

Sammendrag

Handpan er et nytt instrument av metall som spilles med hendene, og er nært beslektet med karibiske steelpans. Et gjennomgående rykte i instrumentets interessegruppe sier at handpan er et komplekst instrument det er vanskelig å gjøre lydopptak av. Dette skal undersøkes i denne oppgaven ved å gjøre akustiske målinger av en handpan i ekkofritt rom, og deretter gjøre lydopptak av samme instrument i studio, basert på de akustiske målingene.

Oppgaven presenterer metoden for en direktivetsmåling rundt instrumentet i horisontal akse med 36° oppløsning mellom målemikrofonene, og hvordan data fra målingene blir bearbeidet i Matlab for å konstruere polardiagrammer av instrumentets avstråling. Deretter blir polardiagrammene benyttet som et hjelpemiddel i studio for å finne gode plasseringer for mikrofoner, samtidig med subjektiv utprøving av forskjellige mikrofontyper og plassering av disse i vertikal akse.

Resultatene fra de akustiske målingene viser at instrumentet har en rundstrålende direktivitet i horisontal akse, med antydning til retning for enkelte toners overtoner. Resultatene fra studioopptakene tilsier at de akustiske målingene har vært nyttige for å finne gode mikrofontyper og plasseringer, men at en blanding av slike måleresultater og utprøving basert på subjektiv lytting er det beste for gode råopptak av handpan.

Forord

Å gjennomføre et masterprosjekt er ikke bare bare. Det er mange som fortjener en stor dose takknemlighet fra meg for at denne oppgaven har blitt gjennomført. Jeg nevner i fleng:

Min veileder Carl Haakon Waadeland, for tett oppfølging helt fra starten av prosjektet og et stort engasjement for arbeidet mitt. Jeg er dypt takknemlig for alle gode samtaler vi har hatt, og for refleksjoner, tips og siste-liten-kommentarer på kapitlene mine. Jeg er heldig som fikk en så inspirerende og positiv veileder!

Jan Tro og Tim Cato Netland ved akustikkavdelingen for uvurderlig hjelp både før, under og etter måleprosjektene i ekkofritt rom. Jeg hadde nok ikke greid det alene!

Studiotekniker Thomas Henriksen for positivt engasjement i prosjektet mitt, for flotte og avgjørende utstyrsforslag og godt samarbeid i studio.

Min mamma Anne Grethe, for å introdusere meg for det artige instrumentet handpan, min pappa Thomas, for synspunkter fra en medmusiker og studioentusiast,

Min kjære, snille samboer Sindre, for irriterende morgendansing så jeg kom meg ut av huset, og vel så mange klemmer og engasjerende ord som jeg trengte,

INNHALDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING	9
1.1	HVORFOR HANDPAN?	9
1.2	UTFØRELSE AV OPPGAVE.....	10
1.3	OPPGAVENS OPPBYGGING.....	11
2	TEORI	13
2.1	HISTORIE OG MILJØ.....	13
2.1.1	<i>Hang-historie</i>	13
2.1.2	<i>Nye produsenter og instrumenter</i>	15
2.1.3	<i>Miljø</i>	16
2.2	AKUSTIKK	17
2.2.1	<i>Vibrasjonsmoder</i>	18
2.2.2	<i>Resonans</i>	18
2.2.3	<i>Strenger, membraner og plater</i>	19
2.3	STEELPANS	20
2.3.1	<i>Konstruksjon</i>	20
2.3.2	<i>Stemming</i>	21
2.3.3	<i>Vibrasjonsmoder og avstråling</i>	21
2.4	FORSKNING PÅ HANG	22
2.4.1	<i>Konstruksjon</i>	23
2.4.2	<i>Stemming</i>	23
2.4.3	<i>Vibrasjonsmoder og avstråling</i>	24
2.5	DIREKTIVITETSMÅLINGER	26
2.6	FFT OG SPEKTRUMANALYSE.....	28
3	TEKNISKE SPESIFIKASJONER FOR MÅLT INSTRUMENT	31
3.1	BESKRIVELSE AV INSTRUMENTET	31
3.2	SPEKTRALT INNHOLD	34
4	MÅL AV INSTRUMENTDIREKTIVITET	37
4.1	METODE	37
4.1.1	<i>Oppsett</i>	37
4.1.2	<i>Bemerkninger om oppsettet</i>	40
4.1.3	<i>Opptak</i>	41
4.2	BEARBEIDING AV DATA	42

