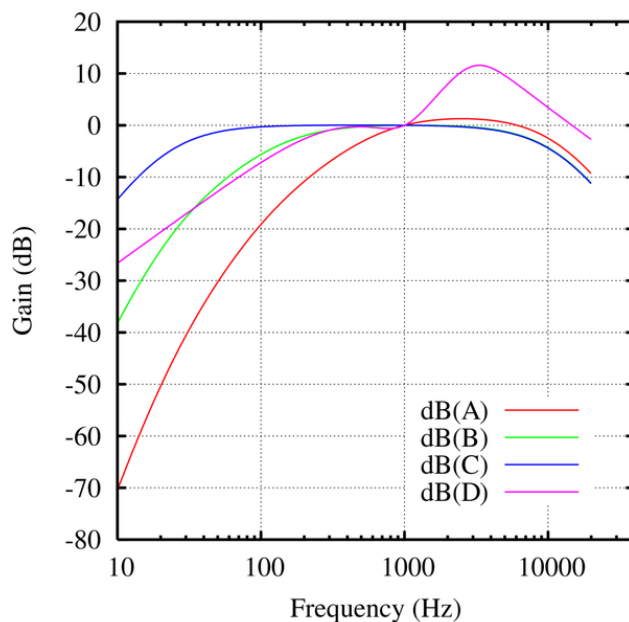
Lydkilde	Lydtrykk (Pa)	Lydtrykknivå (dB)
Menneskelig høregrense i et stille rom ved 1 kHz	$2 \cdot 10^{-5}$	0
Vår egen pust/rasling i blader	$6 \cdot 10^{-5}$	10
Visking	$4 \cdot 10^{-4}$	25
Normal stemme 1 m unna	$6 \cdot 10^{-3}$	50
TV på vanlig lydnivå 1 m unna	$2 \cdot 10^{-2}$	60
Personbil 10 m unna	$6 \cdot 10^{-2}$	70
Høy trafikkstøy	$2 \cdot 10^{-1}$	80
Hørselsskade etter lang tids eksponering	$4 \cdot 10^{-1}$	85
Boring i betong	2	100
Arbeidslivets grense for krav om hørselsvern	6	110
Hørselsskade etter kort tids eksponering/rockekonsert	20	120
Smertegrense/jetfly som tar av 30 m unna	100	130
Rifleskudd 1 m unna	200	140
Trommehinnen sprekker	630	150
Romrakett som tar av 30 m unna	20.000	180
Teoretisk grense for ikke-forvrengt lyd ved 1 atm	101.325	194 [17]

Tabell 3.1 Lydtrykket og lydtrykknivået for ulike lydkilder

3.4.1 Veiefilter

Menneskets øre kan oppfatte lyder som ligger i frekvensområdet 20 Hz - 20 kHz, men vi hører best i området 2-6 kHz [8]. Ved støymålinger tas dette hensyn til ved å anvende et veiefilter med en bestemt veiekurve. Et veiefilter brukes blant annet ved målinger for å fremheve eller dempe visse aspekter ved et fenomen i forhold til andre. Veiekurven bestemmer hvor mye man skal endre den målte verdien. Veiekurve A (se figur 3.1) fremhever frekvensene rundt 2-6 kHz,

området hvor menneskers øre er mest sensitivt, mens det demper veldig høye eller veldig lave frekvenser som menneskets øre er mindre følsomt overfor. Målet er å sørge for at den målte støyen samsvarer bra med den subjektivt oppfattede støyen. Egentlig er veiekurve A bare gyldig for lave lyder og rene toner, men den er allikevel den mest anvendte i internasjonale og nasjonale standarder for støymålinger. For måling av støy fra tunge våpen og andre støykilder hvor lave frekvenser er dominerende, brukes ofte veiekurve C (se figur 3.1). Det eksisterer også en veiekurve B (se figur 3.1) og en veiekurve D (se figur 3.1).



Figur 3.1 Veiekurve A, B, C, og D (fra Wikipedia)

Veiekurve A er gitt av følgende formler:

$$R_A(f) = \frac{12200^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20,6^2)(f^2 + 12200^2)\sqrt{(f^2 + 107,7^2)(f^2 + 737,9^2)}}$$

$$A = 2,0 + 20 \cdot \log_{10}(R_A(f))$$

hvor f er frekvensen.

Veiekurve C er gitt av følgende formler:

$$R_C(f) = \frac{12200^2 \cdot f^2}{(f^2 + 20,6^2)(f^2 + 12200^2)}$$

$$C = 0,06 + 20 \cdot \log_{10}(R_C(f))$$

Forskyvningen på henholdsvis 2,0 og 0,06 normaliserer det veide lydtryknivået ved referanselydtrykket til 0 dB ved 1 kHz.

3.4.2 Lydtrykknivåmåler – Nor132 fra Norsonic

Støymålingene i CV90 ble utført ved hjelp av den håndholdte norskproduserte lydtrykknivåmåleren Nor132 fra Norsonic AS (se figur 3.2), og opplysningene i dette underkapittelet er hentet fra bruksanvisningen for denne [18] og Norsonic AS sine hjemmesider [19]. Mens Nor131 er designet etter klasse 1-kravene når det gjelder presisjon, er Nor132 et klasse 2-instrument med en noe lavere nøyaktighet. De fleste nasjonale standarder tillater imidlertid bruk av klasse 2-lydtrykknivåmålere.



Figur 3.2 Lydtrykknivåmåleren Nor132 fra Norsonic AS

Måleinstrumentet gir verdier for følgende størrelser:

- SPL (Sound Pressure Level = det momentane lydtrykknivået)
- L_{eq} (ekvivalentnivået = det effektive lydtrykknivået)
- L_{max} (maksimumsnivået)
- L_{min} (minimumsnivået)
- L_E (ekvivalentnivået normalisert til 1 s)
- L_{peak} (spissverdien)

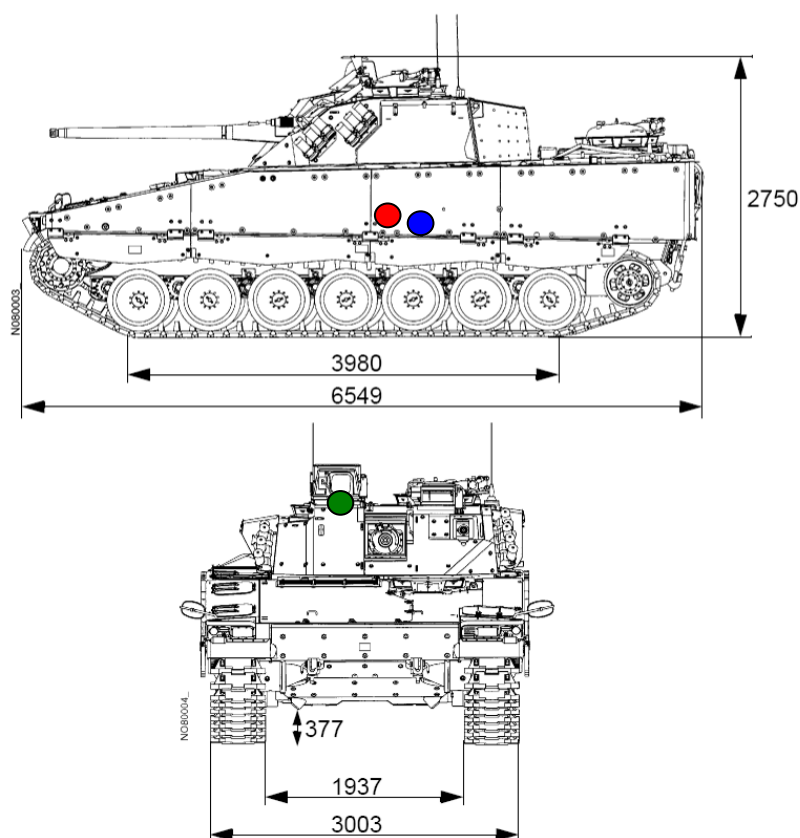
Bortsett fra SPL og L_{peak} , er alle såkalte RMS-verdier. Det er viktig å ikke forveksle L_{max} med L_{peak} . Førstnevnte er helt enkelt den maksimale målingen en konvensjonell lydtrykknivåmåler gir i løpet av en gitt periode, og den avhenger av tidskonstanten og kan være flere desibel lavere enn spissverdien, som er den høyeste målte SPL-verdien. Logisk nok kan det momentane lydtrykknivået kun avleses under målingene.

Før selve målingene må man velge måletid, tidskonstant og veiefilter, her kalt veienettverk. Tidskonstanten angir hvor raskt måleren skal reagere på endring i nivå. Menneskets oppfattelse av lyd har en viss reaksjonstid. Ved støymålinger som har til hensikt å måle støyeksponering hos mennesker, er det derfor viktig å velge riktig tidskonstant ved måling av lyder som varierer hurtig

og kraftig over tid. Nor132 tilbyr tre forskjellige tidskonstanter: F (Fast), S (Slow) og I (Impuls). Følgende funksjoner benytter seg av tidskonstanten: SPL, L_{max} , og L_{min} . Nor132 har tre veienettverk: A-nettverk, C-nettverk og Z-nettverk. Z-nettverket gir de uveide verdiene av lydtryknivået. To av de tre veienettverkene er tilgjengelige samtidig: A- og C-nettverket eller A- og Z-nettverket. Våre målinger er utført med en måletid på 30 sekunder, en tidskonstant lik S (måling 1-10) eller F (måling 11-17), og med A- og Z-nettverkene tilgjengelige.

3.5 Praktisk utføring av målingene

Støymålingene ble utført på Rena leir ved to forskjellige anledninger, 27. mai 2008 (måling 1-10) og 6. august 2008 (måling 11-17), i forbindelse med CV90-befaringer. Lydopptakene er gjort med en håndholdt lydopptaker av typen Handy Recorder H4 fra Zoom Corporation, mens lydtryknivåmålingene altså er gjort med lydtryknivåmåleren Nor132 fra Norsonic AS. Lydopptakene og lydtryknivåmålingene er gjort samtidig over omtrent 30 sekunder (bortsett fra måling 11, hvor lydopptaket er gjort over vel 9 sekunder) med manuell synkronisering på samme sted i kjøretøyet (bortsett fra måling 4-8 som ikke samsvarer i stedet da lydopptakene er fra intercomen, mens lydtryknivåmålingene er gjort i stridsrommet). Måling 1-3 er tatt i stridsrommet like ved gitteret som skiller det fra tårnet, mens måling 11-17 er tatt på skytterens plass i tårnet med åpen luke. Se tegnforklaringen under tabell 3.2 på neste side for nærmere beskrivelse av de andre målingene.



Figur 3.3 De røde, blå og grønne punktene indikerer henholdsvis hvor måling 1-3, 9 og 10, og 11-17 ble gjort.

Lydopptakeren var ved alle målingene innstilt på LG (Low Gain). Se kapittel 3.4.2. for innstillingene til lydtrykknivåmåleren. Tabell 3.2 og Tabell 3.3 under og på neste side indikerer kjøre- og skyteforholdene under hver måling. Måling 1-10 ble utført under en skyteøvelse på varierende underlag, mens måling 11-17 ble gjort under testkjøring på varierende underlag i ulike hastigheter. Helst skulle alle målingene under testkjøringen ha vært utført på det mest støyende underlaget, det vil si betong eller asfalt, men det var ikke mulig med tanke på de hastighetene vi ønsket å oppnå. Vognen hadde stålbelter som var lite slitt. Støyen og vibrasjonene i kjøretøyet øker når belteputene mellom belteleddene slites.

Måling nr.	Lydfil	Lydtrykknivåfil	Input 1	Mic	Tomgangskjøring	Kjøring	Skyting 30 mm	Skyting 7,62 mm	Kommentar
1	STE-005.wav	080527_001_GLOBAL.xls		LG	X				Støy
2	STE-007.wav	080527_003_GLOBAL.xls		LG		X			Støy
3	STE-010.wav	080527_006_GLOBAL.xls		LG	X		X	X	Støy
4	STE-012.wav	080527_008_GLOBAL.xls	LG		X		X	X	a)
5	STE-016.wav	080527_012_GLOBAL.xls	LG		X	X	X		a)
6	STE-018.wav	080527_014_GLOBAL.xls	LG		X				a)
7	STE-022.wav	080527_018_GLOBAL.xls	LG			X			a)
8	STE-023.wav	080527_019_GLOBAL.xls	LG				X		a)
9	STE-027.wav	080527_023_GLOBAL.xls		LG	X				b)
10	STE-029.wav	080527_025_GLOBAL.xls		LG	X		X	(X)	b)

Tabell 3.2 Oversikt over måling 1-10. Lydfilene og lydtrykknivåfilene ligger under
 \\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktiviteter\BMS\CDE\CDE 2008\Lydopptak
 CV90 Regionfelt Øst (BEGRENSET)

- a) Dialog på intercomen. Lydopptakeren er koblet til hodesettutgangen på høyttalerfordelingsboksen (volumknapp midt på grønt område og ingen overstyring).
- b) Dialog på intercomen. Lydopptakene er gjort i lytteavstand fra, rettete sagt inntil, høyttaler i stridsrommet (nærmeste persons sitteplass), det vil si uten støydempet signal på mikrofonen.
- (X) Skyting fra andre kjøretøy.

NB! Ved alle målingene er lydtrykknivåmålingene gjort på samme sted i kjøretøyet som lydopptakene, bortsett fra ved måling 4-8 hvor lydtrykknivåmålingene er gjort i stridsrommet, og ikke på intercomen som lydopptakene.

Måling nr.	Lydfil	Lydtrykknivåfil	Input 1	Mic	Underlag	Hastighet (km/t)
11	STE-003.wav	080806_007_GLOBAL.xls		LG	Betong	0 (tomgang)
12	STE-004.wav	080806_008_GLOBAL.xls		LG	Betong	<10 (gangfart)
13	STE-005.wav	080806_009_GLOBAL.xls		LG	Asfalt	20
14	STE-006.wav	080806_010_GLOBAL.xls		LG	Grusvei	40
15	STE-007.wav	080806_011_GLOBAL.xls		LG	Grusvei	60
16	STE-008.wav	080806_012_GLOBAL.xls		LG	Grusvei	Høy, men usikker
17	STE-009.wav	080806_013_GLOBAL.xls		LG	Grusvei	65-70

Tabell 3.3 Oversikt over måling 11-17. Lydfilene og lydtrykknivåfilene ligger under \\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktiviteter\BMS\CDE\CDE 2008\CV90-befaring Rena 6.8.2008\Lydopptak

3.6 Resultater

3.6.1 Lydtrykknivå

Tabell 3.4 under viser resultatene fra lydtrykknivåmålingene.

Måling nr.	L _{AS} /F(max) (dB)	L _{AS} /F(min) (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{AE} (dB)	L _{Apeak} (dB)	L _{ZS} /F(max) (dB)	L _{ZS} /F(min) (dB)	L _{Zeq} (dB)	L _{ZE} (dB)	L _{Zpeak} (dB)
1	79,4	78,7	79,1	93,8	91,2	99,2	87,9	91,2	106,0	109,8
2	101,6	99,2	100,1	114,9	114,2	119,0	114,5	116,2	131,0	129,6
3	113,3	81,8	102,2	117,0	133,1	129,0	90,9	117,3	132,1	142,2
4	112,0	82,6	99,6	114,4	131,3	126,0	91,8	112,1	126,9	138,9
5	111,7	81,7	102,4	117,2	135,7	125,6	90,3	116,0	130,7	140,5
6	84,7	83,3	83,8	98,6	98,1	92,0	90,5	91,0	105,8	103,7
7	88,0	82,9	84,6	99,3	101,8	104,5	90,0	98,0	112,8	114,6
8	111,6	83,1	99,3	114,1	131,0	127,1	90,9	114,7	129,5	141,1
9	102,6	82,9	92,2	106,9	118,6	104,5	91,8	95,8	110,6	118,9
10	114,1	95,0	108,4	123,2	135,1	128,3	101,0	119,6	134,3	142,7

Måling nr.	L _{AS/F} (max) (dB)	L _{AS/F} (min) (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{AE} (dB)	L _{Apeak} (dB)	L _{ZS/F} (max) (dB)	L _{ZS/F} (min) (dB)	L _{Zeq} (dB)	L _{ZE} (dB)	L _{Zpeak} (dB)
11	93,9	87,2	89,3	104,7	106,0	114,3	101,8	107,9	123,3	123,8
12	102,2	97,7	100,0	114,9	114,0	119,6	112,7	116,6	131,5	129,3
13	108,8	103,4	106,1	122,2	121,3	128,0	116,5	124,3	140,4	135,9
14	111,2	106,7	108,8	123,6	122,1	127,7	118,2	123,2	138,0	135,8
15	111,8	104,9	108,7	124,7	122,9	128,9	119,0	123,8	139,8	136,8
16	94,3	77,7	86,6	102,6	121,6	108,2	89,1	99,0	115,0	125,8
17	112,5	107,7	110,3	125,2	124,1	128,0	119,7	124,2	139,1	137,0

Tabell 3.4 Resultatene fra lydtrykknivåmålingene

I og med at det er de uveide verdiene, altså Z-verdiene, som angir det reelle lydtrykknivået, er det mest sannsynlig disse verdiene som er interessante i forbindelse med støyens påvirkning på talegjenkjenningssystemet. I tillegg vil frekvens- og spektralanalysene av støymålingene i kapittel 3.6.3 og 3.6.4 kunne gi nyttig informasjon. Både målingene av den generelle bakgrunnsstøyen i kjøretøyet og av dialogen på intercomen vil være av interesse. En utfordring når det gjelder talegjenkjenningssystemet er å kunne skille kommandoer til BMS fra vanlig tale, som for eksempel beskjeder over intercomen.

For å kunne vurdere den menneskelige støybelastningen, må man se på de A-veide verdiene, og i hovedsak L_{Aeq}. For at verdiene for L_{Aeq} i tabell 3.4 skal kunne sammenlignes med tiltaks- og grenseverdiene i arbeidsmiljøloven, må man omregne dem til L_{EX,8h}-verdier. Ved å ta utgangspunkt i en arbeidsdag på 8 timer, vil verdiene forbli de samme. Er arbeidsdagen kortere, vil L_{EX,8h}-verdiene være noe lavere enn L_{Aeq}-verdiene. Hvis vi forutsetter en arbeidsdag på 8 timer, kan vi se at alle våre målte L_{EX,8h}-verdier, med unntak av én, er høyere enn den nedre tiltaksgrensen på 80 dB. Grenseverdien på L_{EX,8h} = 85 dB blir også overskredet i flere av målingene. Det er da også av denne grunn at alt personell på CV90 må ha på seg hørselsvern eller beskyttende hodesett. Siden våre målinger ikke er blitt gjort inne i hørselsvernet, kan vi ikke trekke noen konklusjoner angående den reelle støybelastningen for personellet.

Imidlertid har det vært interessant å sammenligne våre verdier med verdiene fra Forsvarets bedriftshelsetjeneste (FBHT) Indre Østlands rapport fra 2007. Støymålingene er ikke tatt på eksakt samme sted i kjøretøyet, så sammenligningen er holdbar kun hvis det ikke er veldig store variasjoner i støy fra ett sted til ett annet, noe vi antar er tilfelle. Det største problemet med sammenligningen er at rapporten ikke sier noe om hva slags type lydtrykknivåmålinger som er gjort. Det står nemlig bare at det er A-veide desibel-verdier. I rapporten blir disse verdiene direkte satt opp mot tiltaks- og grenseverdiene i arbeidsmiljøloven for å vurdere avviket uten først å gjøre

omregningen til $L_{EX,8h}$ -verdier. Hvis verdiene i rapporten er L_{Aeq} -verdier, og man tar utgangspunkt i en 8-timers arbeidsdag, kan man sammenligne verdiene direkte, men disse forutsetningene er ikke bekreftet i rapporten.

Hvis vi antar at disse forutsetningene er til stede, kan vi sammenligne våre L_{Aeq} -verdier fra måling 11-17 med FBHTs mikrofonmålinger ved hver korresponderende hastighet. Vi kan se at våre verdier ligger noen desibel høyere enn FBHTs verdier. Dette er logisk med tanke på at målingene til FBHT er foretatt ved kjøring på snø/is, mens våre målinger er gjort ved kjøring på hardere underlag, som erfaringsmessig skaper mer støy.

Det som er litt rart med FBHTs resultater, er at de har målt høyere verdier inne i hodesettet enn utenfor. De påpeker selv at dette skyldes intercomen, men det er allikevel pussig at støynivået blir rundt 5 dB høyere ved bruk av hodesett. Det kan tyde på at hodesettet ikke stenger ute nok av den generelle bakgrunnsstøyen, slik at volumet på intercomen må skrus betydelig opp. En annen mulighet er at hodesettet ikke sitter like godt på prøvedukken som det gjør på et menneske. Dukken vil for eksempel ikke kunne gi beskjed om hodesettet ikke er ordentlig plassert, og det er lite trolig at dukkens kropp demper støyen på samme måte som menneskekroppen. Kanskje blir lyden forsterket inne i hodesettet før den når mikrofonen inne i dukkens øre?

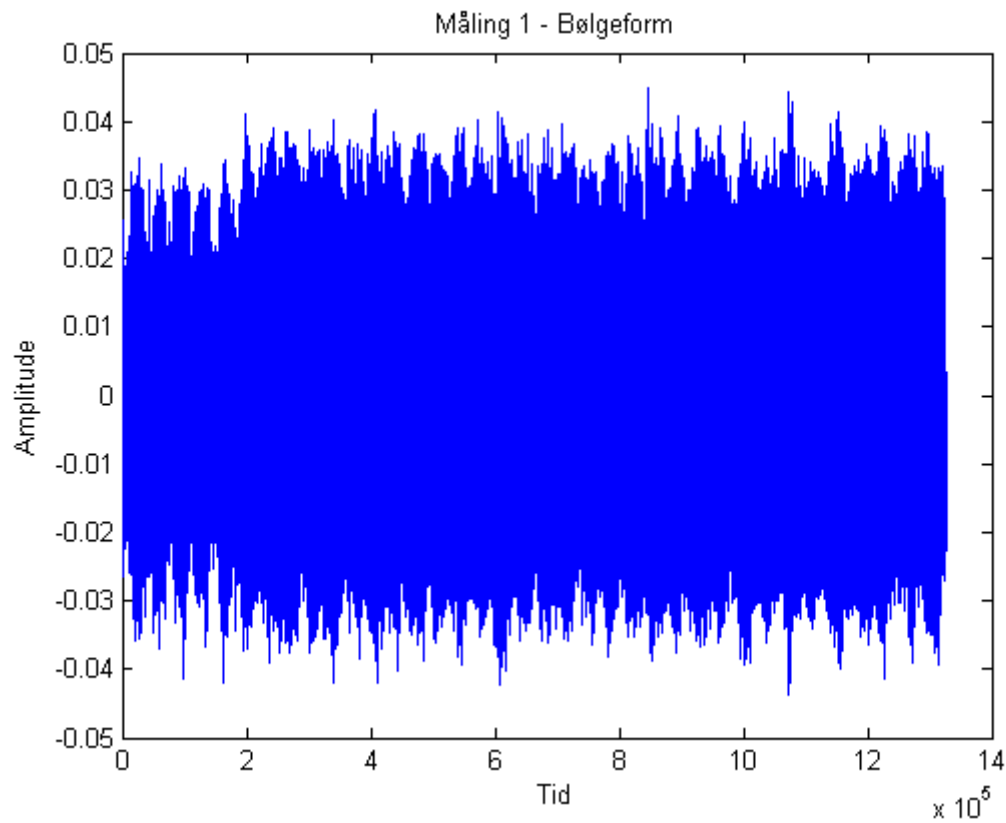
3.6.2 Bølgeformanalyse

Når man fremstiller støyens amplitude, det vil si lydtrykket eller lydtrykknivået, som en funksjon av tid, kalles grafen for støyens bølgeform. Denne grafen kan lages ved hjelp av Matlab med utgangspunkt i lydfilen i wav-format. Det må bemerkes at x-aksen angir tiden, men ikke i sekunder, og at enheten på y-aksen er skalerth ned til intervallet [-1,1]. Vi kan se at grafene til måling 14-17 har blitt kuttet, trolig fordi signalet har vært overstyrt og dermed gått i metning. Samplingsfrekvensen var 44,1 kHz for måling 1-10 og 48 kHz for måling 11-17.

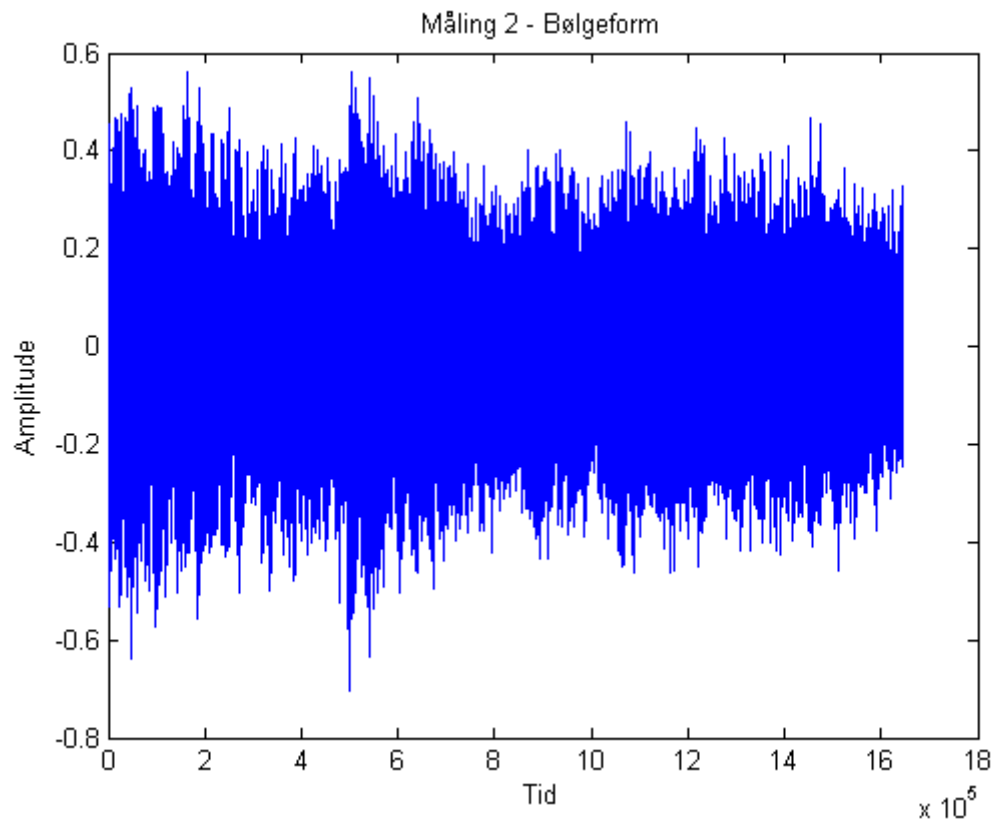
Følgende Matlab-program ble brukt til å plote bølgeformgrafene:

```
[y, Fs, nbits]=wavread('\\Ffi.no\grupper\TEKNISK\
Prosjektaktiviteter\BMS\CDE\CDE 2008\Lydopptak CV90 Regionfelt Øst
(BEGRENSET)\STE-005');
    % Henter wav-fil spesifisert ved filnavn og gir (2,:)-matrisen
    y. Andre kolonne er tom da lydopptaket er mono. Returnerer
    også samplingsfrekvensen (Fs) i Hz og antall bits per sample
    (nbits) brukt til å kode dataen i filen.

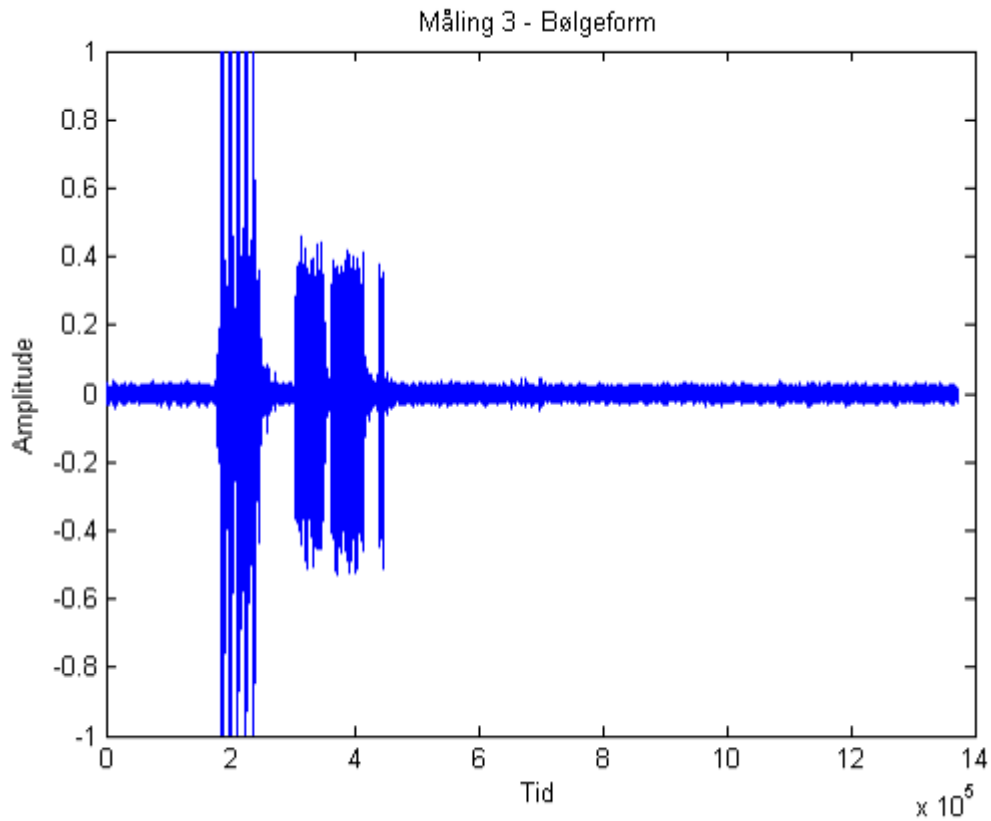
plot(y(:,1))    % Plotter den første kolonnen i y.
xlabel('Tid')
ylabel('Amplitude')
title('Måling 1 - Bølgeform')
```



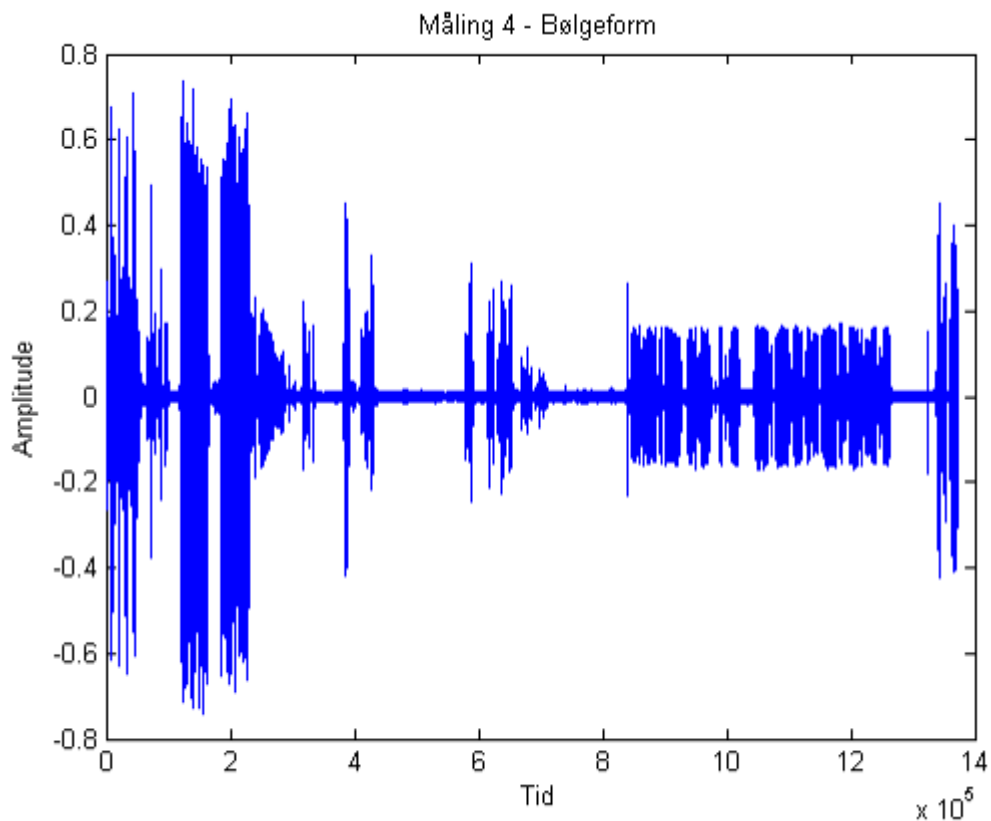
Figur 3.4 Måling 1 – Bølgeform. Opptak i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



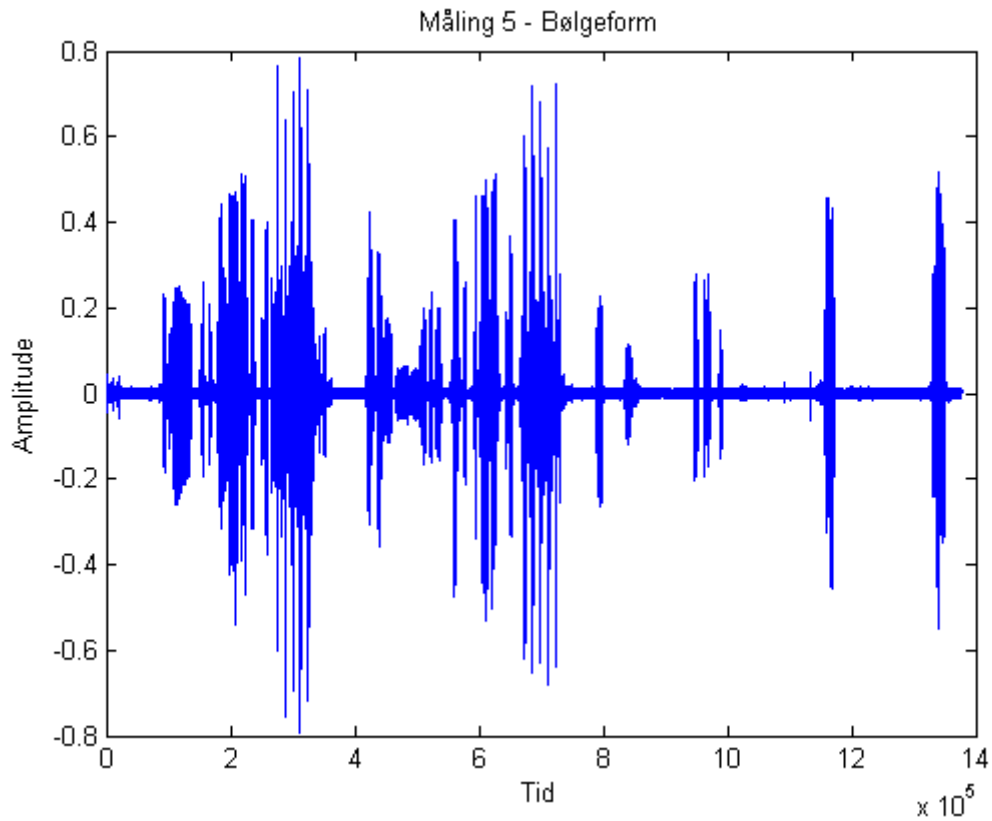
Figur 3.5 Måling 2 – Bølgeform. Opptak i stridsrommet. Kjøring på grusvei/terreng



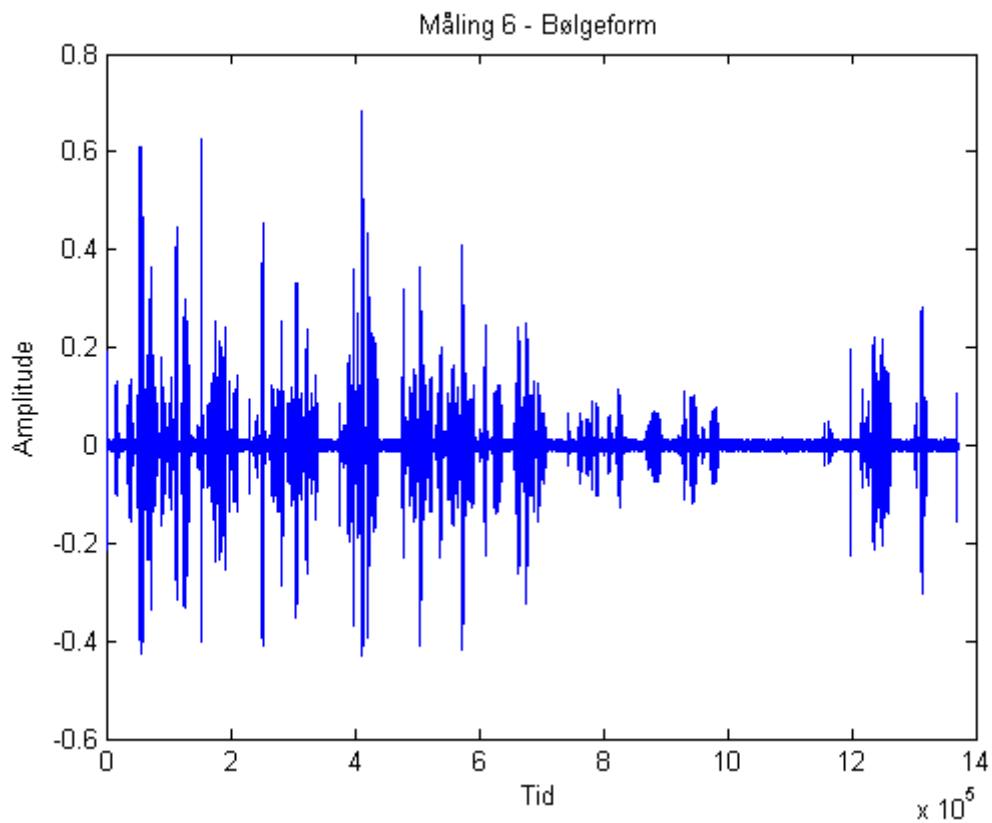
Figur 3.6 Måling 3 – Bølgeform. Opptak i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm og 7,62 mm



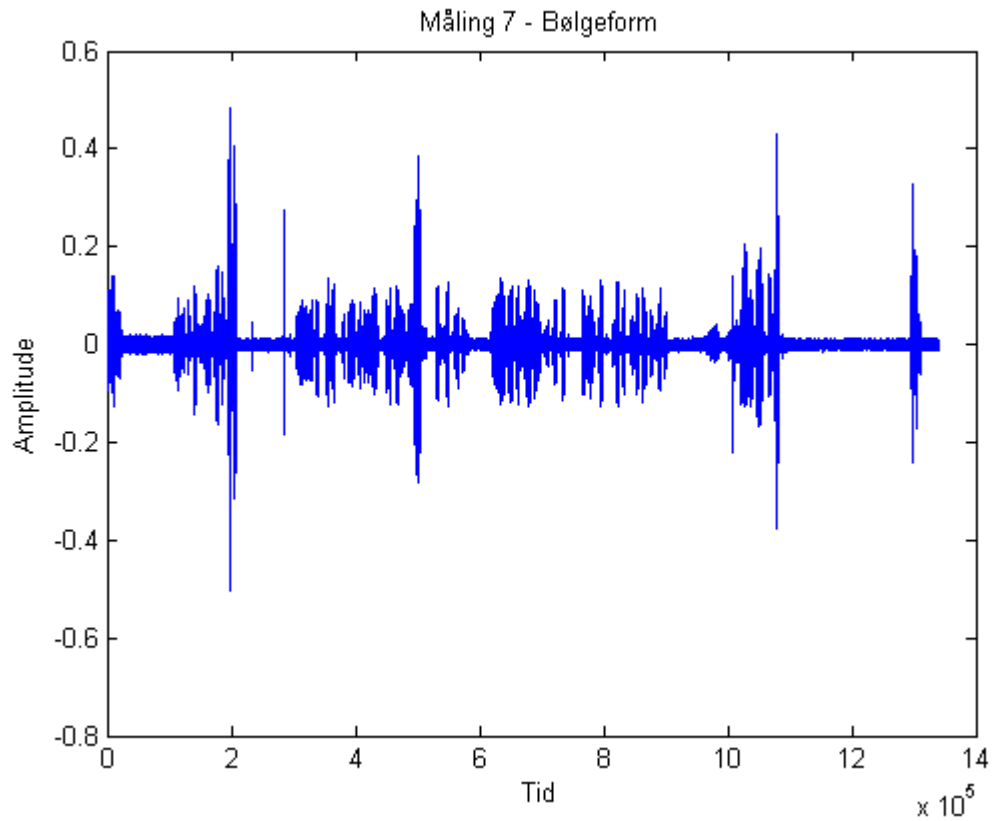
Figur 3.7 Måling 4 – Bølgeform. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm og 7,62 mm



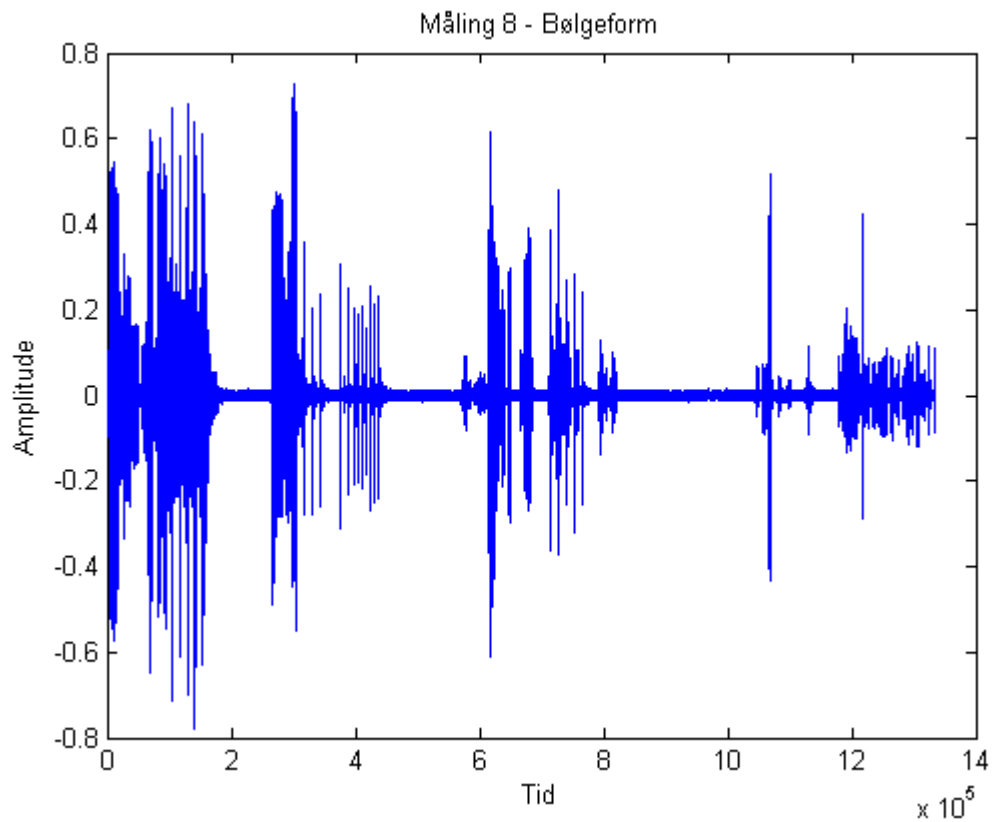
Figur 3.8 Måling 5 – Bølgeform. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring og kjøring på grusvei/terreng, i tillegg til skyting med 30 mm



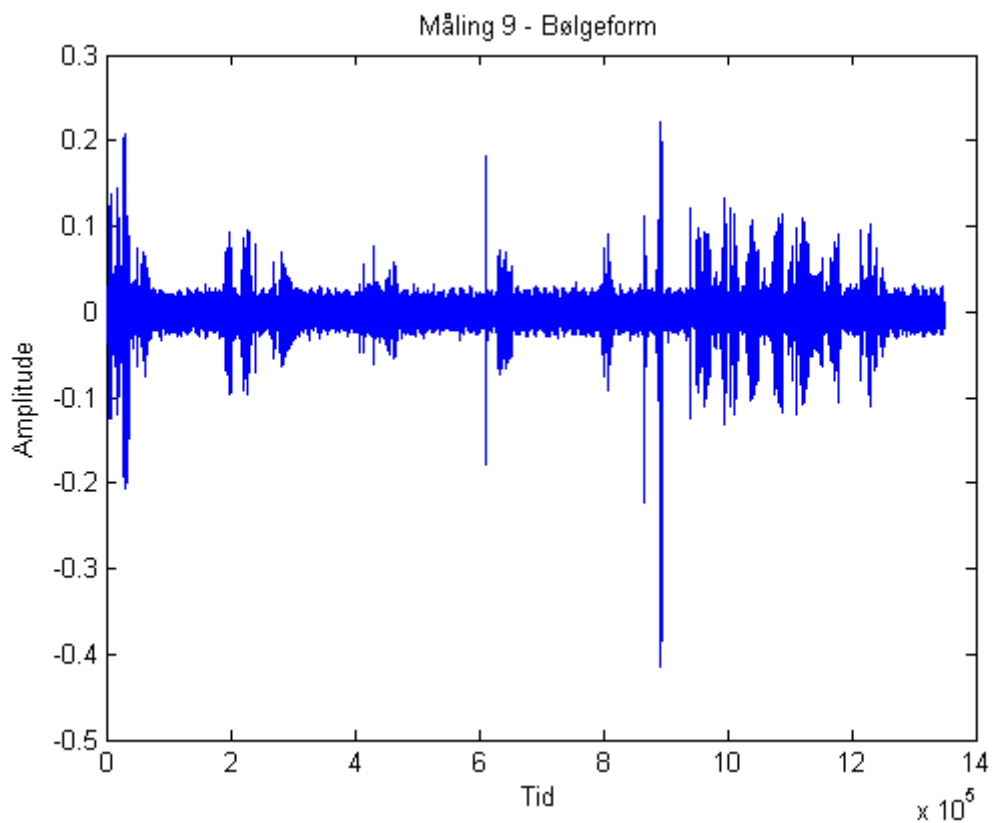
Figur 3.9 Måling 6 – Bølgeform. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



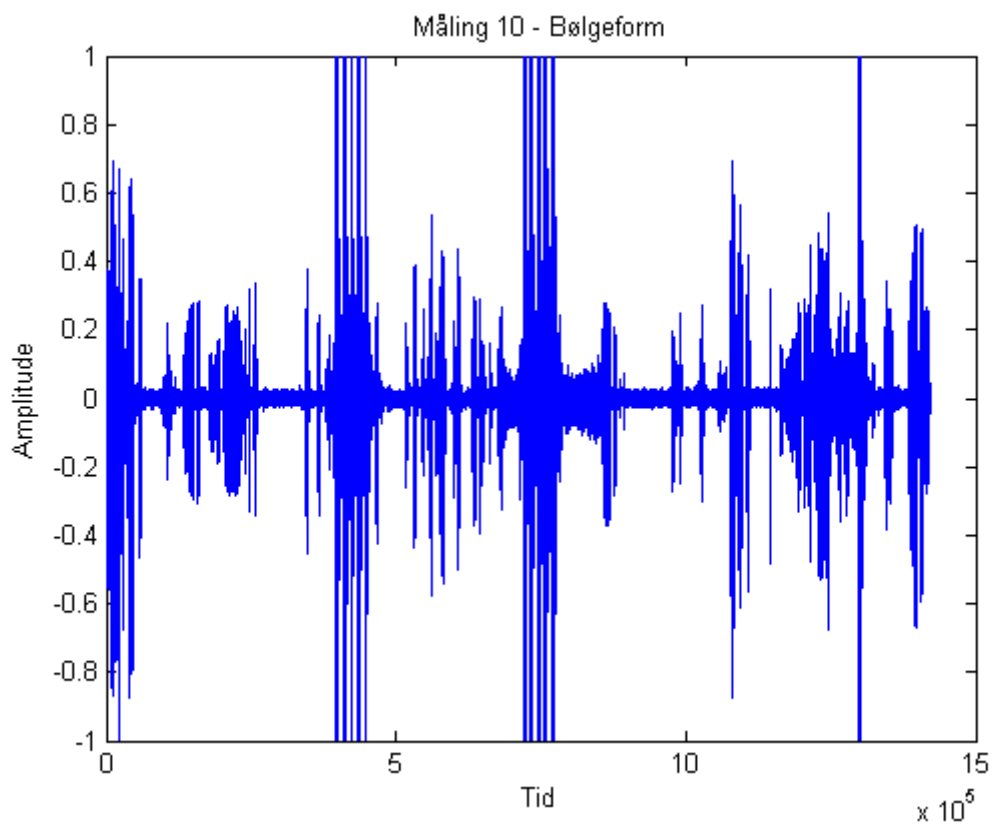
Figur 3.10 Måling 7 – Bølgeform. Opptak fra intercomen. Kjøring på grusvei/terreng



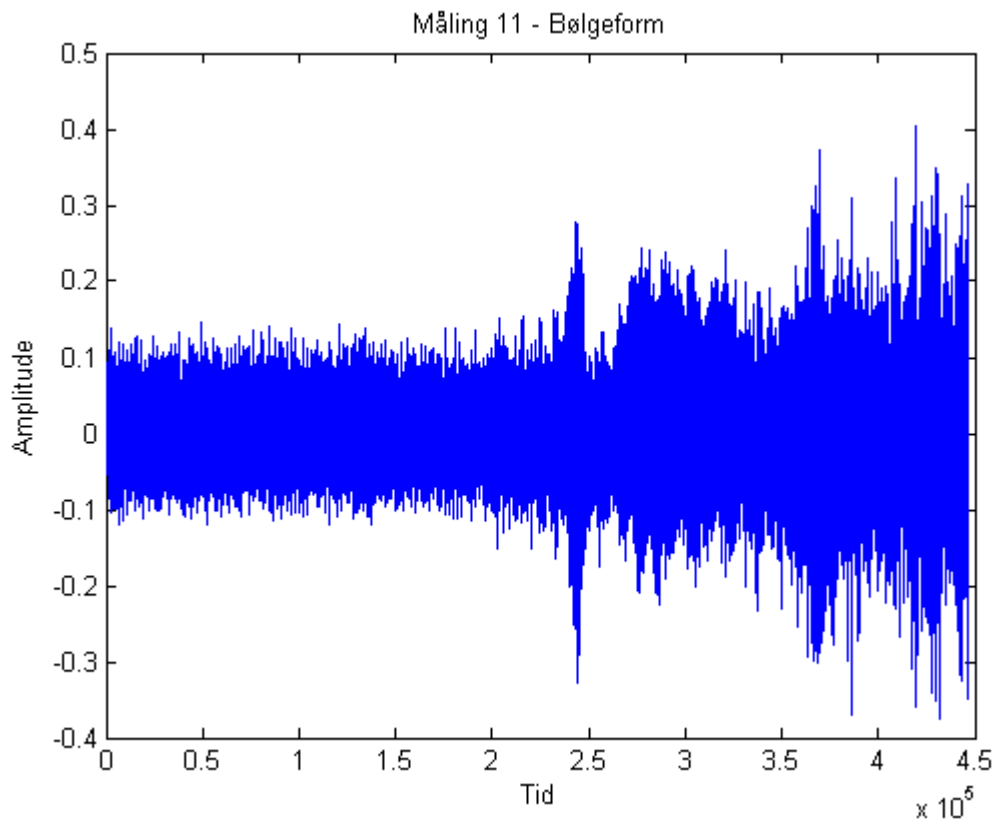
Figur 3.11 Måling 8 – Bølgeform. Opptak fra intercomen. Skyting med 30 mm



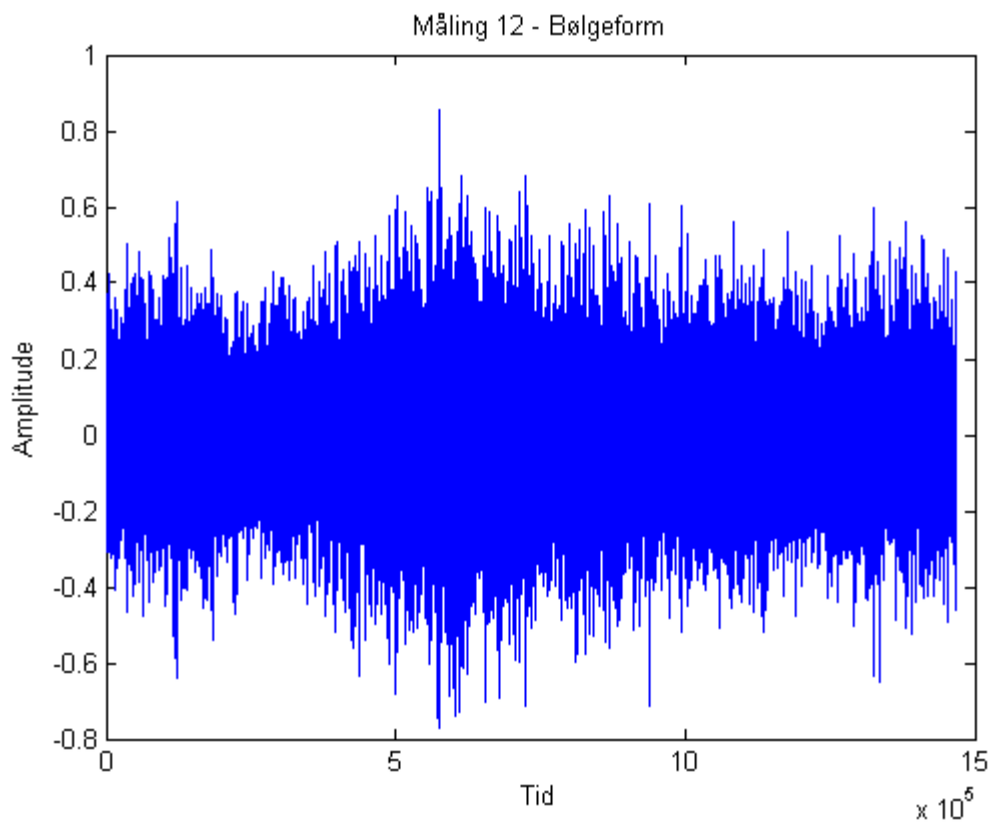
Figur 3.12 Måling 9 – Bølgeform. Opptak inntil høyttaler i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



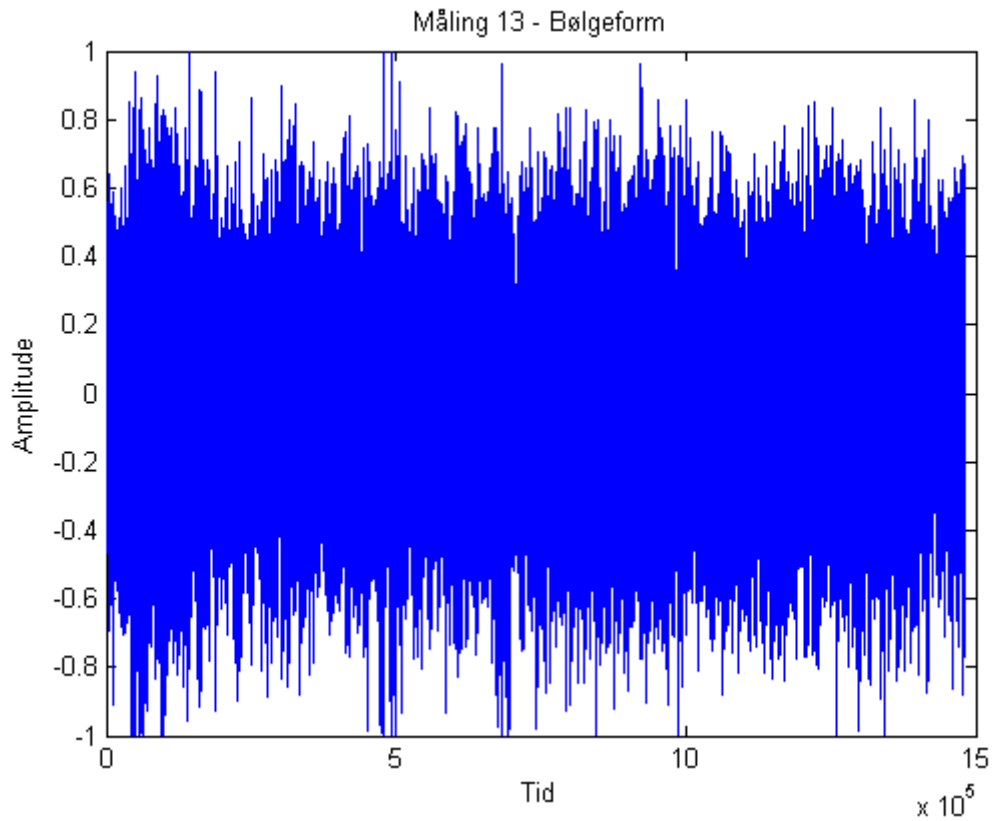
Figur 3.13 Måling 10 – Bølgeform. Opptak inntil høyttaler i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm, i tillegg til skyting med 7,62 mm fra andre kjøretøy



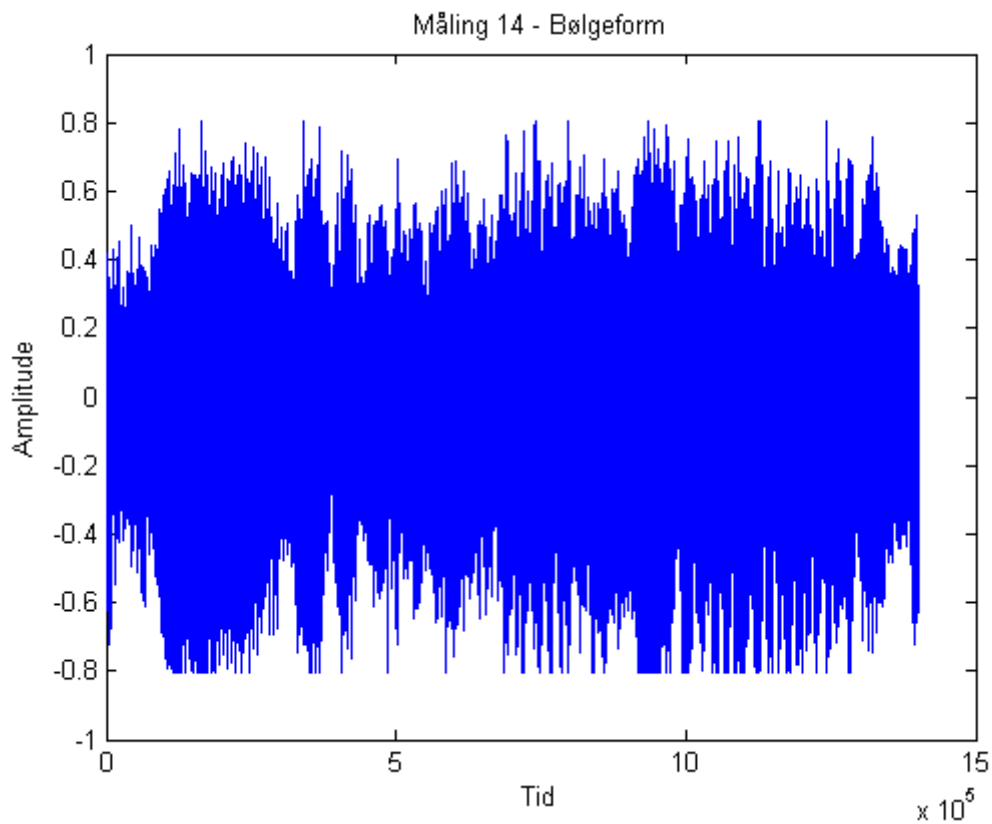
Figur 3.14 *Måling 11 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Tomgangskjøring på betong. (Kjøretøyet satte seg i bevegelse like før målingen ble avbrutt)*