4.2.1	<i>Klipping og lagring</i>	42
4.2.2	<i>Matlab-koding</i>	43
4.3	RESULTATER.....	46
4.3.1	<i>Spektrum</i>	46
4.3.2	<i>Polardiagram</i>	48
5	OPPTAKSTEKNIKKER I STUDIO	53
5.1	PILOTOPPTAK 16. MAI 2015.....	53
5.2	STUDIOOPPTAK BASERT PÅ POLARDIAGRAM, 6. APRIL 2016.....	54
5.2.1	<i>Anvendelse av polardiagram til mikrofonplassering</i>	55
5.2.2	<i>Utfordringer/hva må tas hensyn til</i>	56
5.3	MIKROFONVALG.....	57
5.3.1	<i>Ehrlund EHR-M, cardioid, stereopar</i>	57
5.3.2	<i>Neumann USM 69, blumlein</i>	57
5.3.3	<i>AKG C414 B-ULS, omni</i>	58
5.3.4	<i>DPA 4006-TL, omni, stereopar</i>	58
5.3.5	<i>Neumann TLM 49, cardioid</i>	59
5.4	MIKROFONPLASSERINGER.....	59
5.4.1	<i>Ehrlund</i>	59
5.4.2	<i>DPA</i>	60
5.4.3	<i>AKG C414 B-ULS</i>	60
5.4.4	<i>Andre mikrofoner</i>	61
5.5	BEARBEIDING AV OPPTAK.....	62
5.6	OPPSUMMERING AV STUDIOSESJON.....	63
6	DISKUSJON OG KONKLUSJON	65
6.1	MÅLING OG LYTTING – HVA ER BEST?.....	65
6.2	VIDERE ARBEID MED HANDPAN.....	66
6.3	OPPSUMMERING OG KONKLUSJON.....	67
	KILDER	69
	APPENDIX A – SPEKTRUMPLOTT	73
	APPENDIX B – POLARDIAGRAMMER, ALLE OVERTONER	79
	APPENDIX C – POLARDIAGRAMMER, HARMONISKE OVERTONER	89
	APPENDIX D – MATLAB-KODER	99
	<i>Sjekk_lengde.m</i>	99

<i>peaklist.m</i>	101
<i>peaklist2.m</i>	103
<i>findamp.m</i>	109
<i>spektrum.m</i>	111
<i>polardb.m</i>	112
<i>sjekklengde.m</i>	117
<i>Kontrlkode_findamp2.m</i>	119
<i>Kontrlkode_gjsnitt.m</i>	121
<i>Kontrlkode_polarplott.m</i>	123
VEDLEGG: LYD-CD	127

1 Innledning

Å oppdage nye instrumenter kan i enkelte tilfeller være magisk. Som musikkteknologistudent er det ikke ofte man får mulighet til dette, spesielt ikke noe som er ulikt noe man har sett eller hørt tidligere. Instrumentet handpan ble presentert for meg av min mor sommeren 2014. Hun hadde hørt det blitt spilt på en strand på øya Naxos i Hellas, og kom hjem fra denne ferien og fortalte om sitt møte med dette underlige instrumentet. Hun fortalte at det hadde en slags guddommelig klang som hun aldri hadde hørt før, som bredte seg rolig utover stranden. Hun sa hun måtte snu seg og lete litt for å finne utøveren utøveren som spilte, og hun beskrev instrumentet som en flyvende tallerken av metall. Da vi etter hvert fant ut hva instrumentet het og fant en innspilling av det, syntes hun ikke at innspillingen rettferdiggjorde hvordan instrumentet høstes ut på ordentlig. Dette gjorde meg interessert; det måtte jo være noe spesielt ved instrumentet, - og er det virkelig vanskelig å gjøre gode lydopptak av det?

1.1 Hvorfor handpan?

Handpan er et nytt musikkinstrument av metall, konstruert for første gang i år 2000 av en sveitsisk produsent av steeldrums. Det originale instrumentet heter Hang (se Figur 1.1), mens det mer generelle begrepet ”handpan” ble funnet opp og tatt i bruk etter at navnet ”Hang” ble patentert. Instrumentet er sammensatt av to halvkuleformede skjell, med stemte tonefelt på oversiden og et resonanshull på undersiden. Tonefeltene er stemt med utgangspunkt i pentatone skalaer, som gjør instrumentet lett og engasjerende å spille på. En handpan skal, som navnet tilsier, spilles på med hendene, et nytt fenomen for instrumenter av metall.