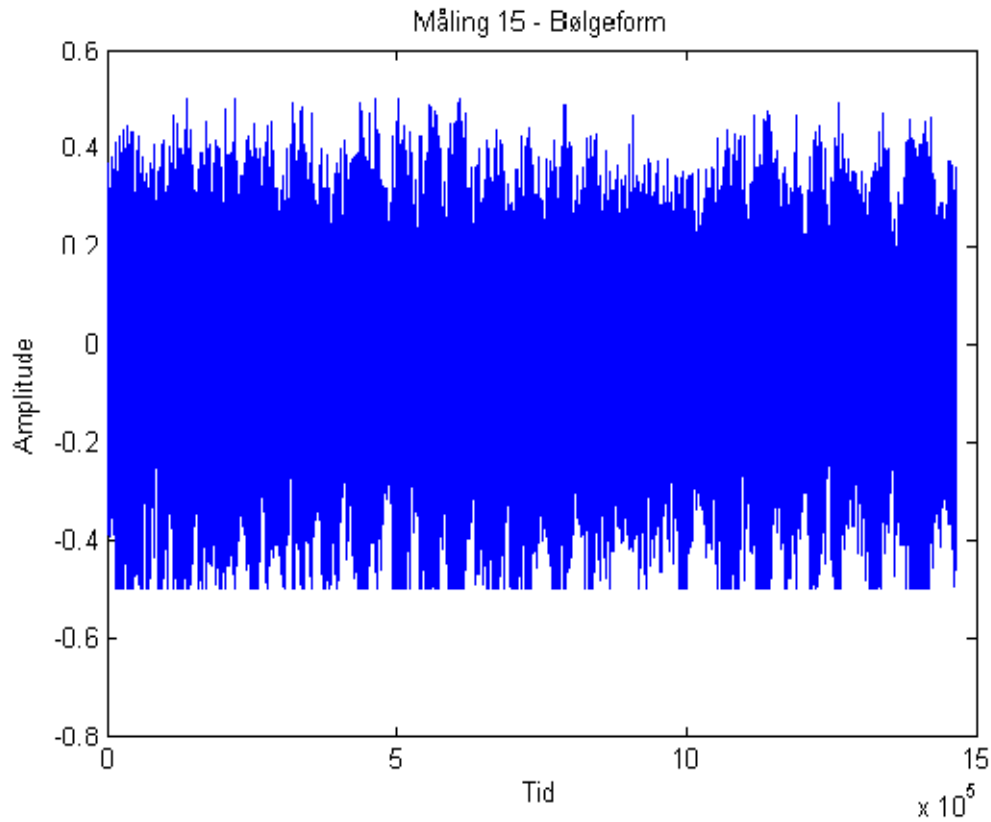
Figur 3.15 *Måling 12 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i gangfart på betong*



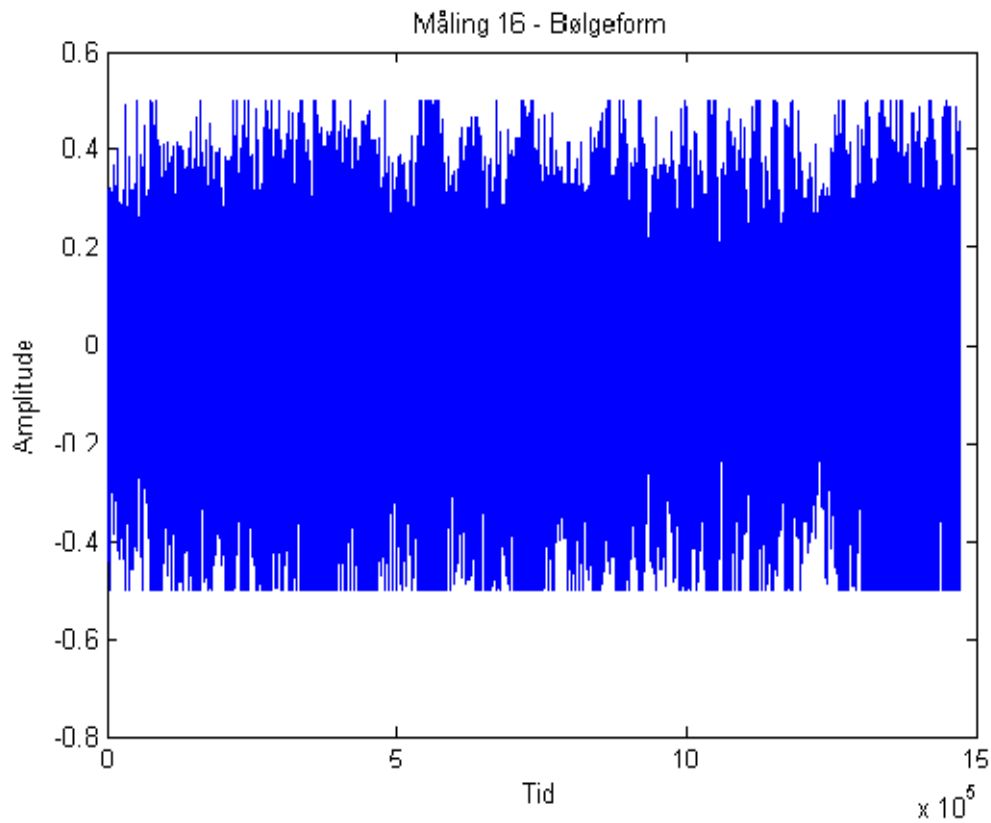
Figur 3.16 Måling 13 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 20 km/t på asfalt



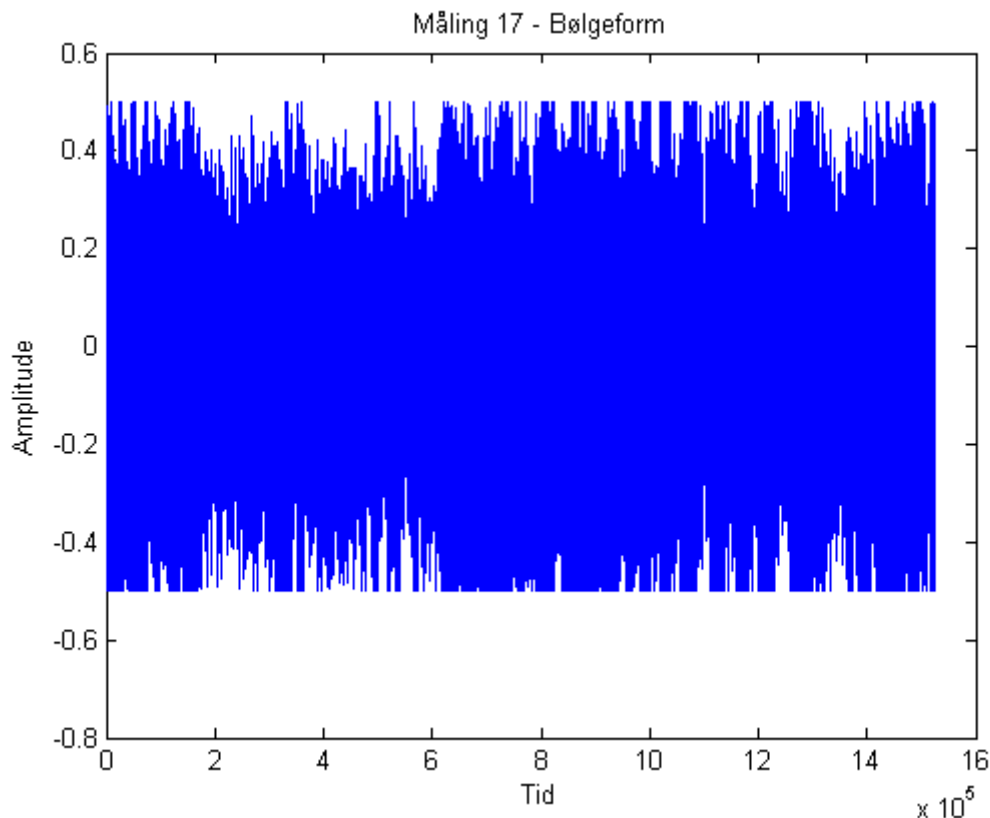
Figur 3.17 Måling 14 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 40 km/t på grusvei



Figur 3.18 *Måling 15 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 60 km/t på grusvei*



Figur 3.19 *Måling 16 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i høy, men usikker, hastighet på grusvei*



Figur 3.20 Måling 17 – Bølgeform. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i maksimumshastighet (65-70 km/t) på grusvei

Støyens amplitude kan ikke leses direkte av grafene, men de målte lydtrykknivåverdiene presentert i tabell 3.4 i det foregående kapittelet gir oss informasjon om spissverdien, ekvivalentnivået, maksimumsnivået og minimumsnivået (bortsett fra for måling 4-8). Dessuten vises variasjonen i amplitude over tid, og man kan sammenligne amplitudene til de ulike målingene.

Man kan ved alle målingene se den konstante bakgrunnsstøyen forårsaket av kjøretøyets motor og kjøring på ulikt underlag, men den er betraktelig lavere ved målingene tatt direkte fra intercomen (måling 4-8), det vil si direkte fra høyttalerfordelingsboksen. Ved de målingene hvor det har forekommet skyting (måling 3, 4, 5, 8 og 10), kan man se kortvarige, men svært høye utslag i amplitude. Dialog over intercomen kan sees som hyppige og forholdsvis store variasjoner i amplitude. Til tider er disse variasjonene ganske regelmessige.

3.6.3 Frekvensanalyse

I tillegg til lydtrykknivået til støyen, det vil si dens amplitude, er det interessant å undersøke frekvensfordelingen. Dette kan gjøres ved å bruke FFT-funksjonen i Matlab. FFT står for Fast Fourier Transformation, det vil si rask Fouriertransformasjon, og det er en algoritme for å beregne den diskrete Fouriertransformerte (DFT). En Fouriertransformasjon overfører en funksjon fra, for eksempel tidsdomenet, til frekvensdomenet. Ekstremalverdiene på aksene er valgt slik at grafen gir et best mulig utsnitt i forhold til hver enkelt måling, og y-aksen angir energinivået.

Følgende Matlab-program ble brukt til å regne ut og plote frekvensfordelingene:

```
[data, Fs,
nbits]=wavread('\\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktiviteter\BMS\
CDE\CDE 2008\Lydopptak CV90 Regionfelt Øst (BEGRENSET)\STE-005');
    % Henter wav-fil spesifisert ved filnavn og gir en (2,:)-matrise
    (data). Andre kolonne er tom da lydopptaket er mono. Returnerer
    samplingsfrekvensen (Fs) i Hz og antall bits per sample (nbits)
    brukt til å kode dataen i filen.

y=data(:,1);      % Lager en vektor (y) av den første kolonnen i data-
                  matrisen.

L=length(y);     % Gir dimensjonen til y, dvs. antall elementer i y.

yn=y-mean(y);   % Subtraherer gjennomsnittet for å få et signal med
                  forventingsverdien null.

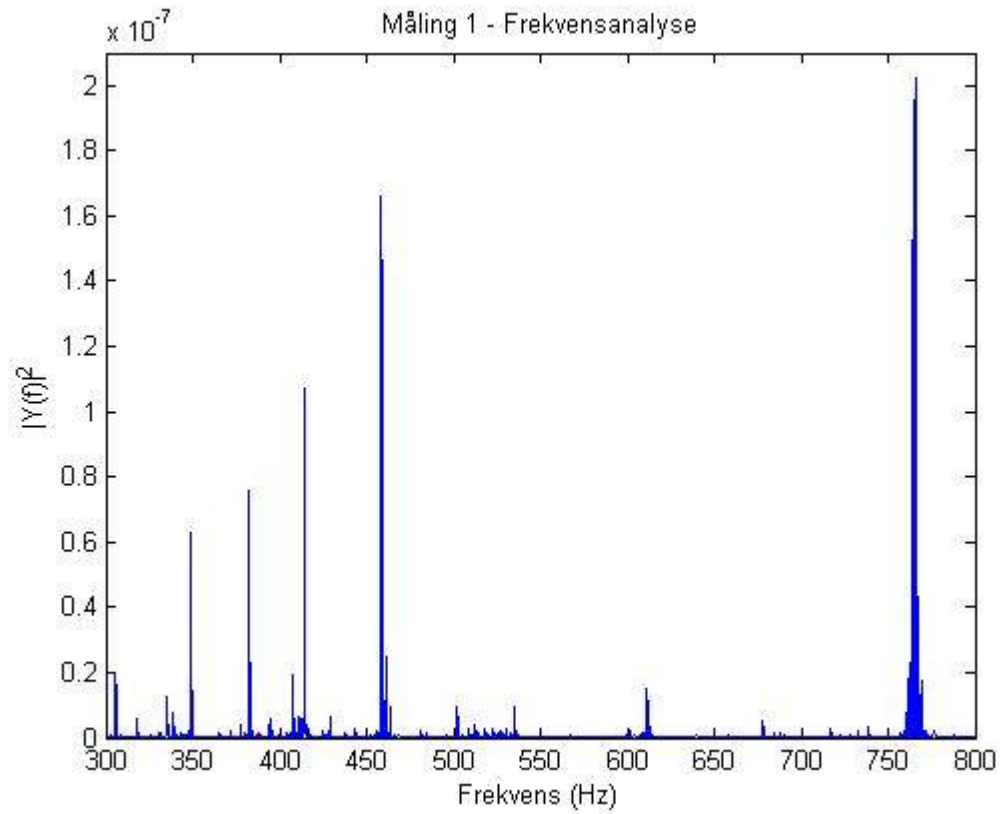
nfft=2^nextpow2(L); % FFT-operasjoner fungerer best når sekvenslengden
                  er en eksakt potens av 2, dvs. 2^p. p = nextpow2(L)
                  returnerer den laveste toerpotensen som er større
                  enn eller lik absoluttverdien av L, dvs. p som
                  oppfyller 2^p >= abs(L).

Y=fft(yn,nfft)/L; % Gir den nfft-punkte diskrete Fourier-
                  transformasjonen (DFT) til vektoren y, beregnet
                  med en rask Fouriertransformasjon-algoritme
                  (FFT). Når y er en matrise, returnerer fft
                  Fouriertransformasjonen til hver kolonne i
                  matrisen. Hvis lengden på y, dvs. L, er mindre
                  enn nfft, blir det lagt til nuller. Hvis lengden
                  på y er større enn nfft, blir y avkortet. Vi deler
                  på L for å normere DFTen.

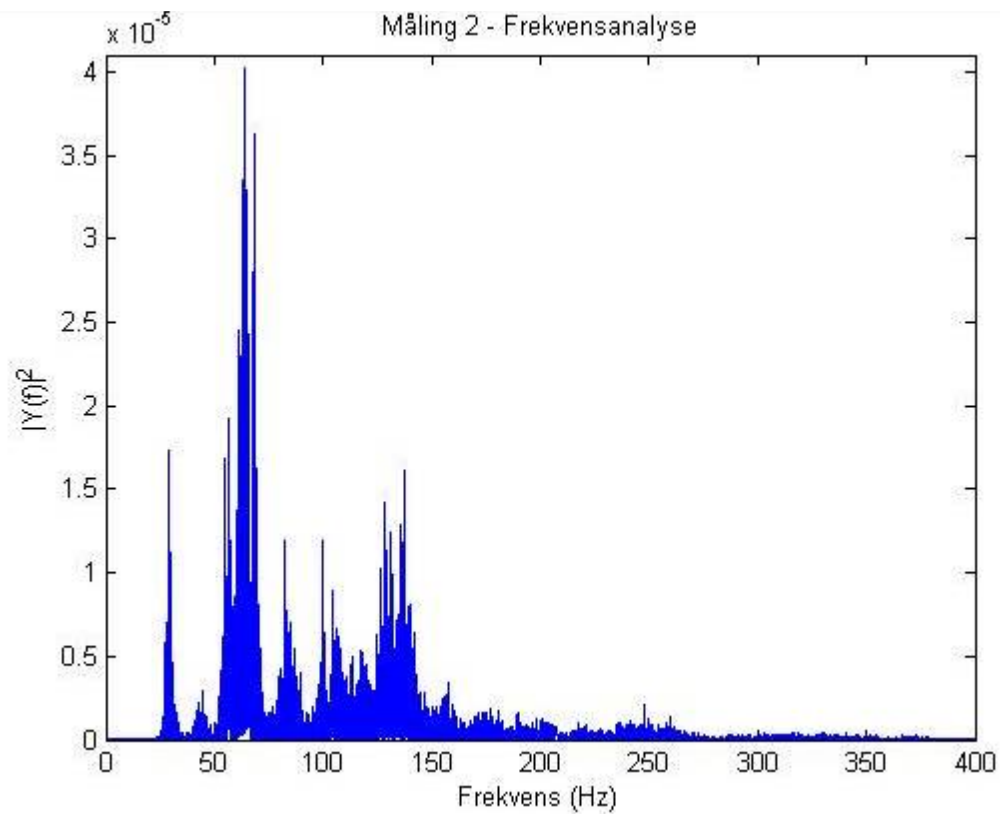
f=Fs/2*linspace(0,1,nfft/2); % Utregning av grafens x-akse
                              (frekvenslinjen), kun med frekvens-
                              verdier opp til halve samplings-
                              frekvensen (Nyquist-frekvensen).
                              y = linspace(a,b,n) genererer en rekke-
                              vektor y med n elementer lineært
                              fordelt mellom og inkludert a og b.

plot(f,Y(1:nfft/2).*conj(Y(1:nfft/2))) % Plotter Y ganget med sin
                                       konjugerte verdi for å oppnå
                                       kvadratet av absoluttverdien
                                       til Y.

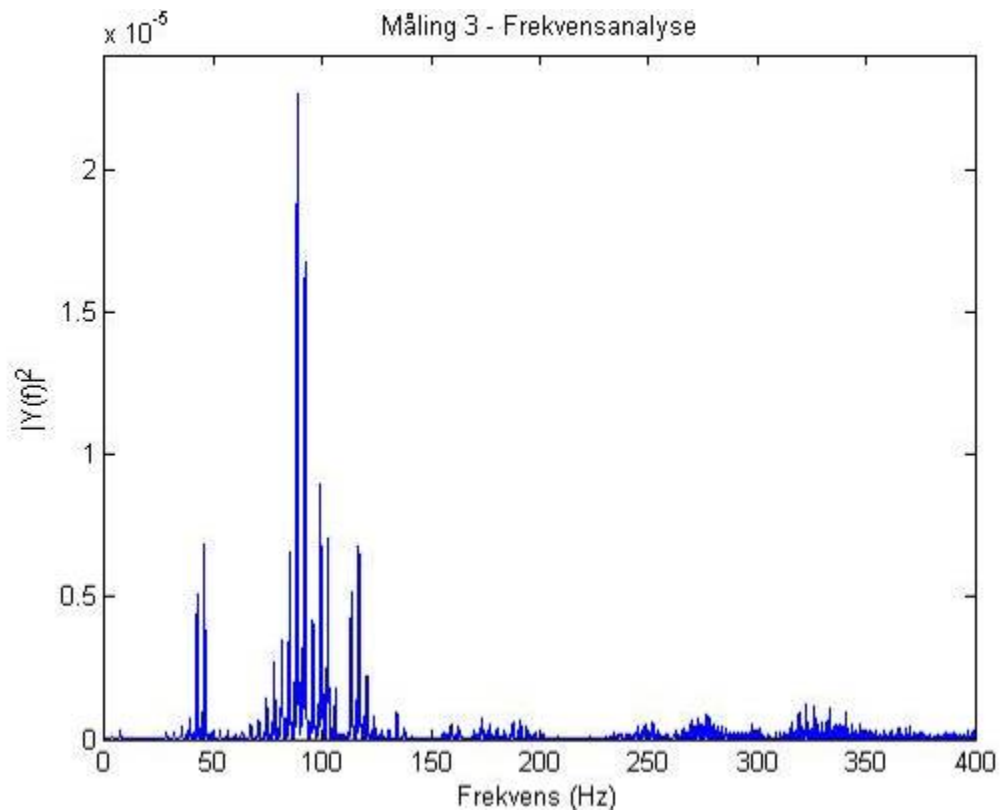
axis([300 800 0 0.00000021])
title('Måling 1 - Frekvensanalyse')
xlabel('Frekvens (Hz)')
ylabel('|Y(f)|^2')
```



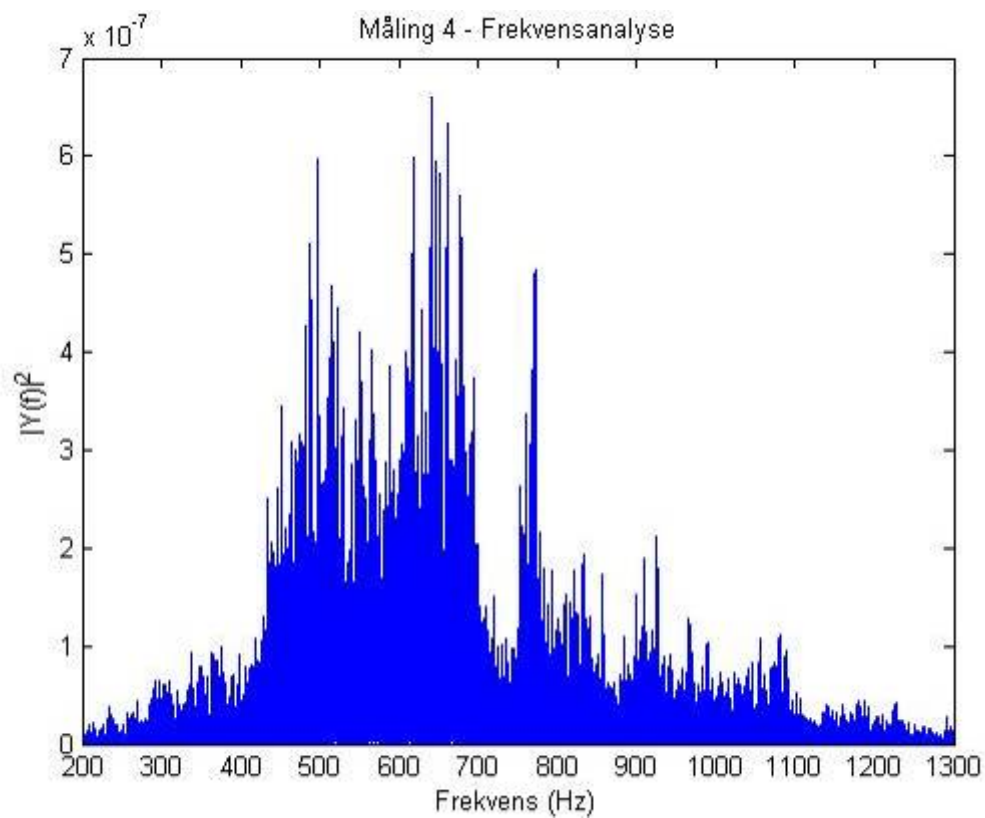
Figur 3.21 Måling 1 – Frekvensanalyse. Opptak i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



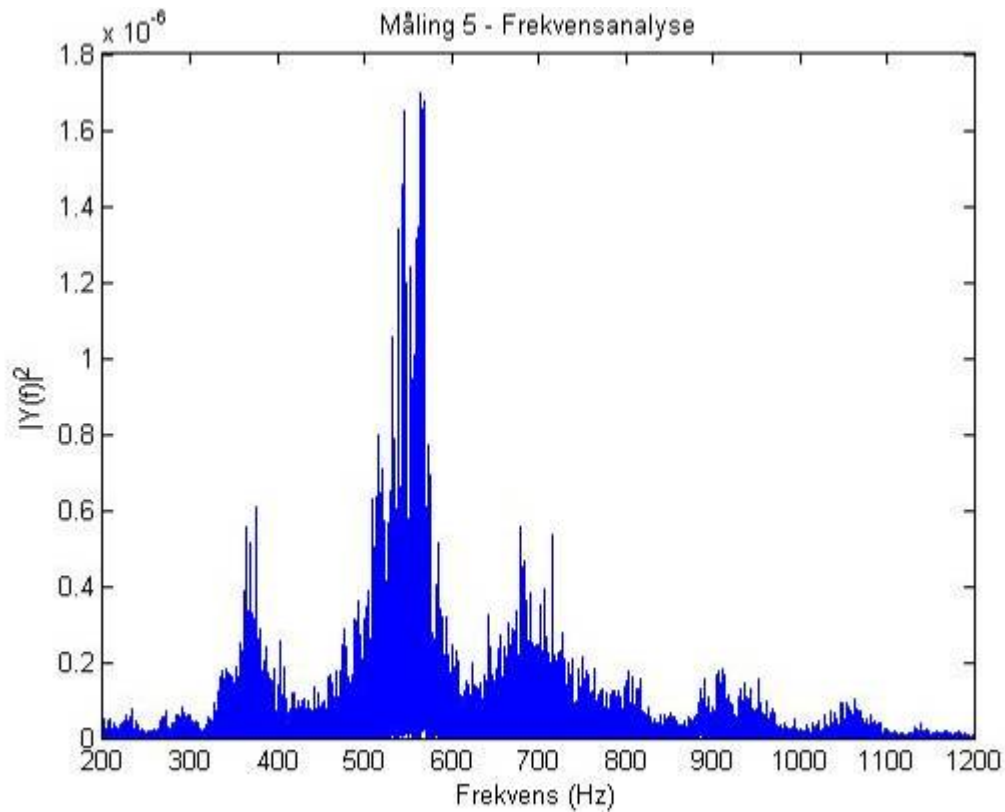
Figur 3.22 Måling 2 – Frekvensanalyse. Opptak i stridsrommet. Kjøring på grusvei/terreng



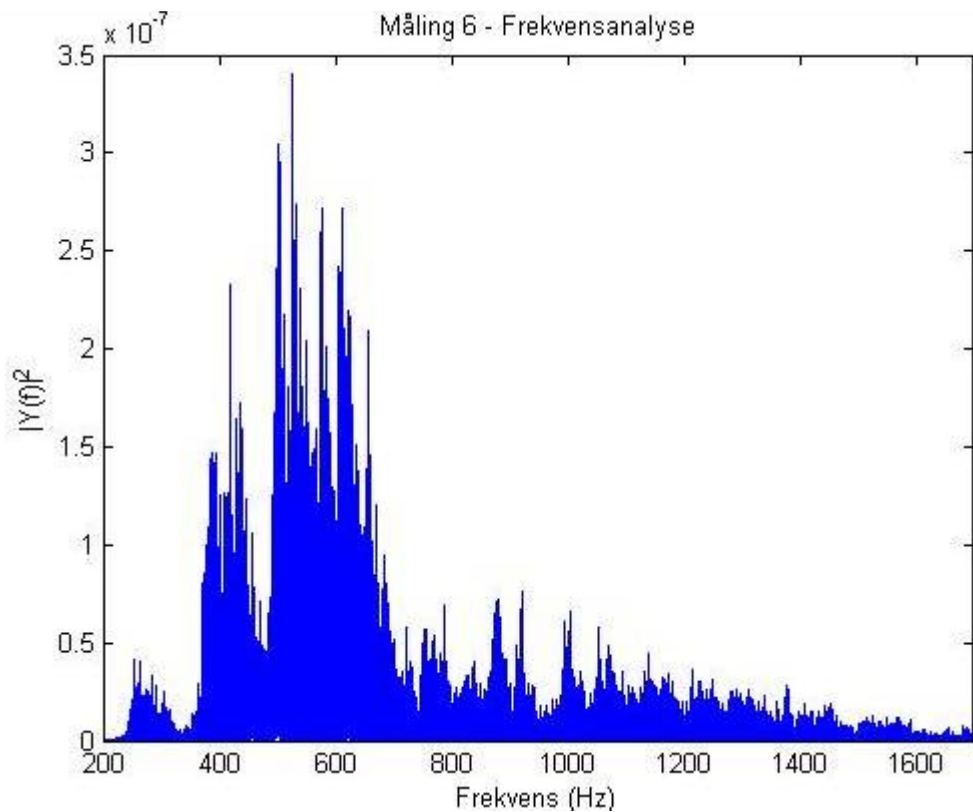
Figur 3.23 Måling 3 – Frekvensanalyse. Opptak i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm og 7,62 mm



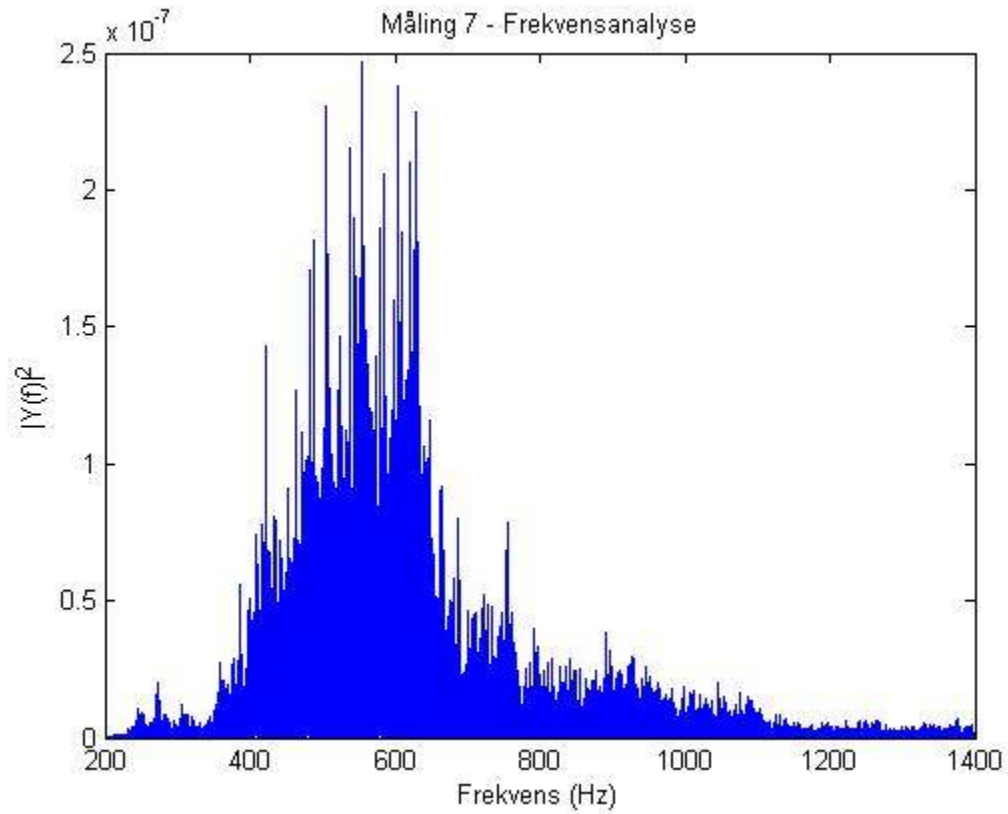
Figur 3.24 Måling 4 – Frekvensanalyse. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm og 7,62 mm



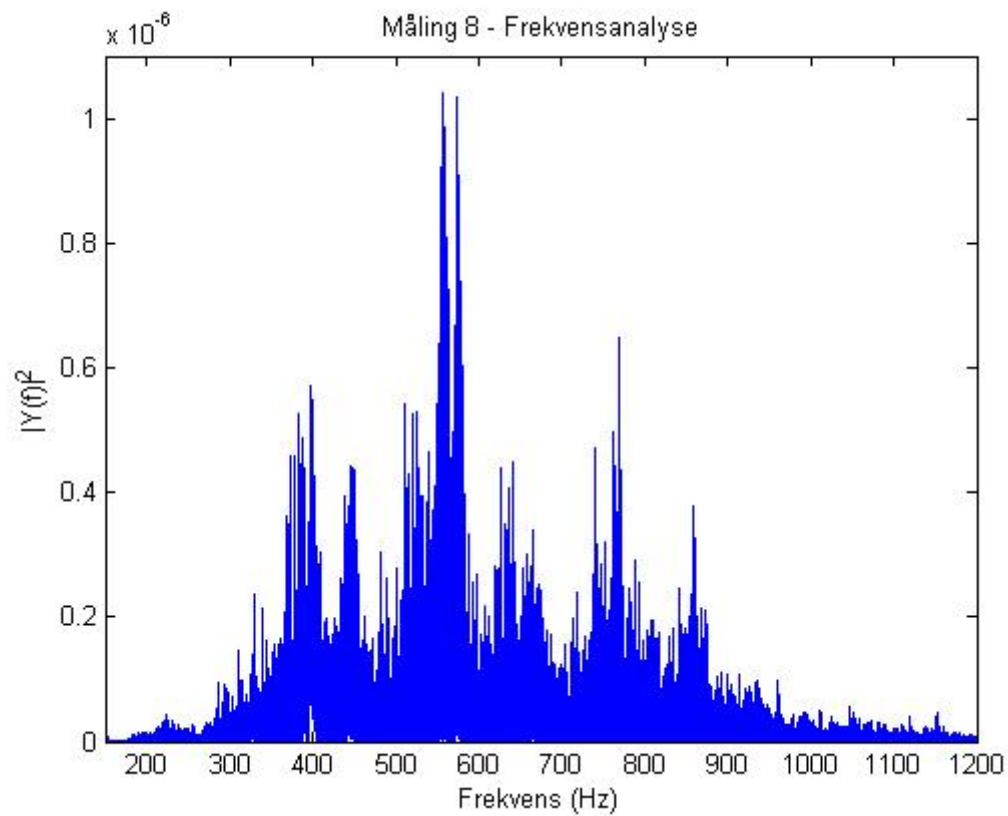
Figur 3.25 Måling 5 – Frekvensanalyse. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring og kjøring på grusvei/terreng, i tillegg til skyting med 30 mm



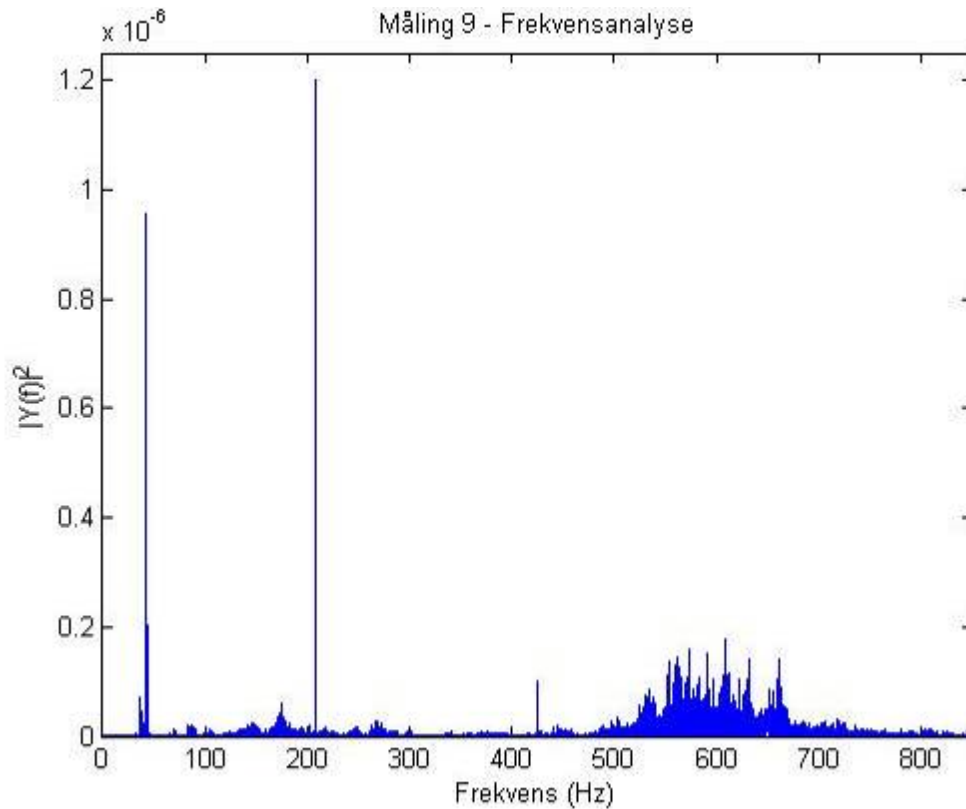
Figur 3.26 Måling 6 – Frekvensanalyse. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



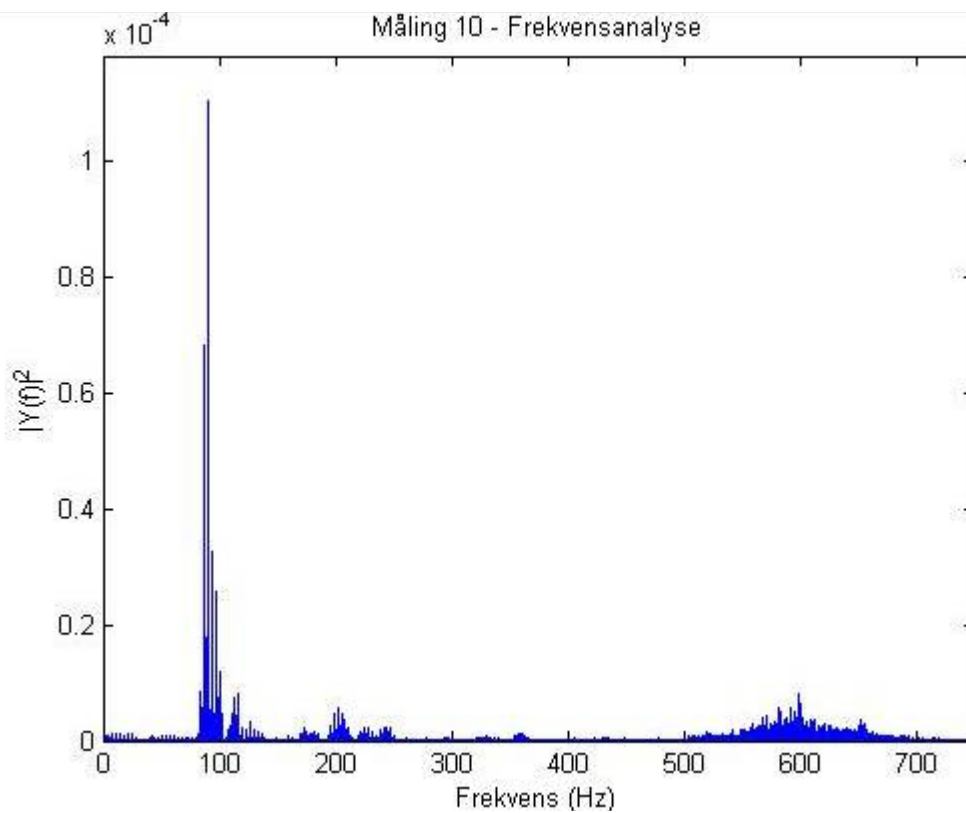
Figur 3.27 Måling 7 – Frekvensanalyse. Opptak fra intercomen. Kjøring på grusvei/terreng



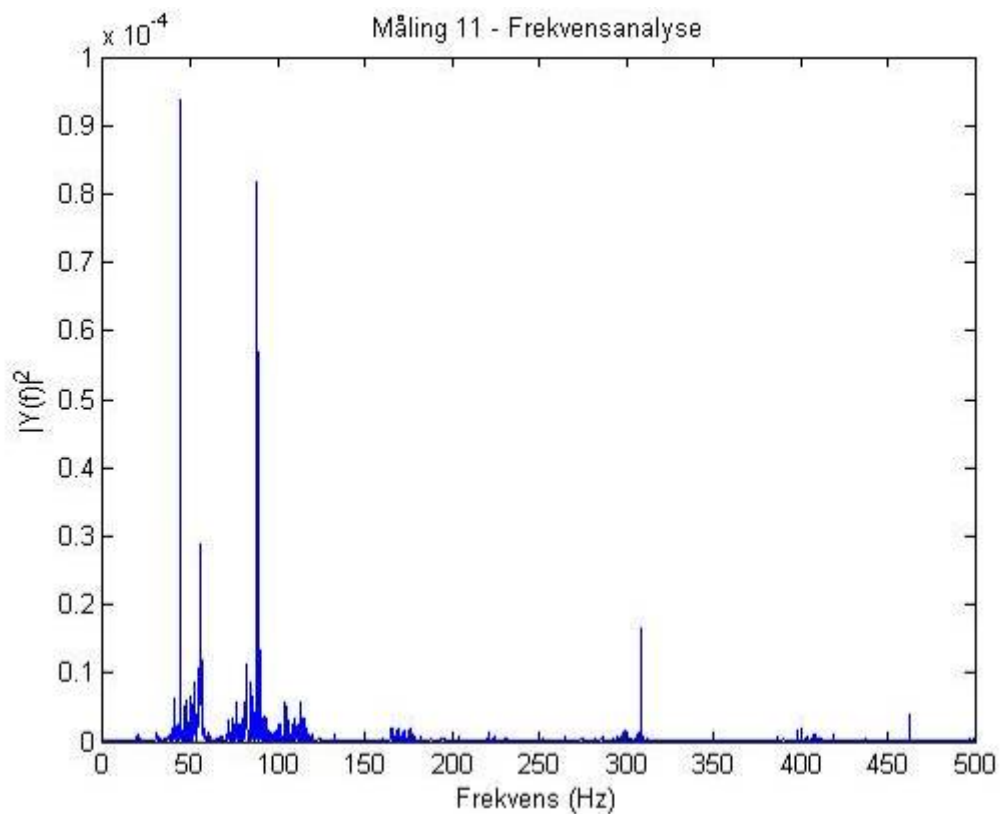
Figur 3.28 Måling 8 – Frekvensanalyse. Opptak fra intercomen. Skyting med 30 mm



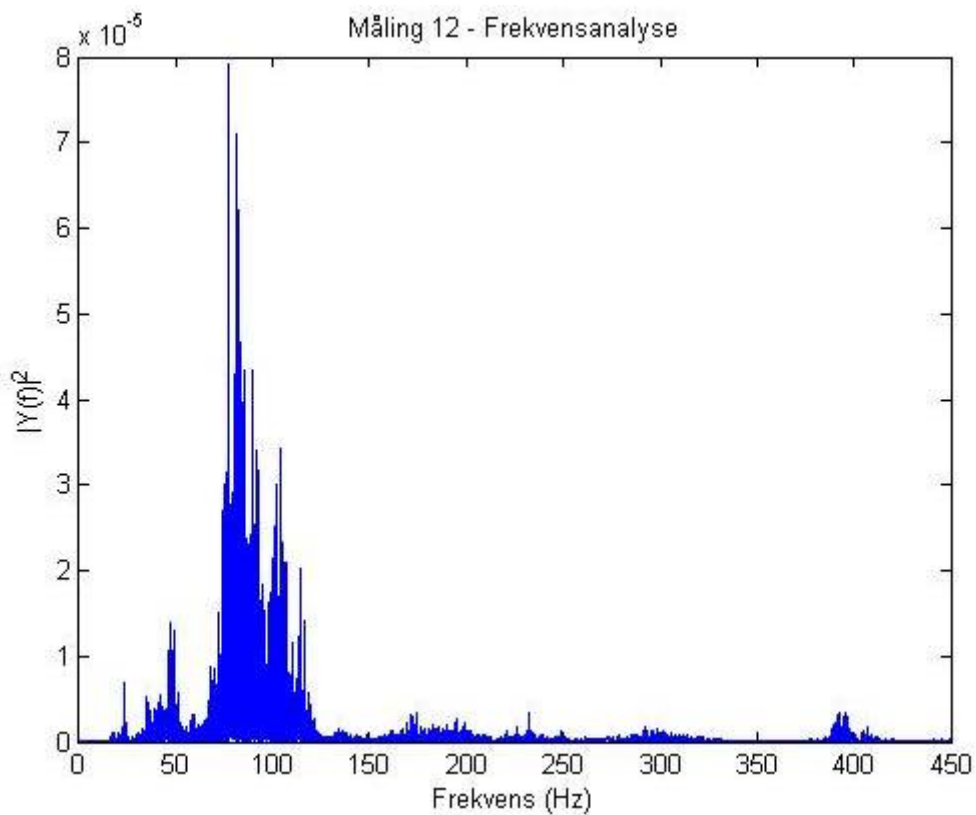
Figur 3.29 Måling 9 – Frekvensanalyse. Opptak inntil høyttaler i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



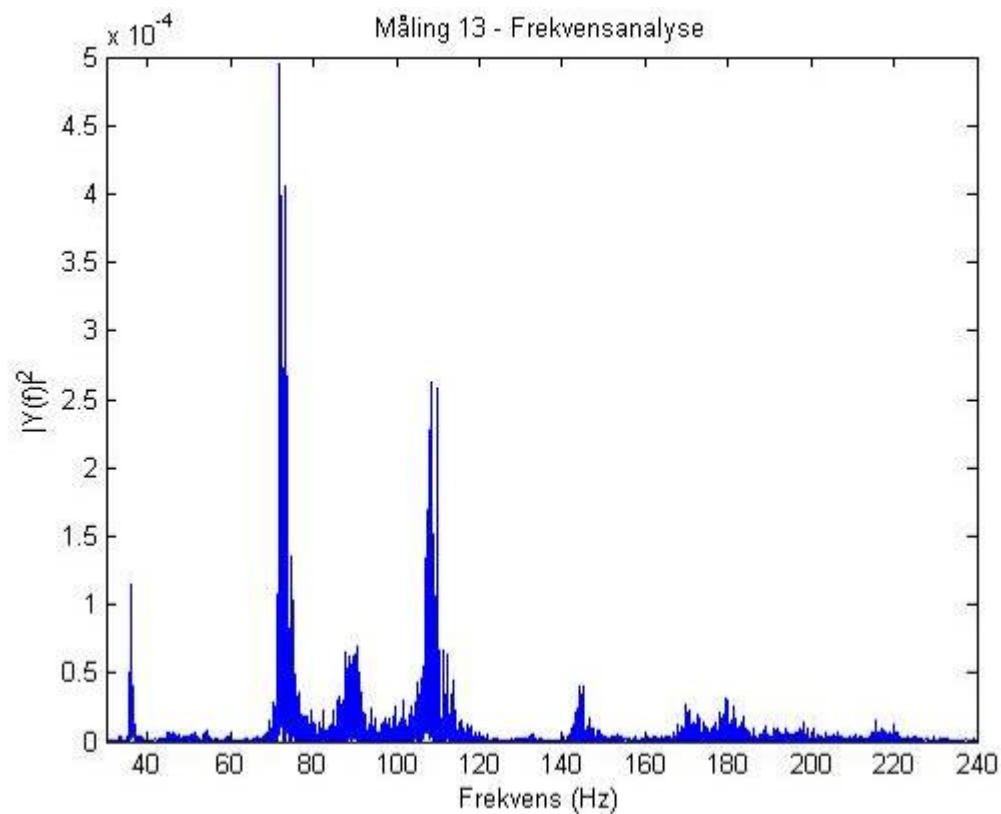
Figur 3.30 Måling 10 – Frekvensanalyse. Opptak inntil høyttaler i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm, i tillegg til skyting med 7,62 mm fra andre kjøretøy



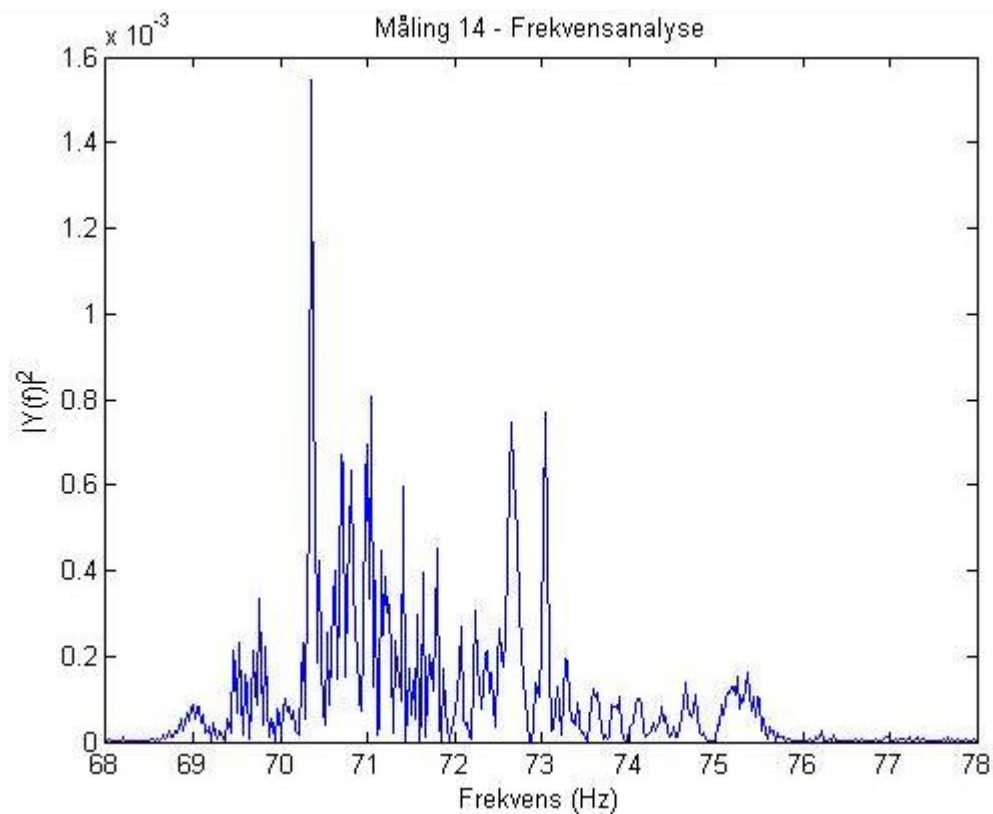
Figur 3.31 Måling 11 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Tomgangskjøring på betong. (Kjøretøyet satte seg i bevegelse like før målingen ble avbrutt)



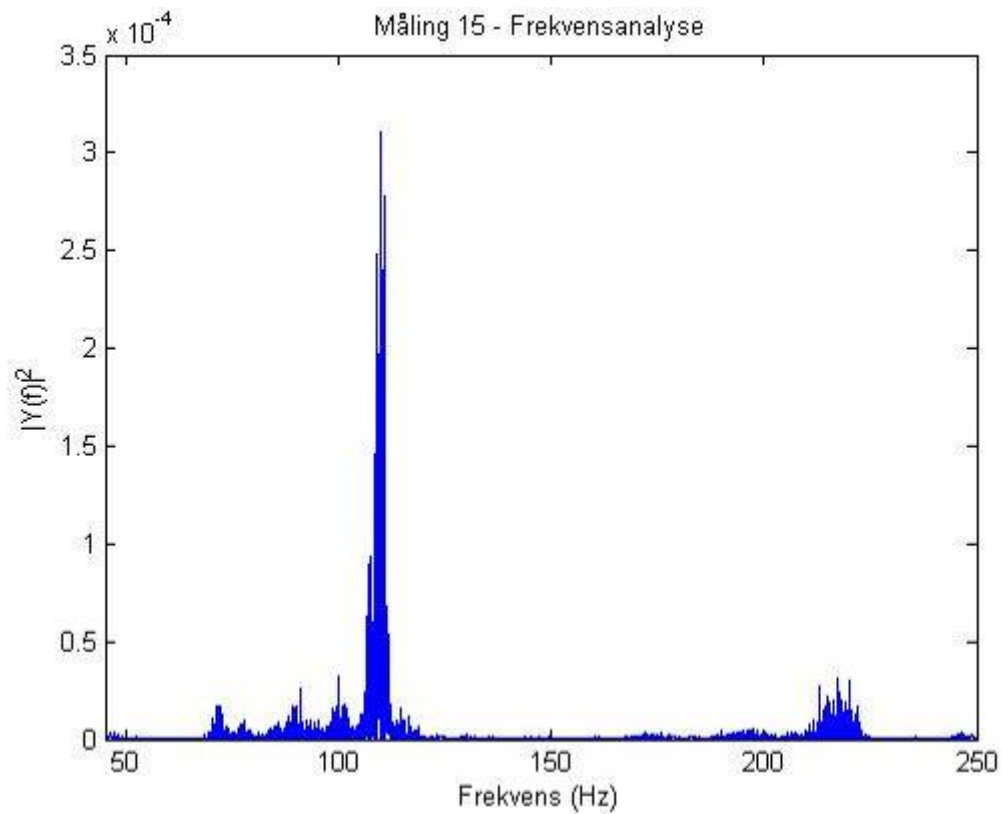
Figur 3.32 Måling 12 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i gangfart på betong



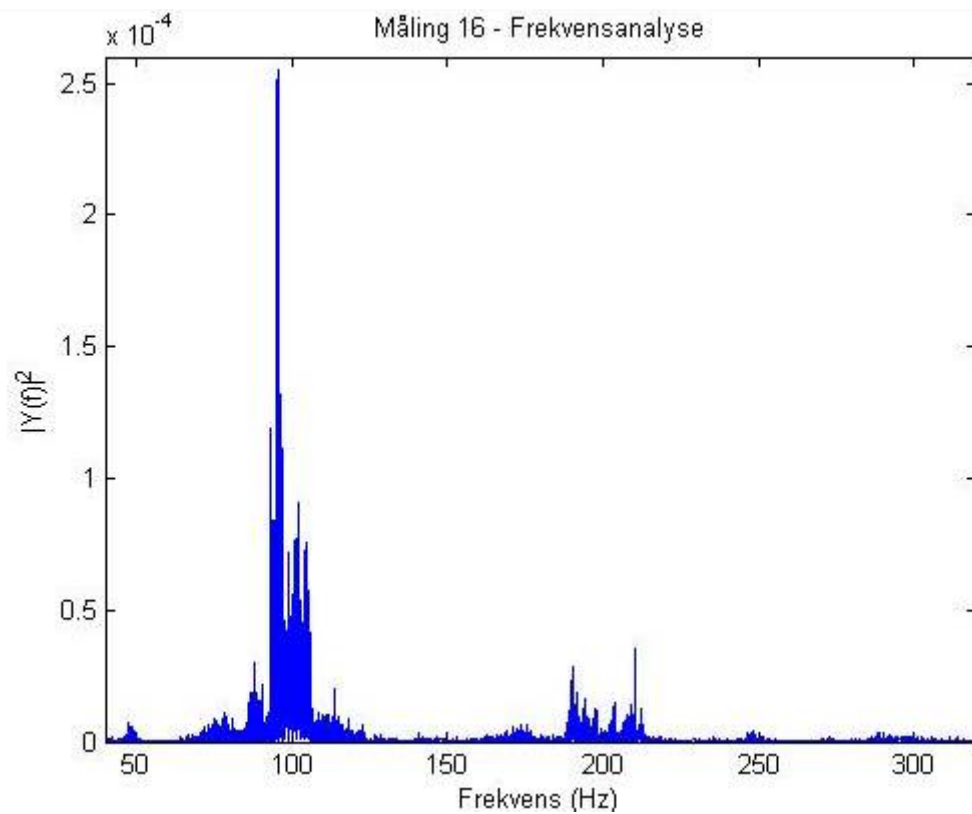
Figur 3.33 Måling 13 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 20 km/t på asfalt



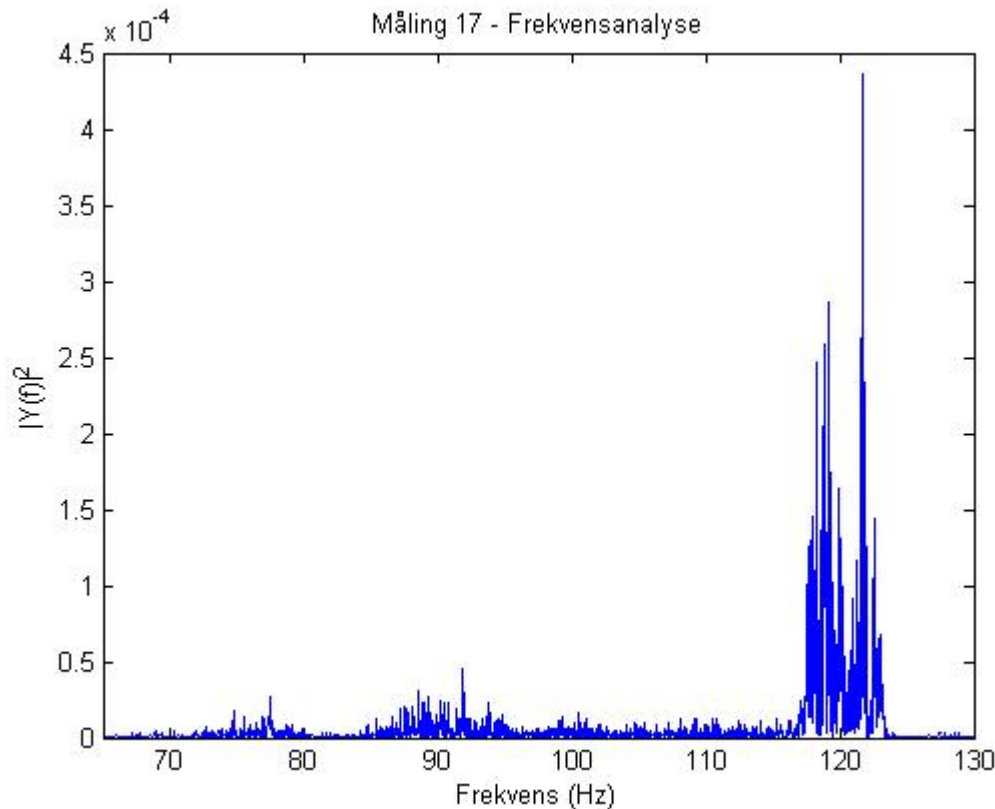
Figur 3.34 Måling 14 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 40 km/t på grusvei



Figur 3.35 Måling 15 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 60 km/t på grusvei



Figur 3.36 Måling 16 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i høy, men usikker, hastighet på grusvei



Figur 3.37 Måling 17 – Frekvensanalyse. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i maksimumshastighet (65-70 km/t) på grusvei

Grafene viser oss hvilke frekvenser som er dominerende i hver enkelt måling. Vi kan se at de fleste målingene ligger i frekvensområdet 50-1.200 Hz. Ved tomgangskjøring (måling 1 og 11) kan vi se meget markante topper, men det pussige er at de ikke ligger på de samme frekvensene i de to målingene. I måling 1 ligger toppene på omtrent 300 Hz, 380 Hz, 410 Hz og 760 Hz, mens de i måling 11 ligger mye lavere, nærmere bestemt på 40 Hz, 50 Hz, 80 Hz og 300 Hz. Det kan komme av at kjøretøyet satte seg i bevegelse like før måling 11 ble avbrutt. Støyen i kjøretøyet ved kjøring i ulike hastigheter (måling 11-17) ligger ganske markant rundt 100 Hz, bortsett fra måling 13 (80 Hz), måling 14 (70 Hz) og måling 17 (120 Hz). Ved dialog på intercomen (måling 4-8) ligger målingene i området 200-1.200 Hz. Det er vanskelig å se noen effekt av skytingen, da dette er lyd som er kort i varighet.