Figur 1.1: PANArt Hang, sett ovenfra og nedenfra. (Rossing, Morrison, Hansen, Shärer, & Rohner, 2007)

Handpan har fått en økt interesse på verdensbasis det siste tiåret, som har ført til en økning av produsenter. Det finnes i dag mange forskjellige typer av instrumentet, med ulike utforminger, materiale og stemminger. Likevel har det blitt gjort lite forskning på handpan. Enkelte studier av det originale instrumentet Hang har blitt gjennomført av fysikeren Thomas D. Rossing, men så langt finnes det ingen utgitt forskning på noen av de andre handpan-instrumentene som finnes. Som student ved musikkteknologi ønsker jeg å bidra til økt kunnskap om handpan ved å undersøke lydavstråling fra et instrument laget av en ganske ny produsent, og ta dette med meg videre i studio for å gjøre gode opptak av det. Det er i handpan-verden et utbredt rykte om at instrumenttypen handpan er veldig kompleks, og derfor vanskelig å gjøre lydopptak av. Gjennom denne masteroppgaven spør jeg dermed: Er det egentlig det?

Denne oppgaven vil ha et blandet fokus på forskning i fagområdene akustikk og lydopptak i studio. Konsise resultater fra akustiske målinger blir tatt med videre til kreative og kunstneriske anvendelser av disse ved innspilling av handpan i studio. Min bakgrunn som student ved musikkteknologi har gitt meg grunnleggende kunnskap om musikkakustikk og studiobruk, og min interesse for musikk og utøving fra både kulturskole, videregående skole og folkehøgskole ligger til grunn for mitt ønske om å bruke forskning til kunstneriske formål. En blanding av objektiv kunnskap og subjektive meninger skal dermed hjelpe meg å oppnå målet med denne oppgaven: Å utarbeide teknikker for best mulig opptak av handpan.

1.2 Utførelse av oppgave

Handpan er et spennende instrument, som potensielt kan brukes til forskning på mange områder innenfor både akustikk og musikkteknologi. En avgrensning av innhold er derfor kritisk, og oppgaven fokuserer dermed på opptak av *solo* handpan i et tørt studio, med bakgrunn i direktivitetmålinger i horisontal akse i ekkofritt rom. For et godt sluttresultat i studio, er gode råopptak det aller viktigste. Dermed vil dette også være hovedmålet for resultatene. Oppgaven gjennomføres i tre praktiske hovedfaser som underveis har vært avhengige av hverandre:

- a. Pilotopptak av handpan i studio *før* de akustiske målingene, for å teste mikrofontyper og plasseringer, og få et innledende, subjektivt inntrykk av mulige opptaksmåter.
- b. Mål av instrumentdirektivitet i ekkofritt rom, for å finne avstrålingsnivå rundt instrumentet og konstruere polarplott som tas med videre til studio.
- c. Opptak av handpan i studio, med forslag til plasseringer og mikrofontyper på bakgrunn av målingene, og erfaringene fra pilotopptakene.

1.3 Oppgavens oppbygging

- Kapittel 2 går igjennom grunnleggende teori for oppgaven. Kapitlet setter instrumentet i en historisk og sosial kontekst, og forklarer hvordan en handpan fungerer på bakgrunn av akustiske prinsipper. Videre presenteres forskning på steeldrums og originale Hang-instrumenter gjort av Thomas D. Rossing.
- Kapittel 3 presenterer instrumentet som brukes videre i målinger og studioinnspillinger. Her blir instrumentet beskrevet så detaljrikt som mulig både med tanke på konstruksjon og spektralt innhold, og begreper som brukes videre om instrumentet blir forklart.
- Kapittel 4 beskriver målingene gjort i ekkofritt rom. Metode for utføring av målingene, samt bearbeidingen av disse i Audacity og Matlab, blir gjennomgått. Resultatene i form av spekterplott og polardiagrammer blir også vist og forklart.
- Kapittel 5 går igjennom alt arbeid som har blitt gjort i studio, både pilotopptakene og hovedopptakene. Mikrofoner og plasseringer blir forklart og presentert med henvisninger til lytteeksempler på vedlagt CD.
- Kapittel 6 oppsummerer arbeidet med en diskusjon rundt arbeidsmetoden og en konklusjon.