3.6.4 Spektralanalyse

Det kan også være interessant å gjøre en spektralanalyse av støymålingene. Ved hjelp av Matlab kan man regne ut spektrogrammet til hver måling. Et spektrogram er korttids Fourier-transformasjonen til et signal, og det viser frekvensfordelingen og energiens variasjon over tid. Tiden i sekunder vises langs x-aksen, frekvensen er angitt langs y-aksen, mens fargene angir energien på en stigende skala fra blått til rødt. Spektrogrammet kan vise fenomener som blir borte i frekvensanalysen fordi de varer for kort i forhold til andre fenomener og den totale lengden på målingen.

Følgende Matlab-program ble brukt til å regne ut og plote spektrogrammene:

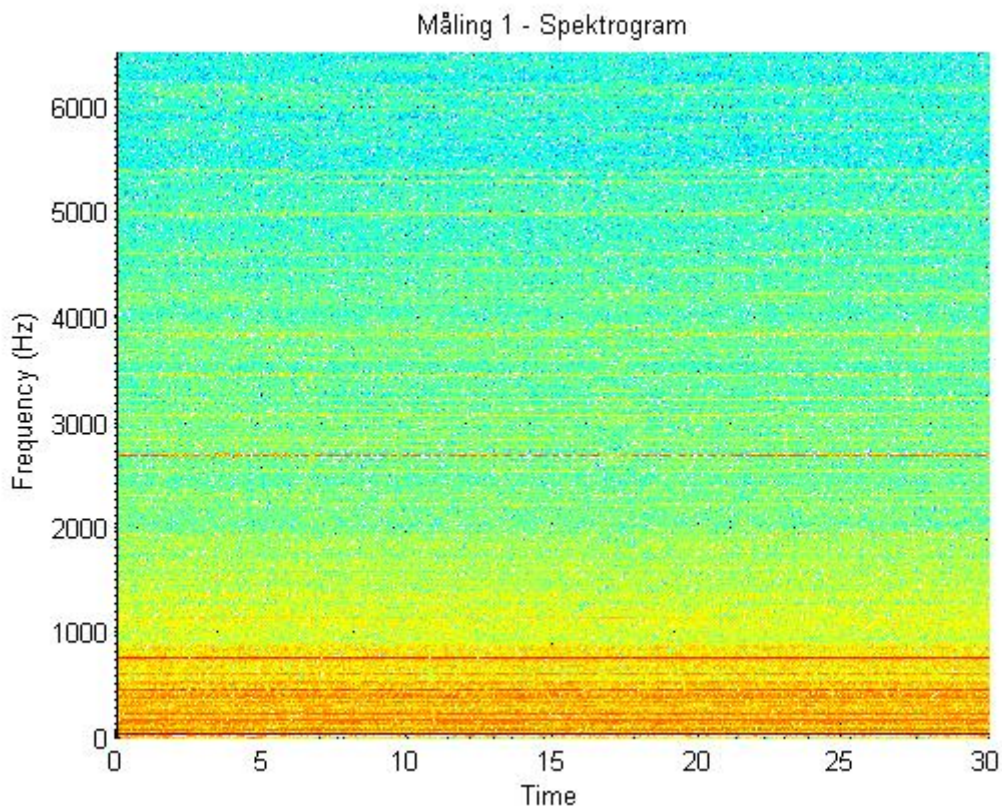
```
[data, Fs,
nbits]=wavread('\\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktiviteter\BMS\CDE\CDE
2008\Lydopptak CV90 Regionfelt Øst (BEGRENSET)\STE-005');
    % Henter wav-fil spesifisert ved filnavn og gir en (2,:)-matrise
    (data). Andre kolonne er tom da lydopptaket er mono. Returnerer
    samplingsfrekvensen (Fs) i Hz og antall bits per sample (nbits)
    brukt til å kode dataen i filen.

y=data(:,1);      % Lager en vektor (y) av den første kolonnen i data
                  matrisen.

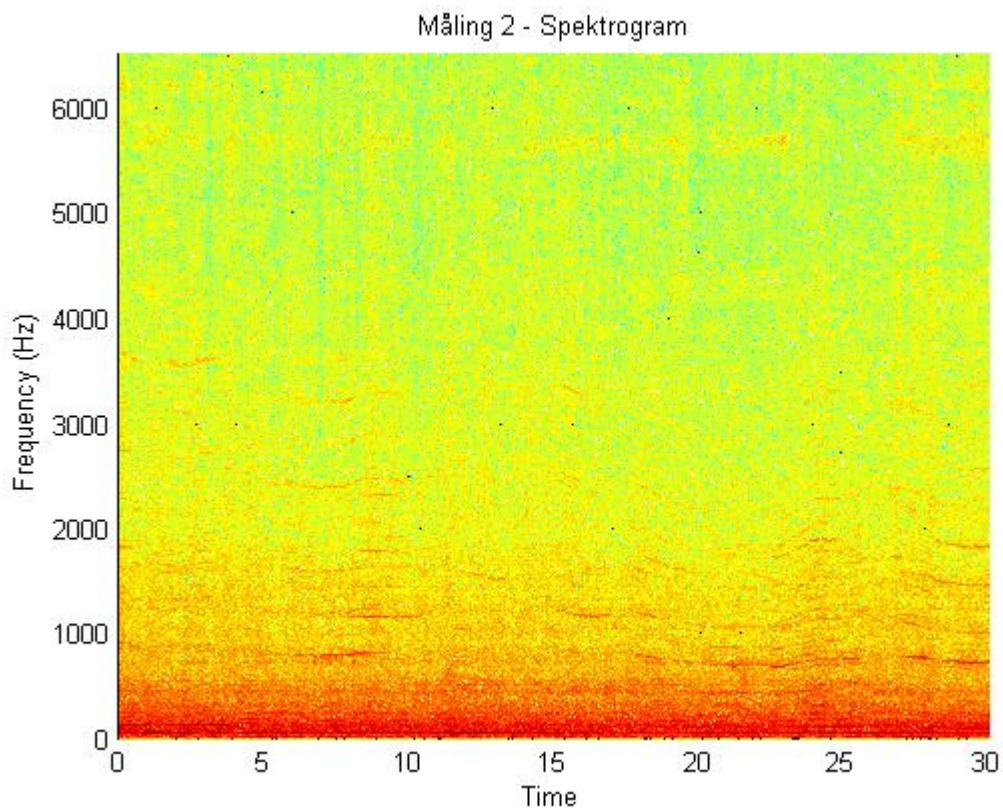
window=5000;     % Antall segmenter y skal deles opp i.
noverlap=2500;   % Antall elementer som overlappes i hvert segment. Den
                  må være mindre enn window.
nfft=5000;      % Antall punkter som blir brukt til å regne ut den diskret
                  Fouriertransformerte.

spectrogram(y,window,noverlap,nfft,Fs,'yaxis');
    % spectrogram(y,window,noverlap,nfft,Fs,'yaxis') beregner og
    plotter spektrogrammet (korttids Fouriertransformasjonen) til
    y. Det er et Hammingvindu som blir brukt. 'yaxis' angir at
    frekvensene skal være angitt langs y-aksen.

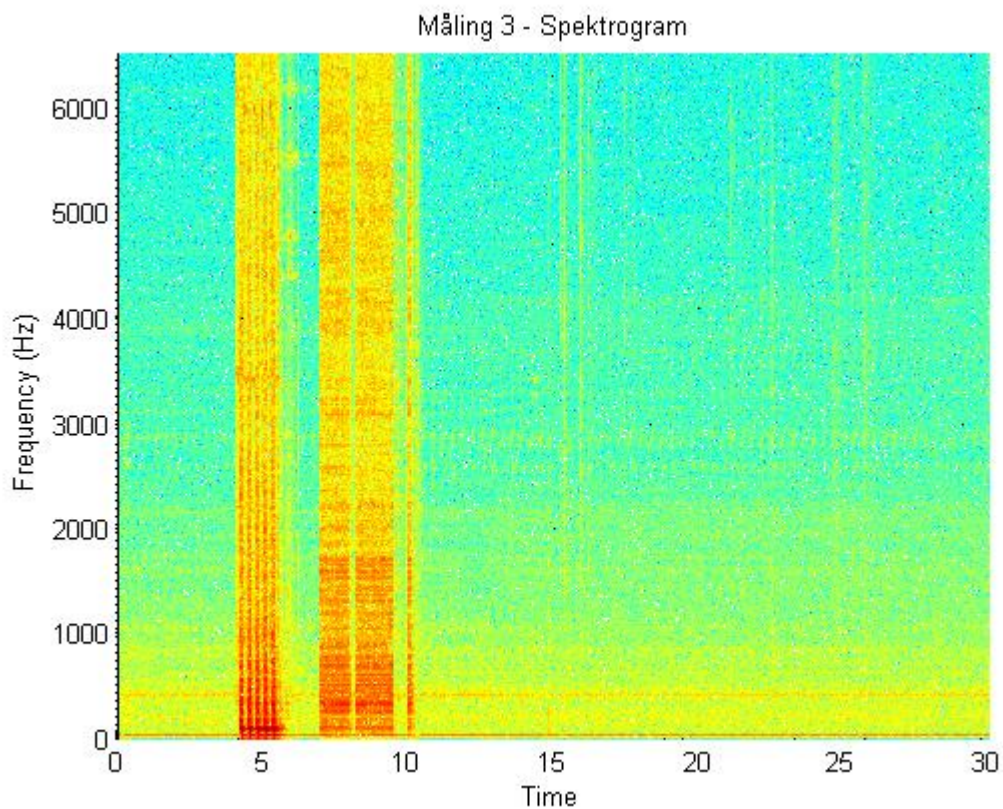
title('Måling 1 - Spektrogram')
axis([0 30 0 6500])
```



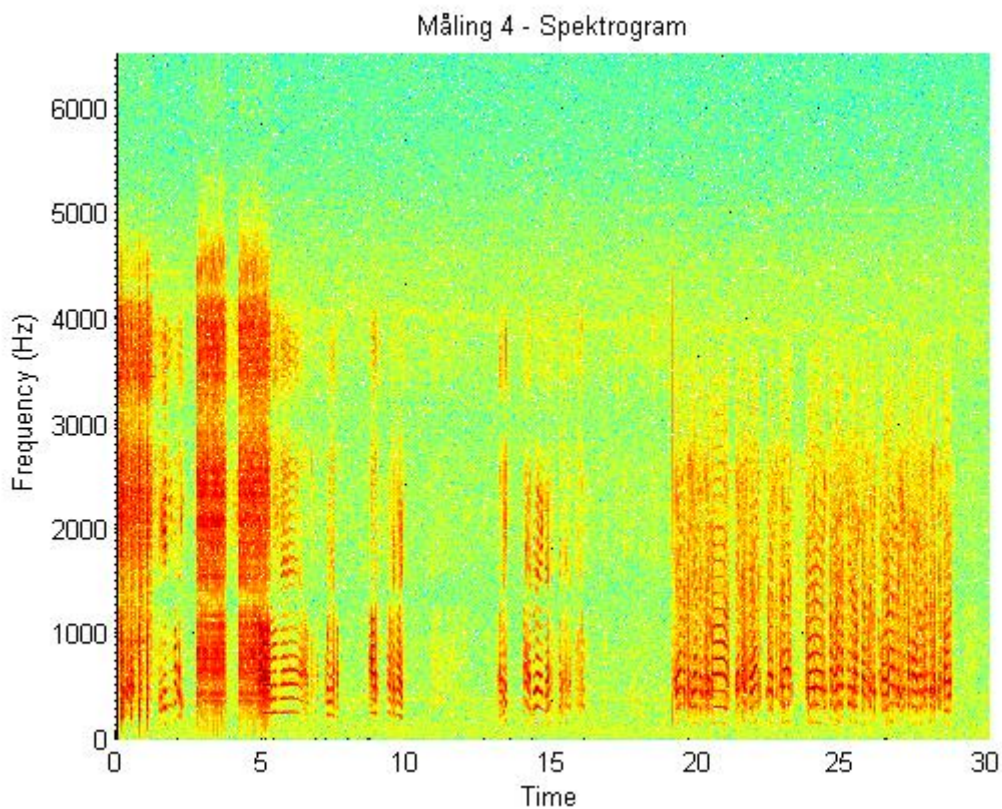
Figur 3.38 Måling 1 – Spektrogram. Opptak i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



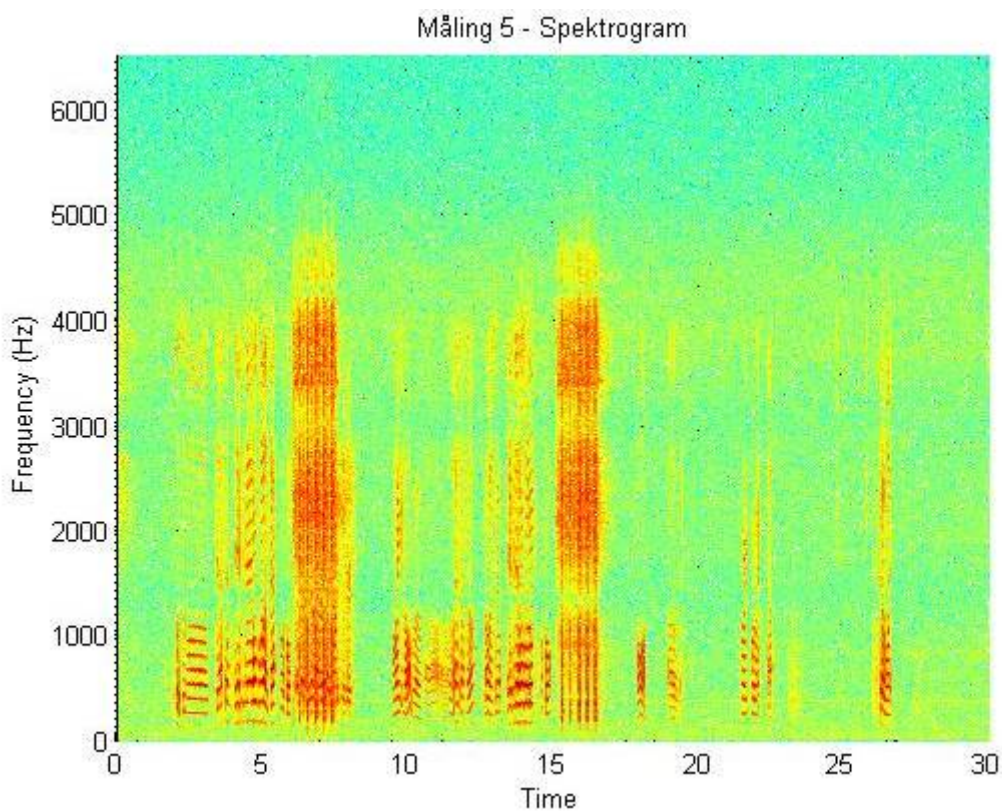
Figur 3.39 Måling 2 – Spektrogram. Opptak i stridsrommet. Kjøring på grusvei/terreng



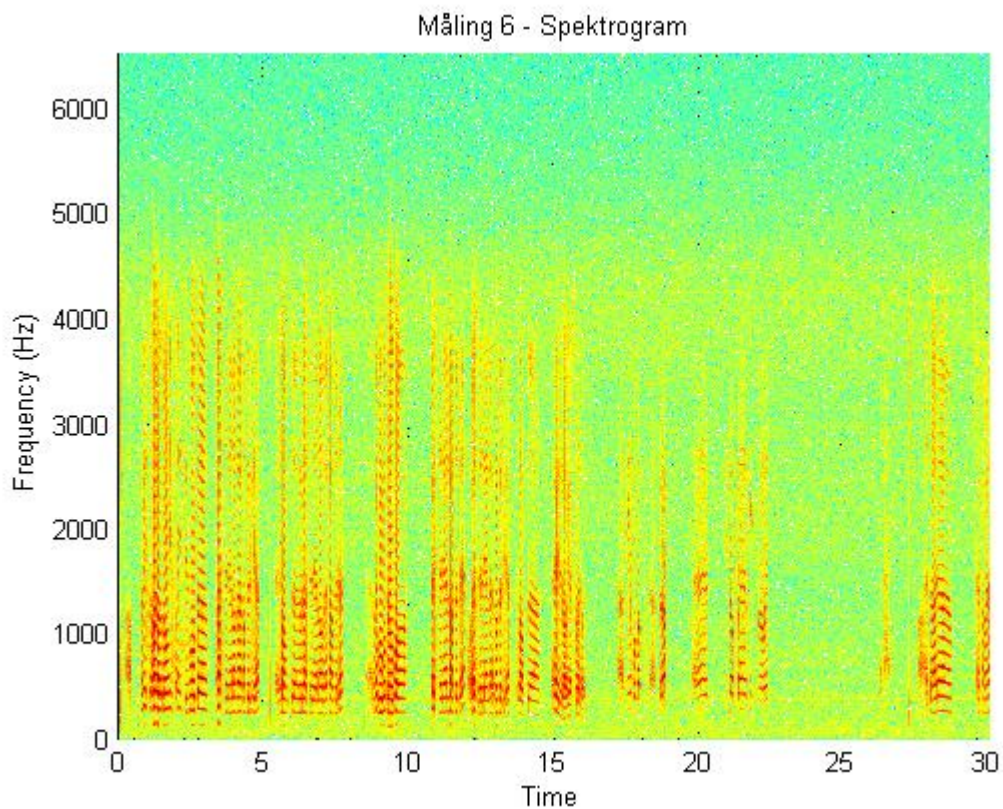
Figur 3.40 Måling 3 – Spektrogram. Opptak i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm og 7,62 mm



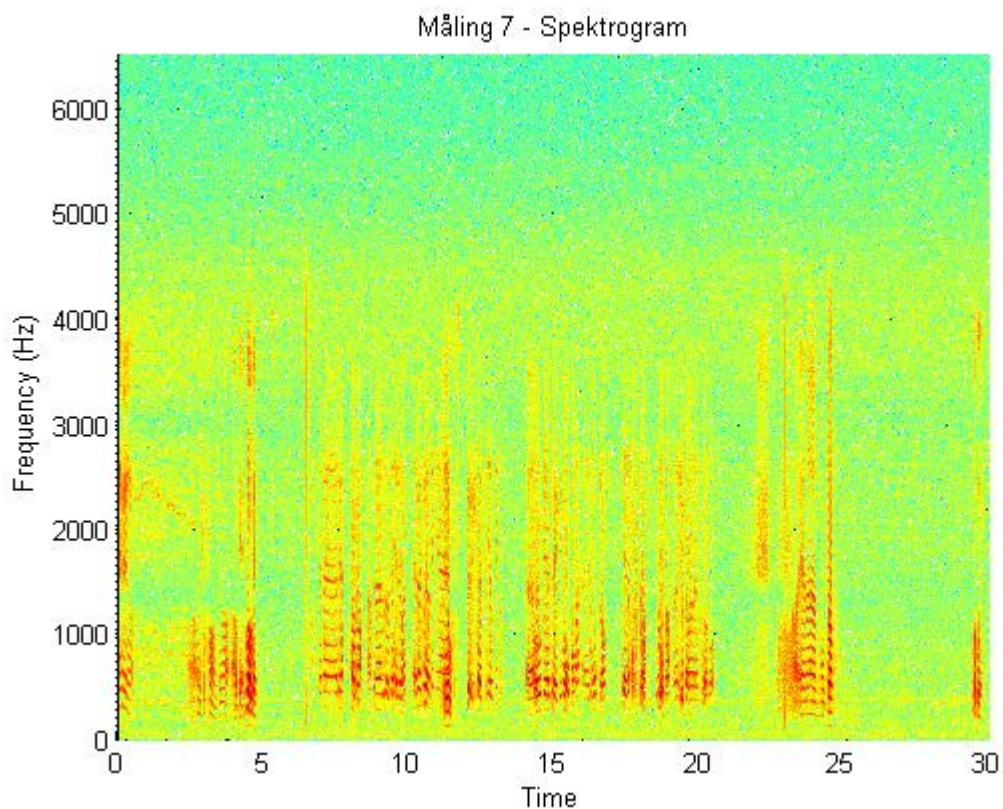
Figur 3.41 Måling 4 – Spektrogram. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm og 7,62 mm



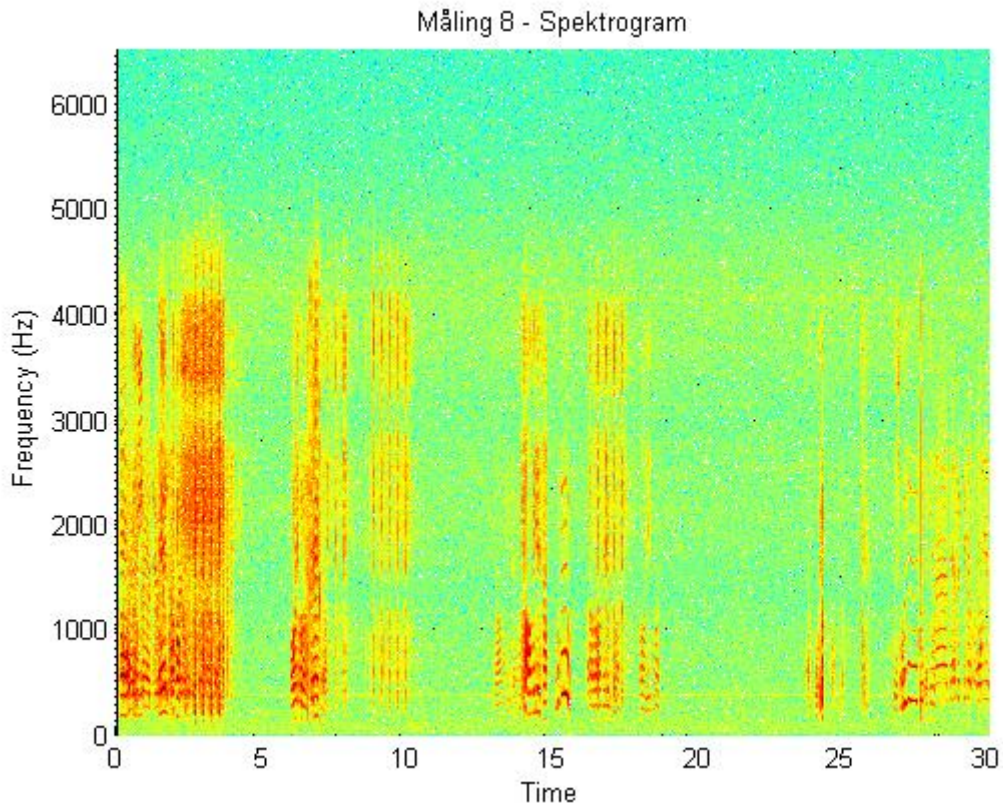
Figur 3.42 Måling 5 – Spektrogram. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring og kjøring på grusvei/terreng, i tillegg til skyting med 30 mm



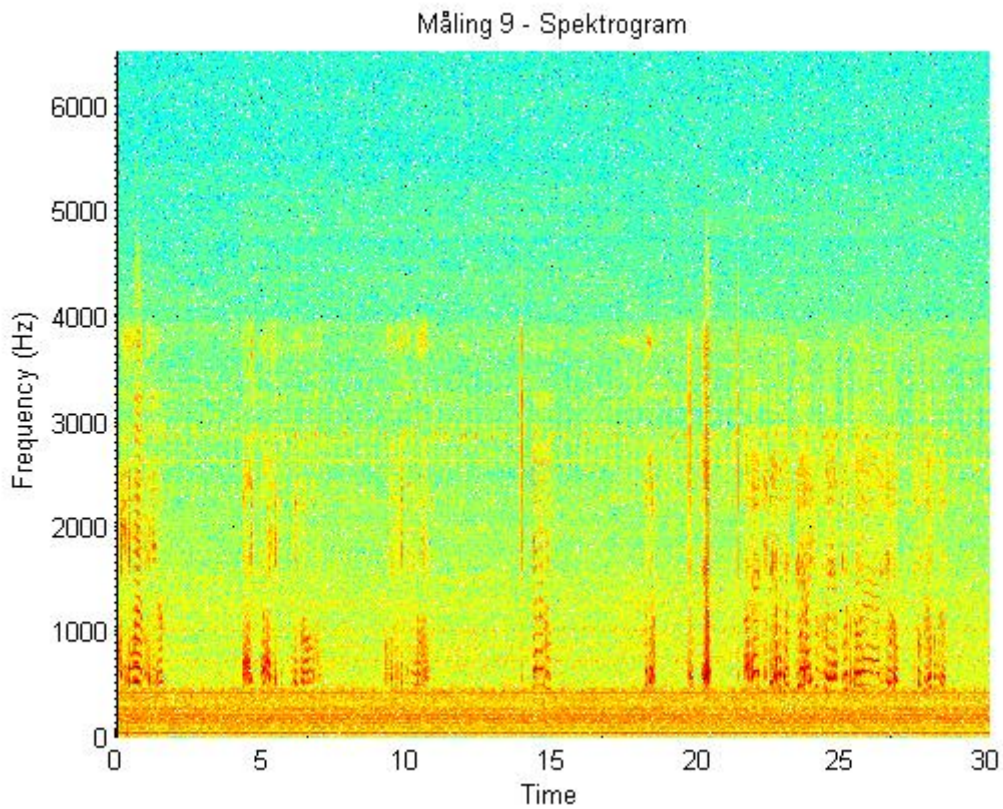
Figur 3.43 Måling 6 – Spektrogram. Opptak fra intercomen. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



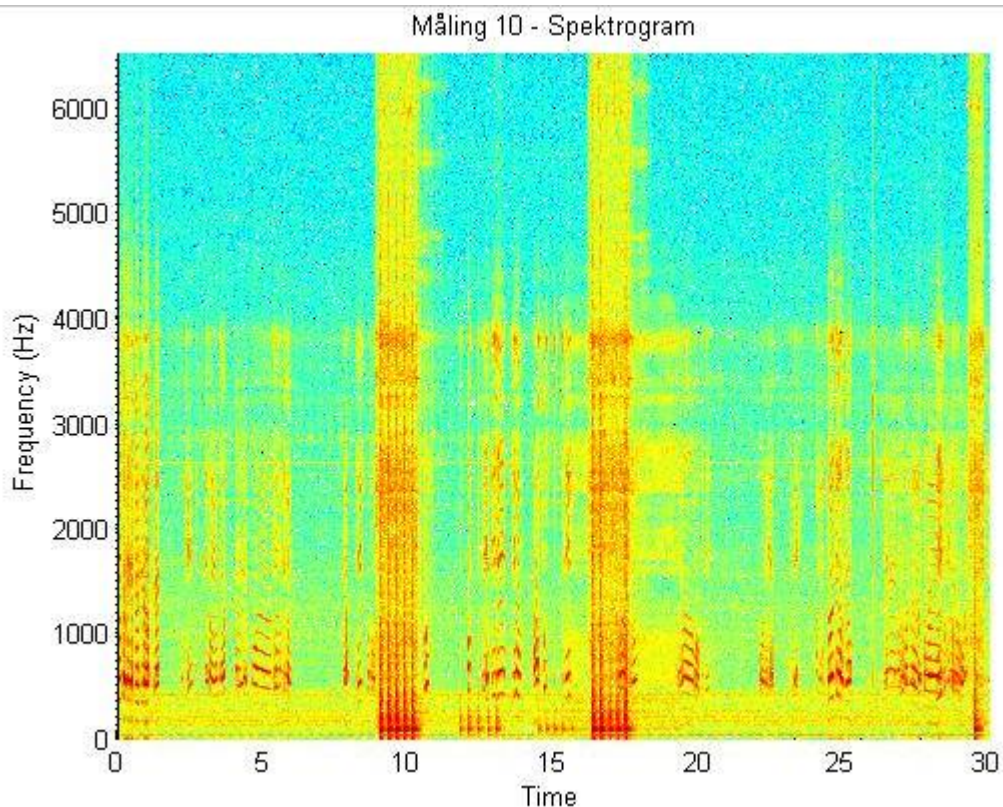
Figur 3.44 Måling 7 – Spektrogram. Opptak fra intercomen. Kjøring på grusvei/terreng



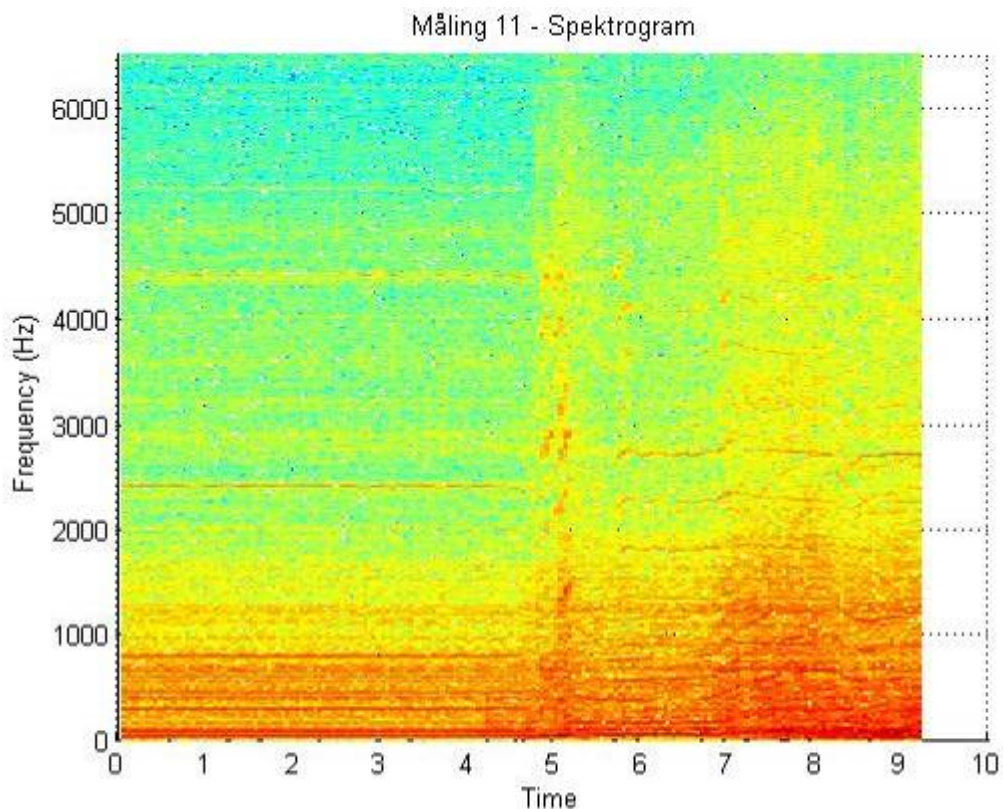
Figur 3.45 Måling 8 – Spektrogram. Opptak fra intercomen. Skyting med 30 mm



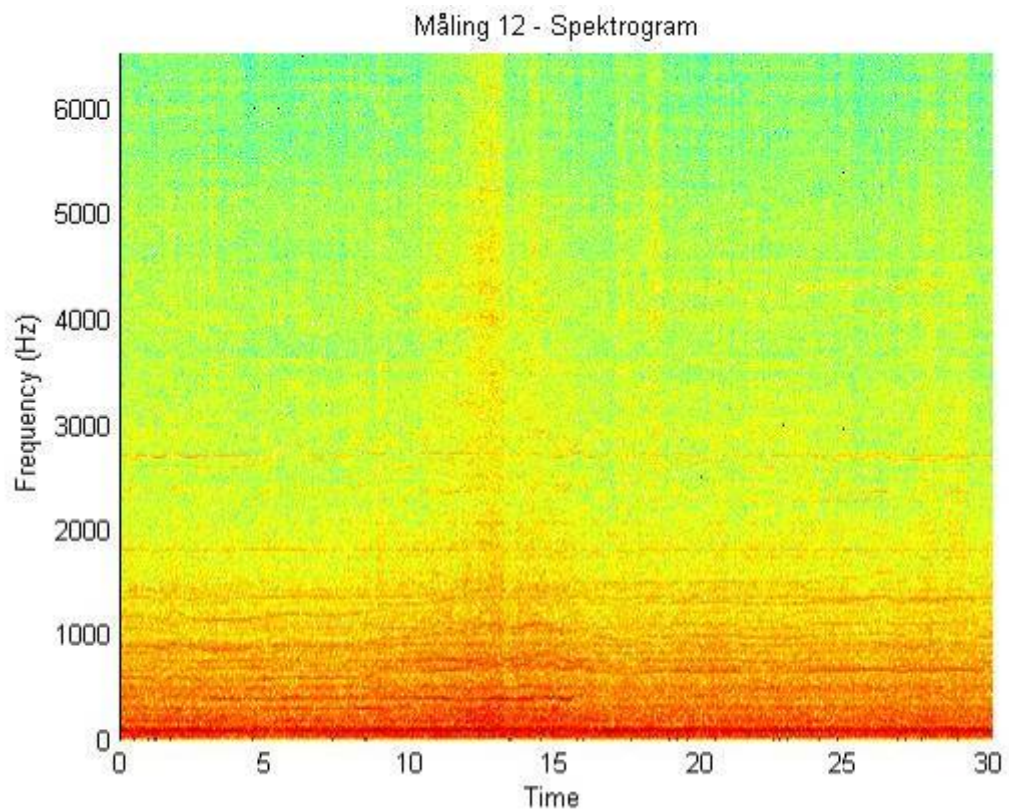
Figur 3.46 Måling 9 – Spektrogram. Opptak inn til høyttaler i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng



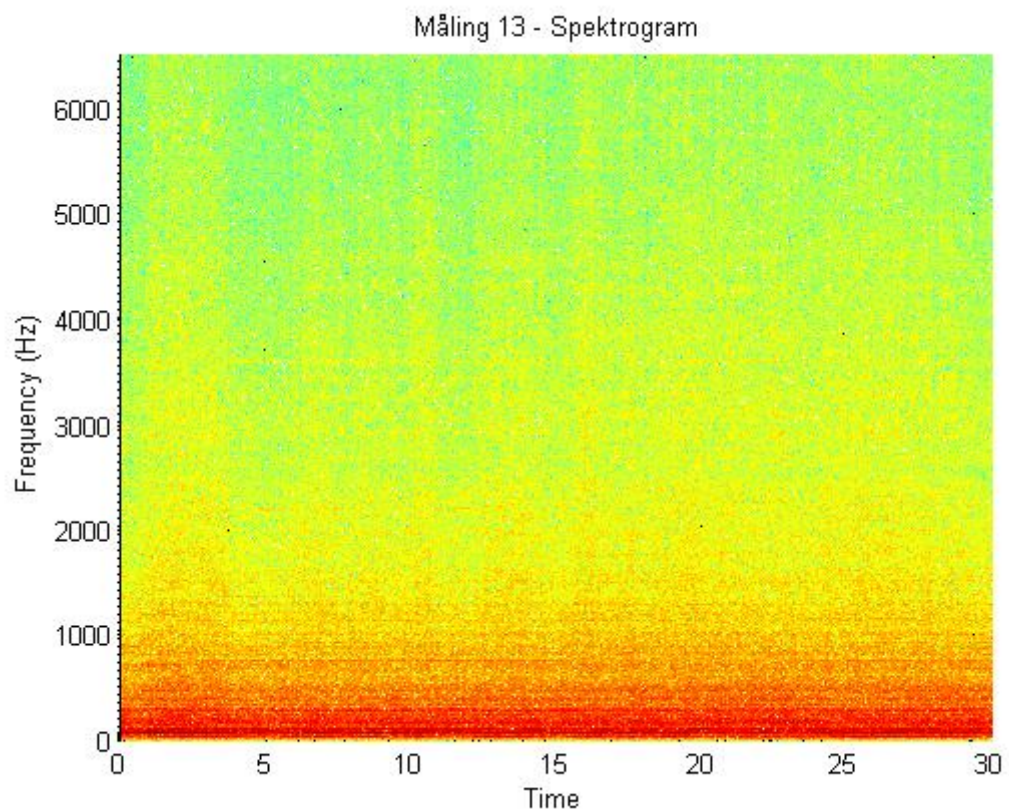
Figur 3.47 *Måling 10 – Spektrogram. Opptak inntil høyttaler i stridsrommet. Tomgangskjøring på grusvei/terreng og skyting med 30 mm, i tillegg til skyting med 7,62 mm fra andre kjøretøy*



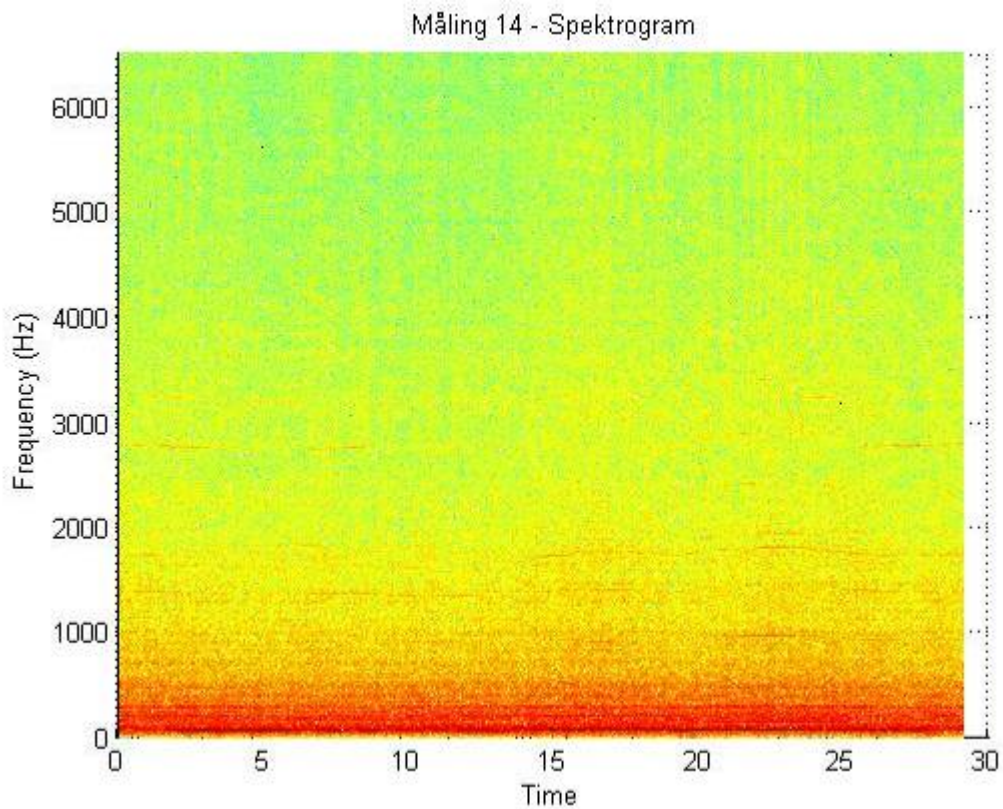
Figur 3.48 *Måling 11 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Tomgangskjøring på betong. (Kjøretøyet satte seg i bevegelse like før målingen ble avbrutt)*



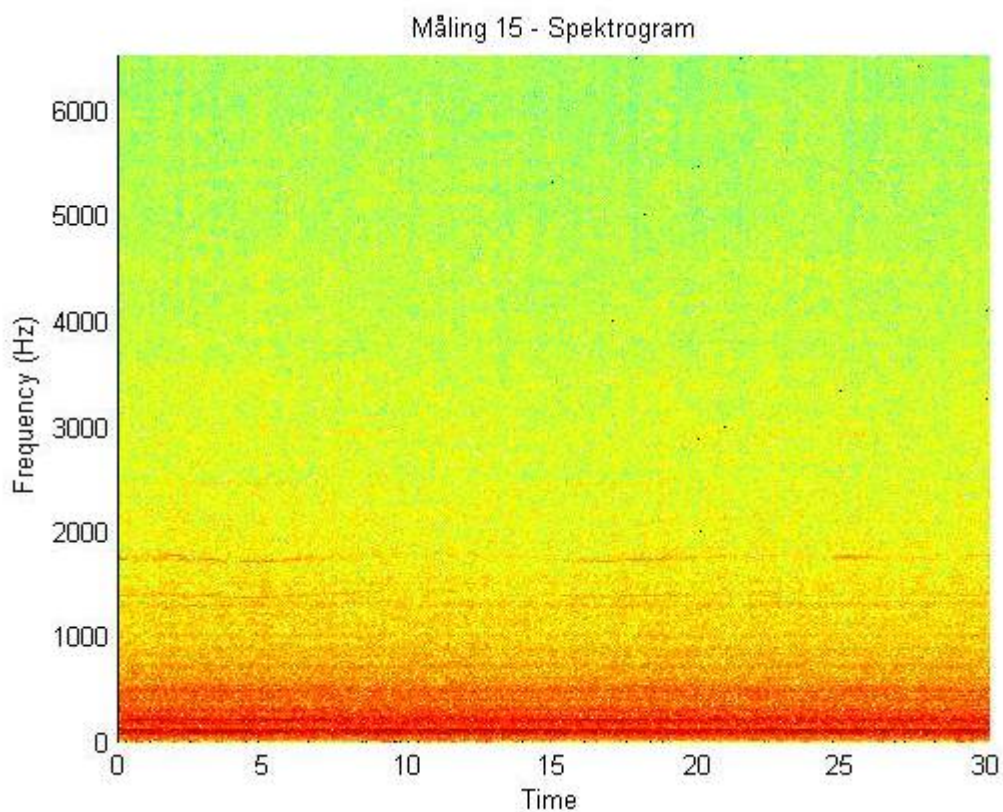
Figur 3.49 *Måling 12 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i gangfart på betong*



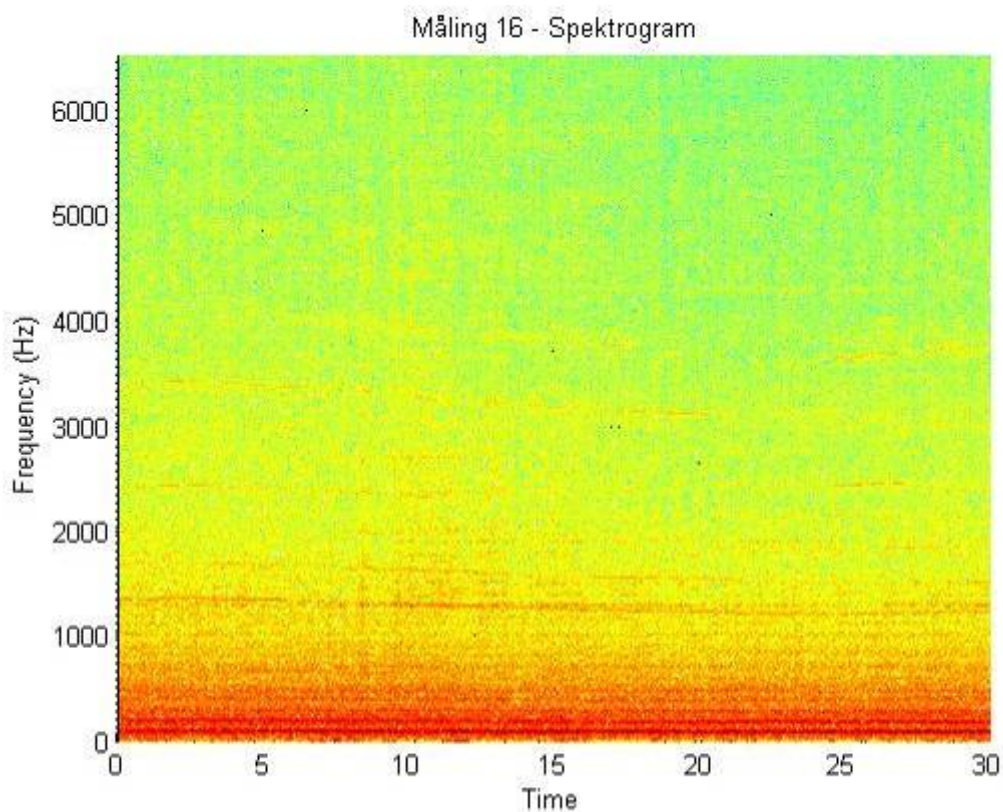
Figur 3.50 *Måling 13 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 20 km/t på asfalt*



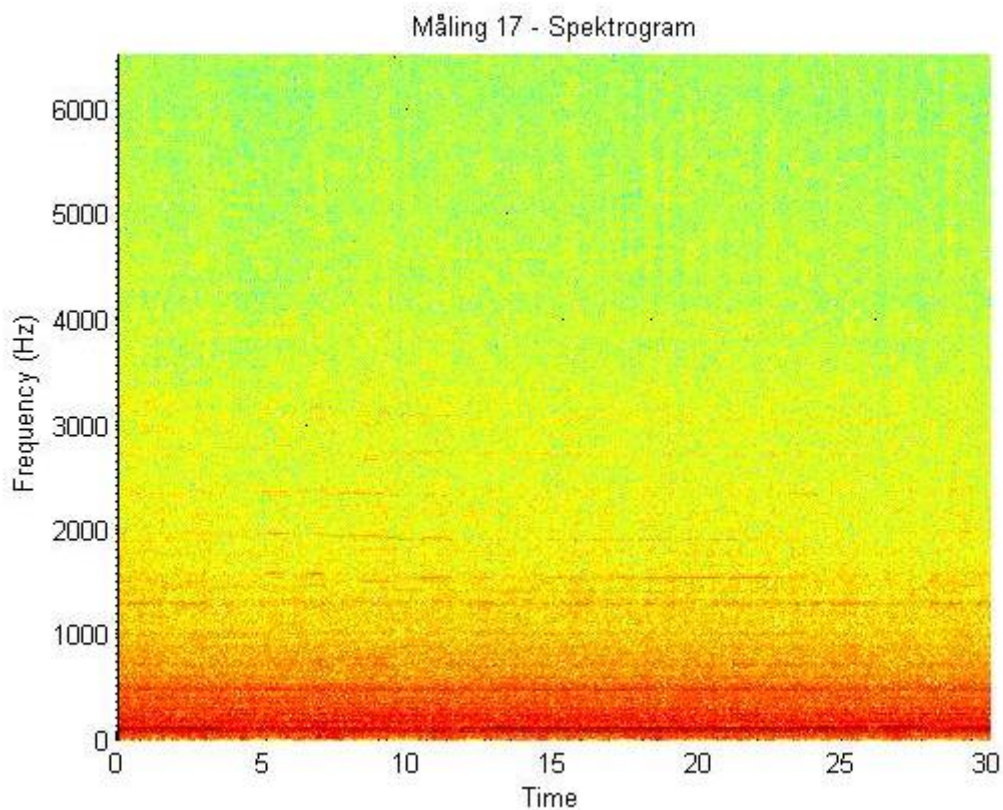
Figur 3.51 Måling 14 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 40 km/t på grusvei



Figur 3.52 Måling 15 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i 60 km/t på grusvei



Figur 3.53 *Måling 16 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i høy, men usikker, hastighet på grusvei*



Figur 3.54 *Måling 17 – Spektrogram. Opptak fra skytters plass i tårnet. Kjøring i maksimumshastighet (65-70 km/t) på grusvei*

Målingene som er tatt inne i kjøretøyet under kjøring i ulike hastigheter uten skyting (måling 2 og 12-17), skiller seg ikke så mye fra hverandre. Man kan se en klar hovedvekt av lave frekvenser, og at frekvensfordelingen og energien varierer lite i løpet av måleperioden. Ved litt høyere frekvenser kan man se klare horisontale bånd som holder seg mer eller mindre konstante. Disse båndene ligger på omtrent 1.400 Hz, og det er uklart hva de representerer. Ved tomgangskjøring uten skyting (måling 1 og 11) kan man se mange horisontale bånd ved lave frekvenser. Dette stemmer godt overens med resultatene fra frekvensanalysen. Måling 11 viser en klar økning i høye frekvenser på slutten av måleperioden, noe som antageligvis kommer av at kjøretøyet satte seg i bevegelse like før målingen ble avbrutt. Ved måling 3, som er tatt under tomgangskjøring og skyting, kan vi tydelig se en femskuddsbygge fra maskinkanonen (30 mm) etter omtrent 5 sekunder og to tette skuddbygger fra maskingeværet (7,62 mm) like etterpå. Skuddene kan sees som markante vertikale bånd som strekker seg over et stort frekvensområde. Skuddene fra maskinkanonen kan tydelig skilles fra hverandre, mens maskingeværskuddene går mer i ett med hverandre. Dialog på intercomen (måling 6 og 7) viser seg som gule vertikale bånd med buede, røde horisontale bånd. Ved måling 9, som er tatt i lytteavstand fra høyttaler inne i stridsrommet, kan man i tillegg se den konstante støyen på lave frekvenser fra selve kjøringen. Ved målingene av dialog på intercomen som er tatt under skyting (måling 4, 5, 8 og 10), kan man lett skille ut skytingen fra dialogen.

3.7 Oppsummering støymålinger

Kombinasjonen av de målte lydtrykknivåverdiene, bølgegrafene, frekvensanalysen og spektralanalysen gir utdypende informasjon om støymiljøet i kjøretøyet under ulike forhold. Dette kan brukes under utviklingen av talegjenkjenningssystemet ved at man kjenner frekvensfordelingen, amplituden og energien til ulike fenomener.

Talegjenkjenningssystemet som etter planen skal benyttes, er DynaSpeak® fra SRI International. Da dokumentasjon om hva slags og hvor mye støy dette systemet kan fungere i ikke er tilgjengelig når denne rapporten skrives, kan vi ikke her si noe bestemt om hvordan det vil fungere i støymiljøet i kjøretøyet. Dessuten vil hardwaren som blir brukt også ha betydning for hvordan systemet vil virke. Vi kan derimot kort oppsummere hvordan støymiljøet er. Lydtrykknivåverdiene og de ulike grafene kan som sagt brukes til å fremskaffe et fullstendig bilde av miljøet.

Det uveide effektive lydtrykknivået ligger i intervallet 90-125 dB, og det maksimaliseres under kjøring i høy hastighet på hardt underlag. Den maksimale uveide spissverdien er 142,7 dB, og den blir naturlig nok oppnådd under skyting.

Under kjøring og tomgangskjøring er det en konstant bakgrunnsstøy i kjøretøyet, som øker med hastigheten og hardheten til underlaget. Denne støyen ligger i hovedsak rundt 100 Hz, men et viktig unntak er tomgangskjøring hvor støyen ligger markant på bestemte frekvenser i intervallet 0-800 Hz.

Dialog på intercomen ligger i frekvensområdet 200-1.200 Hz med hurtige variasjoner i amplitude. Vi har som sagt ikke gjort noen målinger av lydtrykknivået inne i hodesettet, så vi kan ikke si noe om støynivået til dialogene.

Både skyting med maskinkanonen og med maskingeværet resulterer i støy som dekker et stort frekvensområde, i all hovedsak intervallet 0-4.000 Hz. Denne støyen er meget kortvarig, og den har derfor ikke noen stor innvirkning på frekvensfordelingen, som vist i frekvensanalysen (se kapittel 3.6.3).

Det er viktig at beskjeder til BMS gitt via talegjenkjenningssystemet ikke drukner i den generelle bakgrunnsstøyen i kjøretøyet. Sjansen for dette minker ved at man snakker direkte inn i en mikrofon som er plassert rett ved munnen, i utgangspunktet den samme mikrofonen som brukes til intercomen, men man risikerer at beskjeder gitt under skyting ikke blir oppfattet, da støyen fra skyting dekker et stort frekvensområde og har høy amplitude. En parameter det er viktig å ta hensyn til er avstanden til støykilden. Beskjedene til talegjenkjenningssystemet vil bli gitt i en avstand på maksimalt et par centimeter, mens den generelle støyen fra kjøretøyet og fra skytingen vil bevege seg over en vesentlig større avstand før den når mikrofonen. Hvis vi gjør forenklingen at støyen kommer fra en punktkilde, blir lydtrykknivået redusert med 6 dB for hver dobling av avstanden til støykilden. Våre støymålinger under skyting er gjort inne i stridsrommet, altså lenger unna skytestøykildene, maskinkanonen og maskingeværet, enn det besetningen på kjøretøyet kommer til å være. Vi kan derfor anta at støyen fra skytingen kommer til å være minst like kraftig når den når mikrofonen som det våre målinger viser.

DynaSpeak® er i følge utviklerens spesifikasjoner [20] utstyrt med støyfiltreringsverktøy og dynamisk støykompensasjon. Den sistnevnte funksjonen gjør det mulig å skille mellom bakgrunnsstøy og kommandoer til systemet. Systemet kan aktiveres enten ved å trykke på en knapp eller holde en knapp inne, i tillegg til at man kan operere med kontinuerlige opptak. Energitereskelen for når talen skal registreres, kan justeres for å tilpasses støymiljøet. Disse funksjonene gjør det mulig å bruke systemet også i støyende omgivelser, men vi kan som sagt ikke si om det vil være nok i vårt tilfelle.

Hovedformålet med støymålingene var som tidligere sagt ikke å undersøke støybelastningen på personellet på kjøretøyet, men det er allikevel på sin plass å vurdere validiteten til støymålingene utført av Forsvarets bedriftshelsetjeneste (FBHT) Indre Østland i 2007. FBHTs rapport er mangelfull med tanke på hvilke lydtrykknivåer som er målt og derfor også med tanke på sammenlikningen med foretaksverdiene i arbeidsmiljøloven. Dessuten kan det stilles spørsmål ved om lydtrykknivåene som er målt innenfor hodesettet på prøvedukken, virkelig samsvarer med støynivåene som personellet er utsatt for. Uansett kan vi si oss enige i FBHTs konklusjon om at Forsvaret bør gå til anskaffelse av nye hodesett som beskytter bedre mot den generelle bakgrunnsstøyen, slik at lydnivået på intercomen kan skrus ned. Dette vil minske støybelastningen på personellet, og kommunikasjonen over intercomen vil bedres.

4 Vibrasjonsmiljøet i CV90

4.1 Formål

Vibrasjonsmålingene i CV90 har til hensikt å kartlegge vibrasjonsmiljøet i kjøretøyet, primært for å kunne vibrasjonsteste datautstyret som skal monteres på veggen inne i stridsrommet. Målingene vil derfor bli gjort i de fire festepunktene til det vibrasjonsdempede stativet som skal huse utstyret. Resultatene fra disse målingene, det vil si informasjonen om amplituden og frekvensen til vibrasjonene, vil i neste omgang kunne brukes som utgangspunkt for inndataene til vibrasjonsanlegget, også kalt *shakeren*, som vil bli brukt til vibrasjonstesting. Denne informasjonen om vibrasjonene vil også kunne være til nytte for andre aktiviteter ved FFI; blant annet deltar FFI i en NIAG-arbeidsgruppe (NATO Industrial Advisory Group) som studerer aktive og semiaktive dempingsystemer for militære kjøretøy.



Figur 4.1 Stridsrommet i CV90

Den menneskelige vibrasjonsbelastningen vil ikke bli omhandlet i denne rapporten. Forsvarets bedriftshelsetjeneste (FBHT) Indre Østland foretok vibrasjonsmålinger i februar 2007, samtidig med nevnte støymålinger, og i juni 2007 i ulike beltegående stridskjøretøyer, inkludert CV90, for å kartlegge om personellet utsettes for helseskadelige helkroppsvibrasjoner [21], [22].

4.2 Vibrasjon

Opplysningene i de følgende underkapitlene om vibrasjon og vibrasjonsmålinger er hentet fra artikler på hjemmesidene til Omega Engineering, Inc. [23] og Dimension Engineering LLC [24]. Dessuten er en del av definisjonene hentet fra det internetbaserte leksikonet Wikipedia.

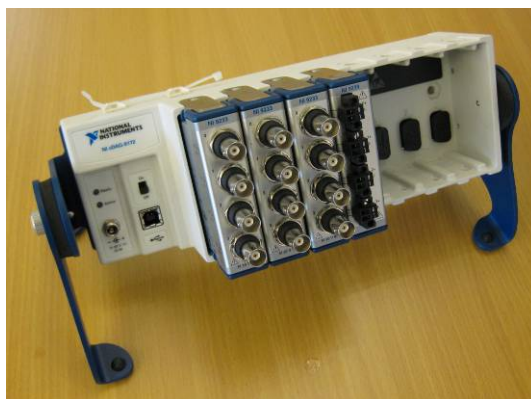
Vibrasjon er mekaniske oscillasjoner rundt et likevektspunkt. Disse oscillasjonene kan være periodiske, slik som bevegelsen til en pendel, eller tilfeldige, slik som bevegelsen til et bilhjul på en grusvei. I noen tilfeller kan vibrasjon være ønskelig, som bevegelsen til en stemmegaffel eller en gitarstreng, men som regel er det uønsket, da det skaper energitap, støy og økt slitasje. Vi skiller mellom fri og tvungen vibrasjon. Når et mekanisk system blir satt i vibrasjon av en ytre kraft og deretter får vibrere fritt, kalles det fri vibrasjon. Systemet vil da vibrere med én av sine

naturlige frekvenser og deretter dempes til null. Et eksempel på fri vibrasjon er når man slår på en stemmegaffel og lar den vibrere til den til slutt stopper opp. Det kalles tvungen vibrasjon når en alternerende kraft påføres et mekanisk system. Vibrasjonsfrekvensen til systemet blir da lik frekvensen til den påførte kraften, mens amplituden vil avhenge av det aktuelle systemet. Et eksempel på tvungen vibrasjon er en bygning som vibrerer under et jordskjelv.

4.3 Vibrasjonsmålinger

Vibrasjon, eller rettere sagt vibrasjonens amplitude, kan måles som både forflytning, hastighet og akselerasjon, men det er som regel den sistnevnte som blir brukt. Måleenheten blir da m/s^2 , men ofte brukes istedenfor jordakselerasjonen g som enhet. Omregningen fra m/s^2 til g gjøres helt enkelt ved å dele verdien i m/s^2 med verdien for g ved havoverflaten, nærmere bestemt $9,80665 m/s^2$. Vibrasjonens frekvens er også av meget stor interesse.

I vibrasjonsmålinger brukes som regel et aksellerometer til å måle akselerasjonen. Et aksellerometer er en elektromekanisk innretning som måler akselerasjonskrefter. Disse kreftene kan være statiske, som tyngdekraften, eller dynamiske, som når aksellerometeret beveges eller vibrerer. I følge Einsteins ekvivalensprinsipp er effektene av tyngdekraften og akselerasjon identiske. En konsekvens av dette er at et vanlig aksellerometer i ro på jordens overflate vil vise 1 g langs den vertikale akselen, slik at det må kompenseres for denne verdien når man ønsker å måle den vertikale akselerasjonen til et objekt. Langs de horisontale aksene vises akselerasjonen direkte. Vanligvis blir korreksjonen grunnet tyngdekraften langs den vertikale akselen gjort automatisk ved for eksempel å kalibrere aksellerometeret når det er i ro. Det finnes mange ulike typer aksellerometre, både når det gjelder måleprinsipp og antall akser som måles. Vi benyttet oss av enkelakse, piezoelektriske aksellerometre av typen ICP (Integrated Circuit Piezoelectric) fra PCB Piezotronics (se figur 4.4). Aksellerometeret inneholder en masse som ligger oppå en mikroskopisk piezoelektrisk krystall. Krystallen genererer et elektrisk potensial når aksellerometeret blir akselerert, fordi kraften fra massen da endrer seg. Aksellerometeret måler kun endring i akselerasjon, derfor er det ikke nødvendig å trekke fra tyngdens akselerasjon i vertikal retning. For å logge disse målingene, benyttet vi en loggestasjon av typen NI-DAQmx 8.7.1 med IEPE aksellerometer-moduler fra National Instruments (NI) (se figur 4.2). Målingene ble registrert på en bærbar datamaskin ved hjelp av programmet NI LabVIEW SignalExpress.