2 Teori

Handpan er historisk sett et veldig nytt instrument, som det ennå ikke finnes mye utgitt stoff om. For å forstå hvordan instrumentet fungerer, er det viktig å konkretisere hvor det kommer fra og hvilke teoretiske prinsipper som ligger bak dets konstruksjon. Av det som finnes av forskning på handpan-instrumenter, er det den amerikanske fysikeren Thomas D. Rossing som har bidratt mest. Han har tidligere utgitt flere bøker om musikkakustikk som brukes som kilder i denne oppgaven, med mye forskning på blant annet steelpans, og dessuten vært i direkte samarbeid med utvikleren av Hang, det første instrumentet av typen handpan. Rossings forskning vil dermed være sentral i presentasjon av teorien her.

I dette kapitlet om handpan-teori skal jeg dermed kort plassere instrumentet i en historisk kontekst, forklare hvordan det fungerer med bakgrunn i akustikk, og presentere teorien bak metodene jeg skal bruke videre i analyse av instrumentet.

2.1 Historie og miljø

2.1.1 Hang-historie

For å se hvordan handpan-instrumentene har blitt til, må vi se på opphavet til originalen, Hang.

Det sveitsiske instrumentmakerselskapet PANArt Hangbau AG, bestående av Felix Rohner og Sabina Schärer, har siden 1993 jobbet med distribusjon og produksjon av steelpan-instrumenter fra Tobago og Trinidad, etter en stor forespørsel om dette fra det daværende og voksende steelband-miljøet i Sveits (Rohner & Schärer, 2007).

Steelpans, eller steel drums, kommer originalt fra de karibiske øyene Trinidad og Tobago. Instrumentet ble utviklet i kjølvannet av andre verdenskrig, da den britiske marinen etterlot seg tusener av tomme oljetønner (55 gallon, ca. 208,2 liter størrelse) på strendene deres (Rossing, Moore, & Wheeler, 2014, s. 301–302). Dette ble råmateriale for en ny type instrument, som har blitt utviklet og videre eksperimentert med, deriblant av PANArt.



Figur 2.1: PANG-instrumenter utarbeidet av PANArt, med to hanghang nederst i bildet og steel pans i forskjellige variasjoner til høyre og venstre. (Rohner & Schärer, 2007)

Mye eksperimentering med forskjellige typer stål og behandlingen av disse, gjorde at de fant opp en ny type overflatebehandlet stål med høyt innhold av nitrogen (nå patentert PANG Composite). Dette ekstra harde materialet gjorde det mulig å skape nye former og nye instrumenter med god og holdbar kvalitet og klang (Rohner & Schärer, 2007). En samling av disse instrumentene kan sees i Figur 2.1.

I år 2000 fikk de en forespørsel fra en perkusjonist om et resonnerende instrument som kunne spilles med hendene som en ghatam, et vaseformet perkusjonsinstrument av leire fra Sør-India (Krishnaswami, 1971). For å oppnå dette begynte de å sette sammen to steelpan-halvkuler til en sfære, en toppdel med tonefelt som kunne spilles på med hendene, og en underdel med hull for resonans. Denne prototypen ble i største laget, og senere versjoner ble redusert i diameter fra 60 til 50 centimeter, slik at det gikk an å ha instrumentet på fanget. Dette førte til en reduksjon i antall toner som kunne benyttes, med mindre plass til tonefelt, så kromatiske skalaer ble utelukket. Dette gjorde at de måtte begynne å eksperimentere med musikalske skalaer å stemme instrumentene etter. Instrumentet fikk navnet ”Hang”, som på sveitsisk Bern-dialekt betyr hånd (Rohner & Schärer, 2007).



Figur 2.2: Hangfamilien: Ghatam, prototype 1 og tre generasjoner Hang (Paschko, 2007).

Det nye instrumentet Hang kan vi se i tre versjoner i Figur 2.2. Instrumentets topptone fikk navnet ”ding”, som også ble en samlet betegnelse på hele overdelen av instrumentet, og resonanshullet under fikk navnet ”gu”. Hang er i Figur 2.2 vist i tre generasjoner fra 2005 (fra høyre), 2006 og 2007. De to nyere instrumentene har blitt børstet med messing i produksjonsfasen (Paschko, 2007). Produksjon av Hang blir nærmere forklart senere i dette kapittelet.

PANArt har per dags dato sluttet å produsere Hang, men fortsetter med forskning på å lage instrumenter med PANG-materialet. De har blant annet laget et instrument som heter Gubal, som har tatt utgangspunkt i Hang-layout med stemte toner, men har plassert resonanshullet på toppen der hvor ding-tonen er på en Hang, og laget en Helmholtz-resonator på undersiden av instrumentet for å få et instrument med dypere bass (PANArt, 2014).