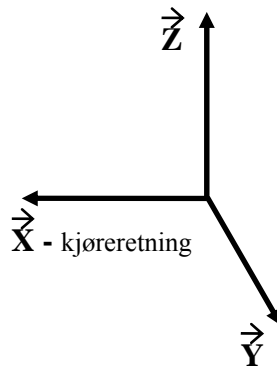


Figur 4.2 Loggestasjonen NI-DAQmx 8.7.1 fra National Instruments

4.4 Praktisk utføring av målingene

Vibrasjonsmålingene ble utført på Rena leir 6. august 2008 i forbindelse med en av de tidligere nevnte CV90-befaringene. Utstyret som ble brukt, er beskrevet i det foregående underkapittelet. Stålbeltene på kjøretøyet som ble benyttet var lite slitt.

For å få et fullstendig bilde av vibrasjonene i et punkt, er det nødvendig å måle akselerasjonen i tre ortogonale retninger; henholdsvis langs x-aksen, y-aksen og z-aksen. Dette ble gjort ved å montere ett aksellerometer langs hver av disse aksene i hvert av de fire festepunktene, det vil si tolv aksellerometre totalt. X-aksen er definert horisontal i kjøreretningen, y-aksen er horisontal, ortogonal på kjøreretningen og z-aksen er vertikal, ortogonal på de to andre aksene (se figur 4.3).



Figur 4.3 Koordinatsystemet

For å gjøre denne montasjen mulig, måtte vi spesiallage fire festeklosser. Klossene bestod av tre gjennomgående hull med gjenger til å feste aksellerometrene i, ett til hver av de tre aksene, og ett stort hull for å feste klossene i veggen. Vi brukte eksisterende hull med gjenger i veggen for å feste klossene. Da det ikke var praktisk mulig å feste klossene i de to nederste festepunktene, benyttet vi i stedet to andre hull som befant seg like ved (se figur 4.5). Hullene fikk vi frigjort ved å nedmontere to av setebeltene og to nettingkurver.



Figur 4.4 Festekloss med ett aksellerometer langs hver av de tre aksene

Aksellerometrene ble deretter koblet til loggestasjonen ved hjelp av spesialkabler etter systemet som er angitt i tabell 4.1. Sensitiviteten til hvert av aksellerometrene var på forhånd lagt inn i loggeprogrammet.

			Aksellerometer		
Fysisk kanal nr.	Posisjon	Akse	Modell	Serienummer	Sensitivitet (mV/g)
MOD 1 CH 0	1	X	353B68	15579	107,10
MOD 1 CH 1	1	Y	353B68	15580	103,90
MOD 1 CH 2	1	Z	352C68	48244	101,60
MOD 1 CH 3	2	X	352C68	48243	103,10
MOD 2 CH 0	2	Y	352C68	48238	103,90
MOD 2 CH 1	2	- Z	353B68	15577	106,10
MOD 2 CH 2	3	X	353B68	15578	100,30
MOD 2 CH 3	3	Y	352C68	48242	101,80
MOD 3 CH 0	3	Z	352C65	48280	100,20
MOD 3 CH 1	4	X	353B65	47093	106,46
MOD 3 CH 2	4	Y	352C65	78734	100,90
MOD 3 CH 3	4	Z	352C65	78737	102,30

Tabell 4.1 Kanaloversikt



Figur 4.5 Plassering av aksellerometrene på den venstre veggen i stridsrommet

Målingene ble gjort under kjøring i ulike hastigheter på varierende underlag. Ideelt sett burde alle målingene ha vært gjort på det hardeste underlaget, det vil si betong eller asfalt, men for å komme opp i hastigheter på over 20 km/t, måtte vi benytte oss av grusveier. Planen var opprinnelig å gjennomføre målinger med en varighet på minimum 30 sekunder ved tomgang, og ved følgende hastigheter: gangfart, 20 km/t, 40 km/t, 60 km/t og maksimumshastigheten (65-70 km/t). Dessverre sviktet utstyret ved flere av målingene, slik at de ble stoppet lenge før 30 sekunder var gått. Disse målingene kan ikke brukes videre i analysen, da de ikke er lange nok. Det betyr at vi sitter igjen med godkjente målinger ved 20 km/t, 60 km/t og maksimumshastigheten. Samplingsfrekvensen var 6 kHz ved alle målingene. Tabell 4.2 under gir en oversikt over målingene som ble utført. Testmålingene er utelatt fra tabellen.

Log navn	Beskrivelse	Underlag	Varighet (s)	Kommentar
06082008_142452	Tomgang	Betong	12	Forkastes
06082008_142656	Gangfart	Betong	8,16	Forkastes
06082008_143320	20 km/t	Asfalt	23,04	Forkastes
06082008_143608	20 km/t	Asfalt	3,84	Forkastes
06082008_150153	20 km/t	Asfalt	61,92	Brukes
06082008_143823	Terreng	Terreng	3,84	Forkastes
06082008_144155	40 km/t	Grusvei	3,36	Forkastes
06082008_144219	40 km/t	Grusvei	3,36	Forkastes
06082008_144420	45 km/t	Grusvei	4,32	Forkastes
06082008_144959	60 km/t	Grusvei	4,8	Forkastes
06082008_145021	60 km/t	Grusvei	71,04	Brukes
06082008_145857	65-70 km/t (maks)	Grusvei	4,32	Forkastes
06082008_145920	65-70 km/t (maks)	Grusvei	96,96	Brukes

Tabell 4.2 Oversikt over vibrasjonsmålingene. Log-filene ligger under
 \\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktiviteter\BMS\CDE\CDE 2008\CV90-befaring
 Rena 6.8.2008\Vibrasjonsmålinger\Måledata

4.5 Resultater

For å kunne analysere de tre utvalgte vibrasjonsmålingene (20 km/t, 60 km/t og maksimumshastigheten), måtte log-filene omgjøres til bin-filer ved hjelp av et LabView-program laget av Atle Skaugen ved FFIs Miljølaboratorium. Log-filene inneholder informasjon om akselerasjonens amplitude, målt i antall g , som funksjon av tid.

Deretter ble følgende Matlab-program brukt til lese disse filene i Matlab:

```
%lese LabVIEW Bin Data

function [Time,Data]=ReadBinData(fname)

fid=fopen(fname, 'r');
Ant_rad=fread(fid,1, 'int32');
Ant_col=fread(fid,1, 'int32');
AllData=fread(fid, [Ant_col, Ant_rad], 'double');
fclose(fid);

Time=AllData(:,1);
Data=AllData(:,2:Ant_rad);

clear AllData Ant_col Ant_rad fid fname

end
```

Neste steg var å lage et *Power Spectral Density*-estimat, et såkalt PSD-estimat, ved bruk av funksjonen *periodogram* i Matlab. PSD er definert som kvadratet av modulen til den Fouriertransformerte, og den gir energi per frekvensenhet.

Proseduren for å behandle disse vibrasjonsdataene statistisk for senere å kunne bruke dem til vibrasjonstesting av utstyret, er hentet fra den amerikanske militære standarden for vibrasjonstesting av beltekjøretøyer: MIL-STD-810D/E [25]. For hver av de tolv kanalene ved hver av de tre målingene skal man regne ut en PSD med vindussekvenser på omtrent 1 sekund, noe som gir en båndbredde på rundt 1 Hz. Deretter skal man regne ut gjennomsnittet og standardavviket til hver av disse PSDene, det vil si at man finner to nye PSDer ved å ta henholdsvis gjennomsnittet og standardavviket til de ulike vindussekvensene for hver frekvens. PSDene som skal brukes videre, er gjennomsnittet pluss ett standardavvik, for sikkerhetsmargin, til hver av de opprinnelige PSDene.

Følgende Matlab-funksjon ble brukt til å regne ut PSDene:

```
% Power Spectral Density (PSD)-funksjoner av akselerasjon

function [PSD1, PSD2, f, nfft]=GetPeriodogram(fname)

% Definerer av parametrene

AntKan=12; % Antall kanaler.
```



```

AntVinSek=40; % Antall vindussekvenser som skal regnes ut, dvs. antall
                sekunder.
Fs=6000; % Samplingsfrekvensen.
T=1; % Periode for hver vindussekvens.
nfft=T*Fs; % Antall punkter i FFT.

% Innlasting av akselerasjonsdataen

[Time,Data]=ReadBinData(fname);

% Beregning av vindu og skaleringsfaktor for PSD til g^2/Hz RMS

Window=hanning(nfft);
PSD=[];
PSD1=[];
PSD2=[];

% Utregning av PSD for hver kanal

i=0;          % Del av data som skal analyseres (i av AntVinSek).
Kanal=1;      % Kanal som skal analyseres.

for Kanal=1:AntKan

    for i=0:AntVinSek-1

        [Pxx,f] = periodogram(Data((1+nfft*i):(nfft*(i+1))),
            Kanal,Window,nfft,Fs);
        PSD = [PSD Pxx];

    end

% Utregning av gjennomsnitt og standardavvik+gjennomsnitt for hver kanal

PSD1(Kanal,:)=mean(PSD,2); % Gjennomsnittet.
PSD2(Kanal,:)=std(PSD,0,2)+mean(PSD,2); % Gjennomsnittet+standardavviket.

end

```

For til slutt å ende opp med én PSD for hver av de tre aksene, valgte vi å regne ut gjennomsnittet av de fire punktene for hver av de tre aksene. Dette ble gjort for hver av de tre målingene. Deretter regnet vi ut gjennomsnittet av de tre målingene for hver av de tre aksene.

Følgende Matlab-program ble brukt til å regne ut gjennomsnittene og plote PSDene:

```

% Innlasting av PSDene for hver av de tre målingene

[PSD1_1,PSD2_1,f,nfft]=GetPeriodogram('\\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjekt
aktiviteter\BMS\CDE\CDE 2008\CV90-befaring Rena
6.8.2008\Vibrasjonsmålinger\Måledata\06082008_150153\Acceleration.bin');

[PSD1_2,PSD2_2]=GetPeriodogram('\\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktivit
eter\BMS\CDE\CDE 2008\CV90-befaring Rena
6.8.2008\Vibrasjonsmålinger\Måledata\06082008_145021\Acceleration.bin');

```



```

[PSD1_3,PSD2_3]=GetPeriodogram('\\Ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktivit
eter\BMS\CDE\CDE 2008\CV90-befaring Rena
6.8.2008\Vibrasjonsmålinger\Måledata\06082008_145920\Acceleration.bin');

% Utregning og plotting av gjennomsnitts-PSD2en for hver av aksene ved
20 km/t

PSD2_1_X=[];
PSD2_1_Y=[];
PSD2_1_Z=[];
PSD2_1_mean=[];

PSD2_1_X(1,:)=PSD2_1(1,:);
PSD2_1_X(2,:)=PSD2_1(4,:);
PSD2_1_X(3,:)=PSD2_1(7,:);
PSD2_1_X(4,:)=PSD2_1(10,:);

PSD2_1_Y(1,:)=PSD2_1(2,:);
PSD2_1_Y(2,:)=PSD2_1(5,:);
PSD2_1_Y(3,:)=PSD2_1(8,:);
PSD2_1_Y(4,:)=PSD2_1(11,:);

PSD2_1_Z(1,:)=PSD2_1(3,:);
PSD2_1_Z(2,:)=PSD2_1(6,:);
PSD2_1_Z(3,:)=PSD2_1(9,:);
PSD2_1_Z(4,:)=PSD2_1(12,:);

PSD2_1_mean(1,:)=mean(PSD2_1_X,1);
PSD2_1_mean(2,:)=mean(PSD2_1_Y,1);
PSD2_1_mean(3,:)=mean(PSD2_1_Z,1);

figure(1)
semilogy(f,PSD2_1_mean(1,:), 'blue');
axis([5 1000 0 1])
hold on
semilogy(f,PSD2_1_mean(2,:), 'green');
semilogy(f,PSD2_1_mean(3,:), 'red');
title('PSD (g^2/Hz RMS) - Gjennomsnitt 20 km/t')
xlabel('Frekvens (Hz)')
ylabel('PSD (g^2/Hz RMS)')
hold off

% Utregning og plotting av gjennomsnitts-PSD2en for hver av aksene ved
60 km/t

PSD2_2_X=[];
PSD2_2_Y=[];
PSD2_2_Z=[];
PSD2_2_mean=[];

PSD2_2_X(1,:)=PSD2_2(1,:);
PSD2_2_X(2,:)=PSD2_2(4,:);
PSD2_2_X(3,:)=PSD2_2(7,:);
PSD2_2_X(4,:)=PSD2_2(10,:);

PSD2_2_Y(1,:)=PSD2_2(2,:);
PSD2_2_Y(2,:)=PSD2_2(5,:);
PSD2_2_Y(3,:)=PSD2_2(8,:);
PSD2_2_Y(4,:)=PSD2_2(11,:);

```

```

PSD2_2_Z(1,:) = PSD2_2(3,:);
PSD2_2_Z(2,:) = PSD2_2(6,:);
PSD2_2_Z(3,:) = PSD2_2(9,:);
PSD2_2_Z(4,:) = PSD2_2(12,:);

PSD2_2_mean(1,:) = mean(PSD2_2_X,1);
PSD2_2_mean(2,:) = mean(PSD2_2_Y,1);
PSD2_2_mean(3,:) = mean(PSD2_2_Z,1);

figure(2)
semilogy(f, PSD2_2_mean(1,:), 'blue');
axis([5 1000 0 1])
hold on
semilogy(f, PSD2_2_mean(2,:), 'green');
semilogy(f, PSD2_2_mean(3,:), 'red');
title('PSD (g2/Hz RMS) - Gjennomsnitt 60 km/t')
xlabel('Frekvens (Hz)')
ylabel('PSD (g2/Hz RMS)')
hold off

% Utregning og plotting av gjennomsnitts-PSD2en for hver av aksene ved
65-70 km/t

PSD2_3_X=[];
PSD2_3_Y=[];
PSD2_3_Z=[];
PSD2_3_mean=[];

PSD2_3_X(1,:) = PSD2_3(1,:);
PSD2_3_X(2,:) = PSD2_3(4,:);
PSD2_3_X(3,:) = PSD2_3(7,:);
PSD2_3_X(4,:) = PSD2_3(10,:);

PSD2_3_Y(1,:) = PSD2_3(2,:);
PSD2_3_Y(2,:) = PSD2_3(5,:);
PSD2_3_Y(3,:) = PSD2_3(8,:);
PSD2_3_Y(4,:) = PSD2_3(11,:);

PSD2_3_Z(1,:) = PSD2_3(3,:);
PSD2_3_Z(2,:) = PSD2_3(6,:);
PSD2_3_Z(3,:) = PSD2_3(9,:);
PSD2_3_Z(4,:) = PSD2_3(12,:);

PSD2_3_mean(1,:) = mean(PSD2_3_X,1);
PSD2_3_mean(2,:) = mean(PSD2_3_Y,1);
PSD2_3_mean(3,:) = mean(PSD2_3_Z,1);

figure(3)
semilogy(f, PSD2_3_mean(1,:), 'blue');
axis([5 1000 0 1])
hold on
semilogy(f, PSD2_3_mean(2,:), 'green');
semilogy(f, PSD2_3_mean(3,:), 'red');
title('PSD (g2/Hz RMS) - Gjennomsnitt 65-70 km/t')
xlabel('Frekvens (Hz)')
ylabel('PSD (g2/Hz RMS)')
hold off

```

```

% Utregning og plotting av den totale gjennomsnitts-PSD2en

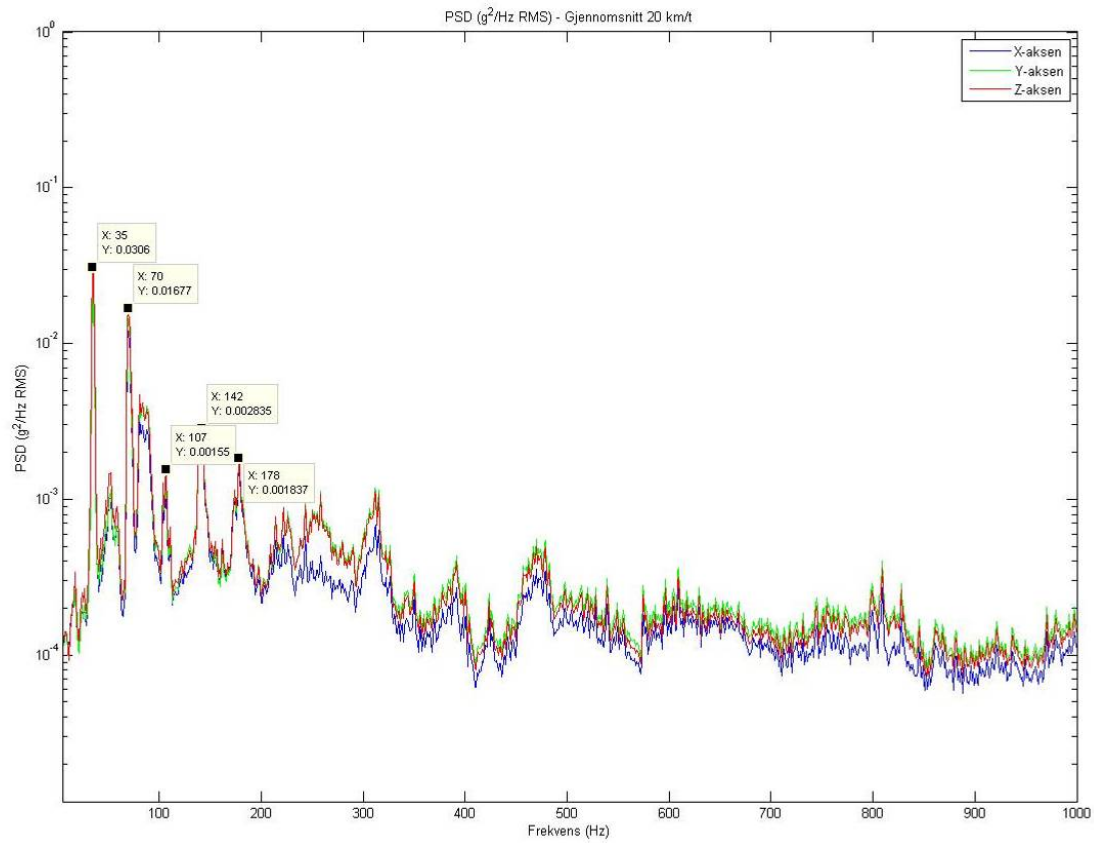
PSD2_mean=[];

PSD2_mean(1,:)=mean([PSD2_1_mean(1,:);PSD2_2_mean(1,:);PSD2_3_mean(1,:)]
,1);
PSD2_mean(2,:)=mean([PSD2_1_mean(2,:);PSD2_2_mean(2,:);PSD2_3_mean(2,:)]
,1);
PSD2_mean(3,:)=mean([PSD2_1_mean(3,:);PSD2_2_mean(3,:);PSD2_3_mean(3,:)]
,1);

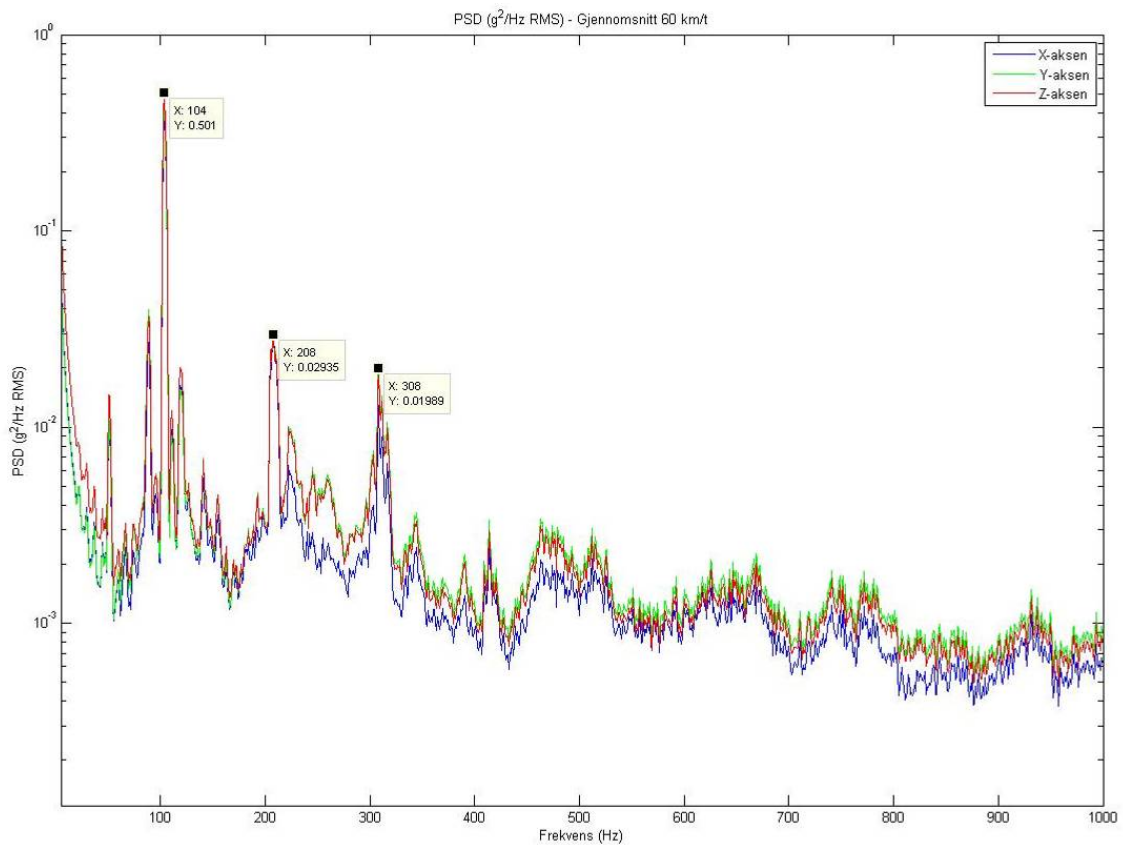
figure(4)
semilogy(f,PSD2_mean(1,:), 'blue');
axis([5 1000 0 1])
hold on
semilogy(f,PSD2_mean(2,:), 'green');
semilogy(f,PSD2_mean(3,:), 'red');
title('PSD (g^2/Hz RMS) - Totalt gjennomsnitt')
xlabel('Frekvens (Hz)')
ylabel('PSD (g^2/Hz RMS)')
hold off

```

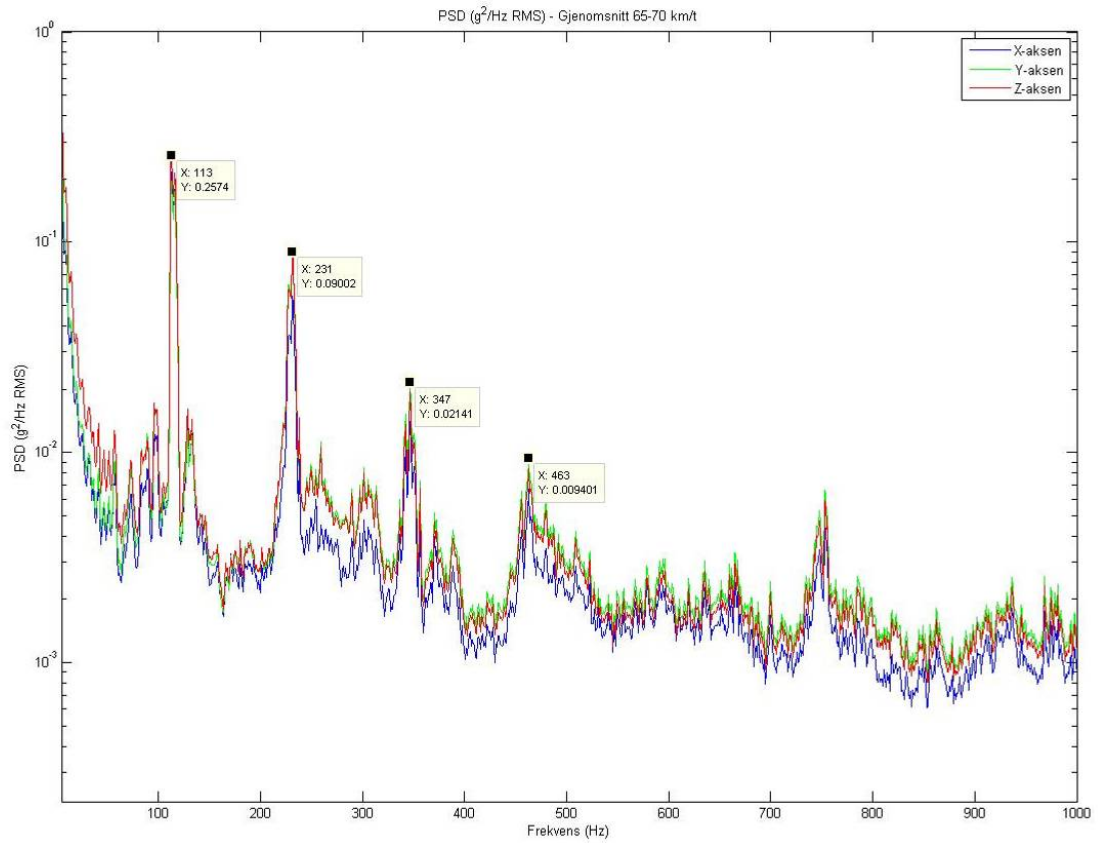
På de neste sidene følger PSD-grafene til gjennomsnittet ved 20 km/t, 60 km/t og maksimumshastigheten (65-70 km/t), i tillegg til det totale gjennomsnittet (se figur 4.6-4.9). Det er viktig å bemerke at PSDene det er tatt gjennomsnittet av, er summen av gjennomsnittet og ett standardavvik. Y-aksen er logaritmisk, og dens enhet er g^2/Hz RMS. Frekvensaksen, altså x-aksen, starter på 5 Hz, da det er knyttet stor usikkerhet til de laveste frekvensene. Dessuten kan ikke vibrasjonsanlegget på FFIs Miljølaboratorium gjenskape vibrasjoner under 5 Hz.



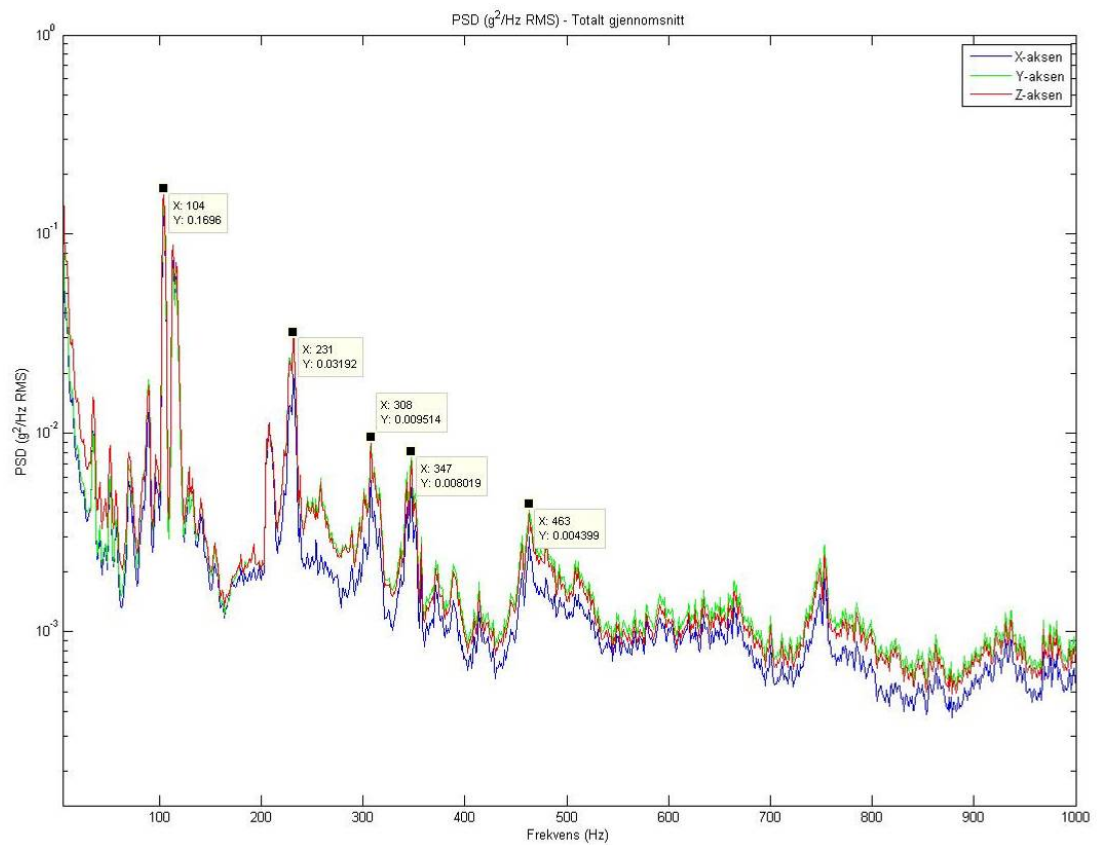
Figur 4.6 PSD (g^2/Hz RMS) – Gjennomsnitt 20 km/t



Figur 4.7 PSD (g^2/Hz RMS) – Gjennomsnitt 60 km/t



Figur 4.8 PSD (g^2/Hz RMS) – Gjennomsnitt 65-70 km/t



Figur 4.9 PSD (g^2/Hz RMS) – Totalt gjennomsnitt

Ved alle hastighetene kan vi se tre til fem distinkte toppene i frekvensområdet 0-500 Hz. Toppene ved hver hastighet minker når frekvensen øker. Koordinatene til disse toppene er markert på hver av grafene. Som vi kan se, har grafene til de tre aksene de samme toppene, men høyden på toppene varierer litt fra akse til akse. I alle tilfellene er det den høyeste y-verdien som er markert. Toppene som ligger på over 500 Hz, er ikke tatt med da de er små i forhold til de andre toppene. I de tilfellene hvor det er mindre toppene som ligger tett opptil en større topp, blir de regnet for å være en del av den store toppen. Toppene flytter seg mot høyere frekvenser når farten øker. Det er nærliggende å tro at disse toppene representerer beltefrekvensene til kjøretøyet. Grunnen til at det finnes flere beltefrekvenser for hver hastighet, er trolig at beltefrekvensen er harmonisk, det vil si at beltefrekvensene vi ser på grafene er heltallige multiplum av grunnfrekvensen, som er den laveste beltefrekvensen ved hver hastighet. Den reelle vibrasjonssvingningen er i så fall i tidsdomenet summen av en uendelig rekke harmoniske svingninger. For å undersøke om toppene virkelig representerer beltefrekvensene, må vi sammenlikne dem med de teoretisk utregnede beltefrekvensene ved hver hastighet. Samtidig kan vi også vurdere om toppene virkelig representerer harmoniske svingninger.

Beltefrekvensen kan regnes ut teoretisk ved hjelp av følgende formel:

$$\text{Beltefrekvens} = \frac{\text{Hastighet}}{\text{Leddavstand}}$$

med SI-enheter.



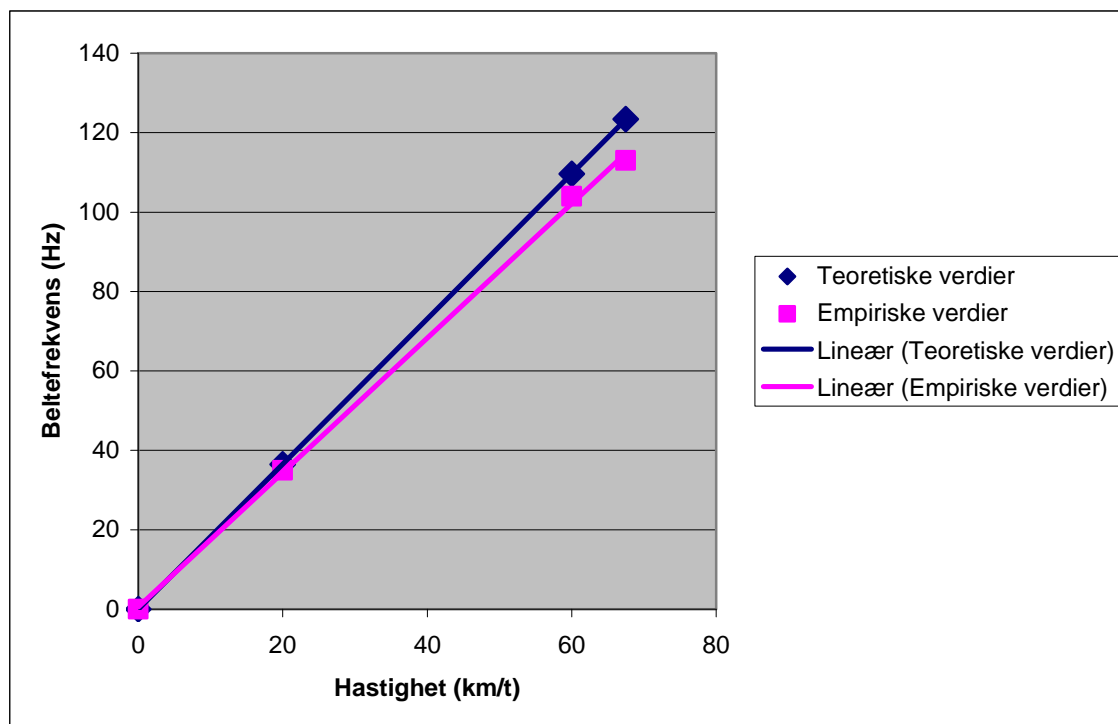
Figur 4.10 Belteleddene på CV90

Ifølge både målinger gjort av personell på verkstedet på Rena leir og uoffisielle kilder på Internett, er lengden på hvert belteledd, det vil si leddavstanden, på CV90 lik 152 mm. Det gir en beltefrekvens på 36,5 Hz ved 20 km/t, 109,6 Hz ved 60 km/t og mellom 118,8 Hz og 127,9 Hz ved maksimumshastigheten (65-70 km/t).

Tabell 4.3 under viser de empiriske og de teoretiske verdiene for beltefrekvensene for de fem første harmoniske komponentene. De teoretiske verdiene for beltefrekvensene ved maksimumshastigheten er regnet ut med utgangspunkt i gjennomsnittshastigheten på 67,5 km/t.

Hastighet (km/t)	Grunnfrekvens (Hz)		2. harmoniske komponent (Hz)		3. harmoniske komponent (Hz)		4. harmoniske komponent (Hz)		5. harmoniske komponent (Hz)	
	Empiriske	Teoretiske	Empiriske	Teoretiske	Empiriske	Teoretiske	Empiriske	Teoretiske	Empiriske	Teoretiske
20	35	36,5	70	73	107	109,5	142	146	178	182,5
60	104	109,6	208	219,2	308	328,8	-	438,4	-	548
65-70	113	123,4	231	246,8	347	370,2	463	493,6	-	617
Totalt	104	-	231	-	308	-	347	-	463	-

Tabell 4.3 Empiriske og teoretiske verdier for beltefrekvensene



Figur 4.11 Grunnbeltefrekvensen som funksjon av hastigheten

Vi kan se at de empiriske grunnfrekvensene for hver hastighet stemmer bra overens med de teoretiske verdiene (se tabell 4.3 og figur 4.11). Det er viktig å ta med i betraktningen at det ligger en usikkerhet både i den empiriske og den teoretiske verdien. Videre kan vi konkludere med at beltefrekvensene ved hver av de tre hastighetene er harmoniske. Det betyr at energien fra vibrasjonene grunnet beltene er fordelt på en rekke harmoniske frekvenser, men det meste av energien ligger på grunnfrekvensen. Det er ikke mulig å regne ut en teoretisk beltefrekvens for det totale gjennomsnittet, da det ikke representerer et reelt fenomen. Vi kan imidlertid se at de empiriske verdiene er forholdsvis harmoniske, men avviket er mye større her enn ved de tre separate hastighetene.

Foruten beltefrekvensene kan det finnes andre fenomener som forårsaker og bidrar til de toppene vi ser på grafene (se figur 4.6-4.8). Mellom de store toppene ser vi nemlig flere mindre topper. Vibrasjoner forårsaket av kjøretøyets motor kan være årsaken til disse. Informasjon om turtallet til motoren ble ikke notert under testkjøringen. For å kunne regne ut turtallet ved de ulike hastighetene, er vi avhengige av å vite, i tillegg til egenskapene til motoren, hvilket gir kjøretøyet stod i ved hvert enkelt tilfelle. Denne siste informasjonen mangler dessverre, så vi har ikke mulighet til å regne ut turtallet.

I tillegg til beltefrekvensen og turtallet, er det også relevant å vurdere om det i kjøretøyet finnes andre gjenstander i bevegelse som kunne gi de egenfrekvensene som vi ser på grafene. I vårt tilfelle kunne det vært målingsutstyret som ble brukt, inkludert et bilbatteri, men siden det i all hovedsak er snakk om lette gjenstander, og batteriet var stropet fast til gulvet, er det lite trolig at deres bevegelser kan ha gjort store utslag.

Vi kan se av PSD-grafene for hver hastighet (se figur 4.6-4.8) at vibrasjonene ved 60 km/t er større enn ved 20 km/t, men at den maksimale energiverdien oppnådd ved maksimalhastigheten ($0,2574 \text{ g}^2/\text{Hz RMS}$) er lavere enn den oppnådd ved 60 km/t ($0,501 \text{ g}^2/\text{Hz RMS}$). Ved alle hastighetene er vibrasjonene størst langs z-aksen, det vil si vertikalt.

4.6 Vibrasjonstesting av utstyret

Vibrasjonstesting av utstyret, det vil si av det vibrasjonsdempede stativet med alt datautstyret innmontert, skal gjennomføres på vibrasjonsanlegget på FFIs Miljølaboratorium. De tre aksene testes uavhengig av hverandre; det betyr at man må gjennomføre tre tester. Ristebordet på vibrasjonsanlegget kan justeres i to posisjoner, slik at man ved tre ulike plasseringer av utstyret kan utføre vibrasjonstester langs de tre aksene uten å bytte vibrasjonsanlegg. Datautstyret må under testene kjøre de programmene som skal brukes under felttesten, og alle programmene må sjekkes før og etter hver test, det vil si totalt fire ganger. Hvis programmene fungerer som de skal ved den fjerde og siste sjekken, har utstyret bestått vibrasjonstestene. De mellomliggende sjekkene har til hensikt å avdekke hvilke akser, nærmere bestemt vibrasjonene langs hvilke av de tre aksene, som eventuelt skader utstyret. Hvis ett eller flere av programmene ikke fungerer etter den tredje eller den fjerde testen, kan man ikke med sikkerhet si hvilke vibrasjoner som var utslagsgivende, da de foregående testene kan ha påført utstyret slitasje. Varigheten av hver av

testene skal være mellom 30 minutter og 2 timer, alt etter hvor mye bruk man ønsker at utstyret skal tåle.

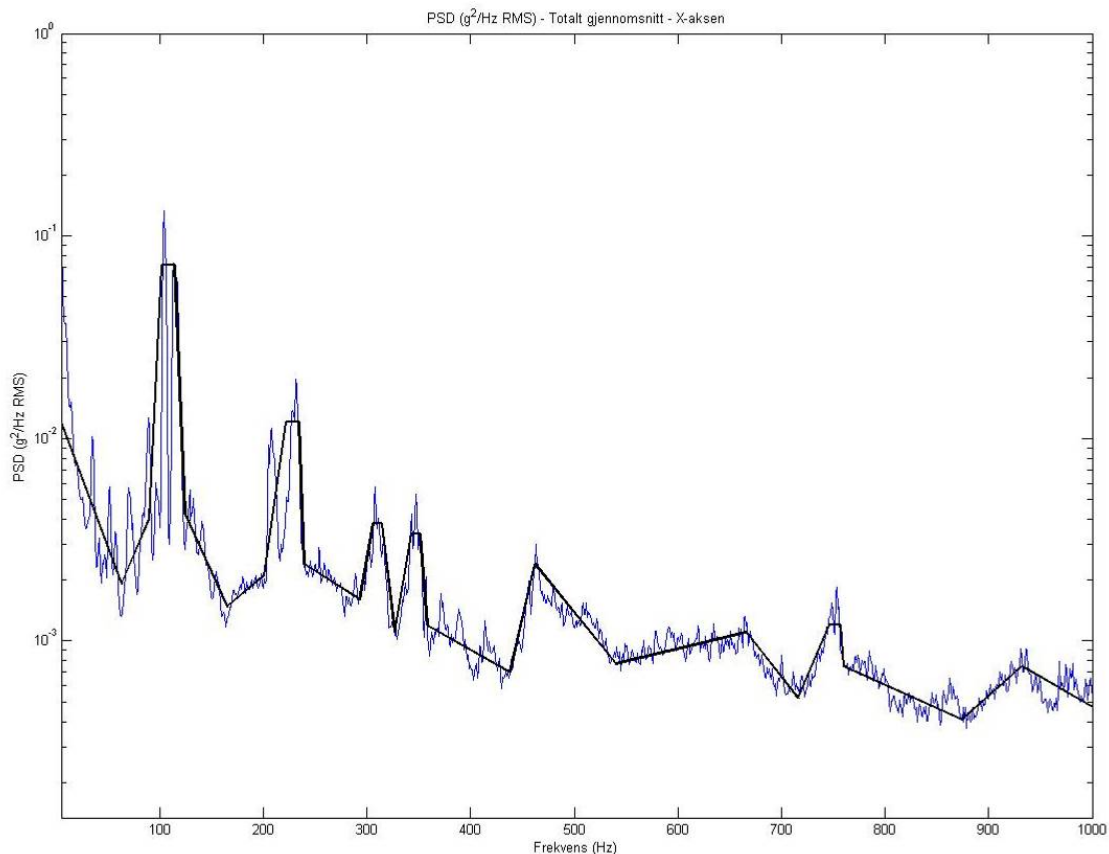
Da ristebordet kun kan plasseres i horisontale posisjoner, er man nødt til å lage en rigg med en vertikal plate for å kunne feste stativet slik det skal monteres i kjøretøyet, altså hengende på veggen. Denne riggen må kunne brukes til å utføre vibrasjonstestene langs hver av de tre aksene.

For å kunne fremskaffe det endelige tallmaterialet til vibrasjonstestene, måtte vi først forenkle de utregnede PSD-grafene for det totale gjennomsnittet for hver av de tre aksene (se figur 4.9). Inndataene som vibrasjonsanlegget trenger for å kunne gjenskape vibrasjonene, er akselerasjonsnivået til hver av aksene, det vil si kvadratroten av arealet under hver av PSD-grafene. Vi kan enkelt vise at enheten til kvadratroten av arealet under grafen er lik g ved å multiplisere enheten til x-aksen med enheten til y-aksen, og deretter ta kvadratroten av resultatet. Enheten til arealet under en graf er som kjent produktet av enhetene til de to aksene.

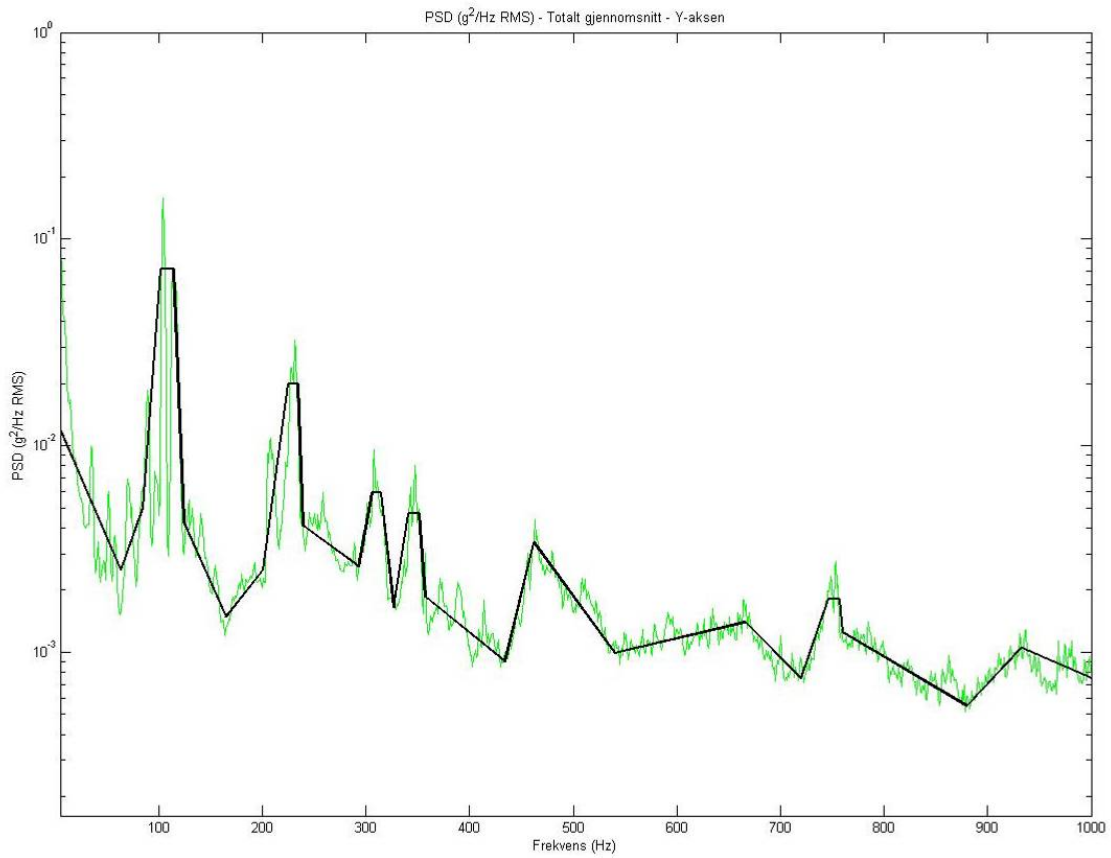
Enheten til kvadratroten av arealet under grafen regnes ut slik:

$$\sqrt{[X] \cdot [Y]} = \sqrt{\text{Hz} \cdot \frac{\text{g}^2}{\text{Hz}}} = \text{g}$$

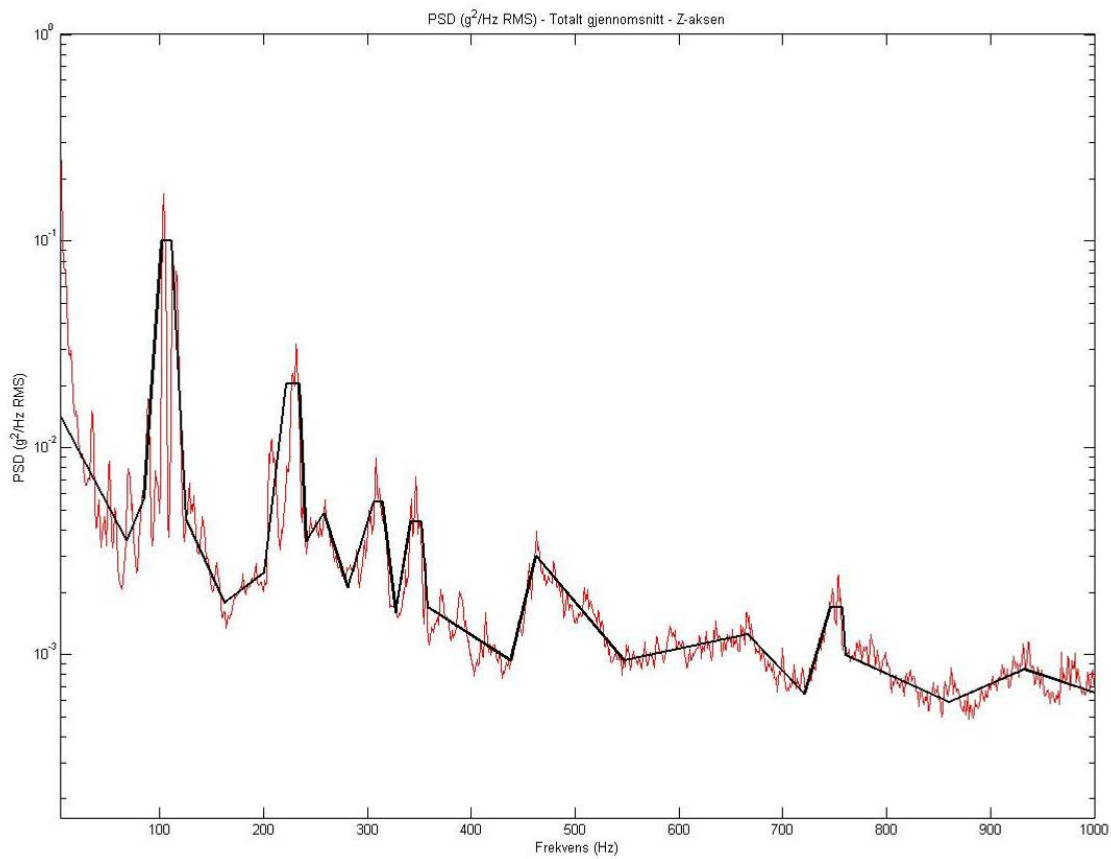
Neste steg var å regne ut disse arealene. For å få med markante topper og for å bli kvitt all mindre støy, forenklet vi grafene manuelt til å bestå av et visst antall rette linjer som best mulig gjenskapte arealet under de opprinnelige grafene. De følgende grafene (se figur 4.12-4.14) og tabell 4.4 viser forenklingen av PSD-grafene.



Figur 4.12 Forenkling av PSD-grafen for x-aksen



Figur 4.13 Forenkling av PSD-grafen for y-aksen



Figur 4.14 Forenkling av PSD-grafen for z-aksen

X-aksen		Y-aksen		Z-aksen	
Frekvens (Hz)	PSD (g ² /Hz RMS)	Frekvens (Hz)	PSD (g ² /Hz RMS)	Frekvens (Hz)	PSD (g ² /Hz RMS)
5	0,012	5	0,012	5	0,014
63	0,0019	63	0,0025	68	0,003559
90	0,004	85	0,005	85	0,005711
102	0,072	102	0,072	102	0,1
114	0,072	114	0,072	111	0,1
124	0,0043	124	0,0043	125	0,0045
165	0,00148	165	0,00148	162	0,001781
201	0,0021	201	0,0025	201	0,0025
222	0,012	225	0,02	222	0,0205
234	0,012	234	0,02	234	0,0205
239	0,0024	239	0,0041	241	0,0035
293	0,0016	293	0,0026	258	0,004812
306	0,0038	306	0,0059	281	0,00211
314	0,0038	314	0,0059	306	0,0055
327	0,0011	327	0,00165	314	0,0055
343	0,0034	341	0,0047	327	0,00159
351	0,0034	351	0,0047	342	0,0044
358	0,0012	357	0,00185	352	0,0044
438	0,0007	434	0,0009	358	0,0017
462	0,0024	462	0,0034	438	0,0009325
540	0,00077	540	0,00099	462	0,002998
666	0,0011	666	0,0014	547	0,0009352
716	0,00052	720	0,00075	666	0,001254
746	0,0012	746	0,0018	721	0,00064
757	0,0012	757	0,0018	746	0,0017
760	0,00075	760	0,00125	757	0,0017
874	0,00041	880	0,00055	760	0,001
932	0,00075	933	0,00105	860	0,00059
1000	0,00047	1000	0,00075	932	0,00085
				1000	0,000654

Tabell 4.4 Forenkling av PSD-grafene for de tre aksene

Utregningen av akselerasjonsnivået til hver av de tre aksene vil bli gjort av Øistein Lundberg ved FFIs Miljølaboratorium, da han har et egnet program som er knyttet til styringssystemet til vibrasjonsanlegget. Vibrasjonsanlegget vil deretter, for hver av aksene, bli programmert til å vibrere med det aktuelle akselerasjonsnivået med en varierende og tilfeldig amplitude.

4.7 Oppsummering vibrasjonsmålinger

Vibrasjonsmålingene ble gjennomført med det formål å kunne vibrasjonsteste utstyret som skal monteres inne i kjøretøyet i forbindelse med felttester høsten 2008. Tallmaterialet fra målingene er blitt bearbeidet med dette i tankene, og det er derfor ikke blitt gjort en vurdering av hver enkelt måling for å finne for eksempel maksimal akselerasjon og akselerasjonens variasjon over tid. Log-filene til akselerasjonsmålingene inneholder derimot denne informasjonen.

Når riggen til vibrasjonsanlegget er ferdig fabrikkert, ligger alt til rette for å utføre vibrasjonstestene. Tabellen med de forenklete PSD-verdiene for hver akse (se tabell 4.4) er gitt til Øistein Lundberg ved FFIs Miljølaboratorium, slik at han kan bearbeide tallmaterialet til bruk som inndata til vibrasjonsanlegget.

De utregnede PSD-grafene (se figur 4.6-4.8) for hver av de tre hastighetene viser tydelige energitopper ved visse frekvenser. Disse toppene er harmoniske, og de representerer beltefrekvensene. I tidsdomenet er vibrasjonssvingningen altså en sum av harmoniske svingninger. Vibrasjonsenergien fra beltene er fordelt på en uendelig rekke harmoniske frekvenser. De empiriske verdiene for de første harmoniske frekvensene stemmer godt overens med de tilsvarende teoretiske verdiene.

5 Konklusjon

Det er blitt gjort støy- og vibrasjonsmålinger i stormpanservognen CV90, og resultatene fra disse målingene har blitt analysert ved hjelp av bølgeformgrafer, frekvensanalyser, spektralanalyser og Power Spectral Density-estimer (PSD). Formålet med støymålingene har vært å undersøke støymiljøet i kjøretøyet med tanke på et mulig fremtidig talegjenkjenningssystem som skal plasseres i kjøretøyet. Vibrasjonsmålingene har vært utført i den hensikt å kartlegge vibrasjonsmiljøet i kjøretøyet primært som grunnlag for vibrasjonstesting av datautstyret som skal monteres inne i stridsrommet.

Grunnet manglende informasjon om talegjenkjenningssystemet, kan vi ikke ut fra støymålingene, og de analysene som er gjort i den forbindelse, trekke noen konklusjon om hvorvidt systemet vil fungere i kjøretøyet. Resultatene som er presentert her kan derimot danne et grunnlag for videre undersøkelser og forsøk, og for å kunne trekke konklusjoner når nødvendig informasjon om talegjenkjenningssystemet foreligger.

Vibrasjonsmålingene og den statistiske bearbeidingen av resultatene som er utført her, har fremskaffet det tallmessige utgangspunktet for å kunne vibrasjonsteste utstyret ved FFIs Miljølaboratorium. De praktiske forberedelsene til disse testene er i skrivende stund igangsatt, og testene vil bli gjennomført i slutten av september 2008.

I tillegg til disse opprinnelige anvendelsene kan beskrivelsen av støy- og vibrasjonsmiljøet i kjøretøyet være til nytte for andre fremtidige aktiviteter.

Referanser

- [1] Army Technology, "CV90 Tracked Armoured Combat Vehicles, Sweden", <http://www.army-technology.com/projects/cv90>, 2008.
- [2] B. Brennevann, "CV90 – en suksessanskaffelse", <http://www.mil.no/flo/start/aktuelt/article.jhtml?articleID=156224>, 27. mars 2008.
- [3] Forsvarets logistikkorganisasjon/Land, *Teknisk håndbok – Stormpanservogn CV9030 N – Kjøretøydel – Beskrivelse, behandling og brukers vedlikehold* TH 9-2350-25/202-10, Forsvarets logistikkorganisasjon/Land, 2002.
- [4] Forsvarets logistikkorganisasjon/Land, *Teknisk håndbok – Stormpanservogn CV9030 N – Tårn og bevæpning – Beskrivelse, behandling og brukers vedlikehold* TH 9-1005-25/203-10, Forsvarets logistikkorganisasjon/Land, 2002.
- [5] Hærens forsyningskommando, *Teknisk håndbok – Stormpanservogn CV9030 N – Kjøretøydel – Avdelings, -felt og høyere linje vedlikehold* TH 9-2350-25/202-10, Hærens forsyningskommando, 2003.
- [6] Hærens forsyningskommando, *Teknisk håndbok – Stormpanservogn CV9030 N – Tårn og bevæpning – Avdelings, -felt og høyere linje vedlikehold* TH 9-2350-25/202-10, Hærens forsyningskommando, 2006.
- [7] T. Axelsson og A-K. Borander, "Støybelastning ved kjøring av CV 90, M113 og LEO 2", Forsvarets bedriftshelsetjeneste, 2007, ugradert.
- [8] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens og J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics* Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [9] A. P. G. Peterson og E. G. Ervin Jr., *Handbook of Noise Measurement* Seventh Edition, General Radio Company, 1974.
- [10] D. N. May, *Handbook of Noise Assessment*, Van Nostrand Reinhold Company, 1978.
- [11] Statens Forurensingstilsyn, "Mulige tiltak for å redusere støy – Framskrivninger til 2010 og oppsummering på tvers av kilder", <http://sft.no/publikasjoner/luft/1714/ta1714.pdf>, SFT-rapport 1714/2000, 2000.
- [12] M. Nivison, "The effects of Noise on Health and Behavior – Recent Research", Elektronikklaboratoriet ved NTH, 1983.
- [13] U. Rosenhall, K. Pedersen og A. Svanborg, "Presbycusis and noise-induced hearing loss", *Ear Hear* 11(4):257-263, 1990.
- [14] Norsk Lovtidend, "Forskrift om vern mot støy på arbeidsplassen", <http://www.lovdatab.no/ltavd1/filer/sf-20060426-0456.html>, 2006.
- [15] Norsk Lovtidend, "FOR 2005-12-16 nr 1567: Forskrift om unntak fra arbeidsmiljøloven for visse typer arbeid og arbeidstakergrupper", <http://www.lovdatab.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20051216-1567.html>, 2005.

- [16] Office of Public Sector Information, "Statutory Instrument 2005 No. 1643 - The Control of Noise at Work Regulations 2005", <http://www.opsi.gov.uk/si/si2005/20051643.htm>, 2005.
- [17] W. Hamby, "Ultimate Sound Pressure Level Decibel Table", <http://www.makeitlouder.com/Decibel%20Level%20Chart.txt>, 2004.
- [18] Norsonic AS, "Kortfattet norsk bruksanvisning nor131/nor132 - Lydnivåmåler", Norsonic AS, 2006.
- [19] Norsonic AS, "Nor130 series of Sound Level Meters", <http://www.norsonic.com/index.php?sideID=691&ledd2=411&ledd1=99>, 2008.
- [20] SRI International – Speech@SRI, "Software Development Kits - DynaSpeak®", <http://www.speechsri.com/products/dynaspeak.shtml#tech>, 2008.
- [21] B. Valås, "Finnes det helseskadelige vibrasjoner i Forsvarets beltegående kjøretøy?", Forsvarets bedriftshelsetjeneste Indre Østland, 2007, unntatt offentlighet.
- [22] B. Valås, "Måling av vibrasjoner i Forsvarets beltegående kjøretøy, barmarksmålinger foretatt juni 2007", Forsvarets bedriftshelsetjeneste Indre Østland, 2007, unntatt offentlighet.
- [23] Omega Engineering, Inc., "Introduction to Accelerometers", <http://www.omega.com/prodinfo/accelerometers.html>, 2008.
- [24] Dimension Engineering LLC., "A beginner's guide to accelerometers", <http://www.dimensionengineering.com/accelerometers.htm>, 2008.
- [25] W. H. Connon III, "The Origin of the Composite Wheeled Vehicle, Two-Wheeled Trailer, and Tracked Vehicle Vibration Schedules in MIL-STD-810D/E", US Army Aberdeen test Center, 1997.