2.1.2 Nye produsenter og instrumenter

Etter at forespørselen etter Hang økte, begynte flere produsenter å lage sine egne instrumenter inspirert av PANArt. En av de første produsentene som begynte å lage instrumenter under navnet ”handpan” var Pantheon Steel fra USA i 2006. Også disse har bakgrunn i å lage steelpans, og har blitt inspirert av PANArt og Hang til å lage sine egne instrumenter med egne materialer og stemninger, og instrumentene fikk navnet Halo Handpan (Pantheon Steel, udatert-a, udatert-c). Spanske BELLArt begynte i 2009 å produsere sine Bells-instrumenter («¿Que es el BELLS?», udatert), Metal Sounds fra Frankrike har siden 2011 produsert og

distribuert sine Spacedrum-instrumenter, senere også med en litt større modell i kromatisk skala. («Introduction and manufacturing of Spacedrum», udatert). Det er spesielt mange instrument-produsenter i Italia, deriblant Vision Instruments litt utenfor Torino. De har laget instrumentet som skal måles og brukes i studio videre i denne oppgaven (Circhirillo, Lorenzo, udatert), og får en nærmere beskrivelse i kapittel 3.

I dag finnes det mange flere produsenter av handpan-instrumenter, som har sine egne skalavariasjoner og produksjonsmetoder («HANDPAN MAKERS around the world», udatert). Mange av disse produsentene har bakgrunn i steelpanproduksjon, siden dette gir et godt grunnlag for både forming av instrumentene og teknikken for å stemme dem. Dette gåes nærmere inn på videre i kapittelet.

2.1.3 Miljø

Handpan har gått fra å være et nisje-instrument som få har hørt om, til å ha sine egne små samfunn og omgangskretser hvor folk samles med instrumentet som en felles interesse. Instrumentet er lett å spille og lett å like, og har dermed fått en økende interesse verden over. Spillemiljøet har jeg enda ikke fått oppleve selv, siden det er så få som spiller det her til lands, men det finnes mye informasjon på internett om hvordan mennesker deler sin interesse for handpan. Intervjuer med handpan-spillere hadde vært optimalt for å kunne dokumentere miljøet bedre, men tar i dette tilfelle noe fokus bort fra hovedpoenget med oppgaven og retter den mer mot et studie i sosiologi. En liten innføring i handpan-samfunnet er likevel praktisk for å sette instrumentet i en sosial kontekst, og for å vise hvordan instrumentet brukes.

Siden antall handpan-produsenter har økt de siste årene, har det oppstått samlings-enerter mange steder i verden. En av de største og mest kjente av disse heter HangOut USA, og er en sommerfestival hvor handpan-interesserte tar med telt og instrument for å treffe likesinnede og delta på workshops med kjente handpan-artister og –produsenter. I tillegg til dette er det program for healing-sesjoner, massasjeerapi og sjamanpraktisering («HangOut, USA», 2016). Dette kan gi en liten pekepinn på hvordan spillemiljøet ofte er knyttet sammen med alternativ kultur, og kan i grove trekk minne litt om hippie-bevegelsen på 70-tallet. (Det eneste jeg har kunnet erfare selv angående dette, er en nokså sterkt lukt av røkelse og hasj som satt igjen i bag'en instrumentet mitt kom med. Dette er jo ikke en bekreftelse, men kan si litt om hvilken atmosfære instrumentet mitt ble til i.) Flere slike festivaler finnes også flere

steder i Europa, f.eks. i Østerrike («GRIASDI», 2016) og Frankrike («HandPan Festival», udatert), og mange andre steder («Upcoming Events», udatert).

En tydelig tendens i handpan-samspill er at instrumentet brukes mye i verdensmusikk-sammenhenger, ofte sammen med didgeridoo, tabla-trommer, trefløyter og andre perkusjonsinstrumenter som darbouka og daf i forskjellige ensembler. Noen eksempler på slike ensembler er Nadishana-Kuckhermann-Metz Trio, som blander handpan med elektrisk bass og forskjellige typer ”etniske” fløyter og perkusjon (Nadishana, udatert), og den japanske duoen Matsumoto Zoku, som bruker mange forskjellige handpans, perkusjon, didgeridoo og beatboxing («MATSUMOTO ZOKU», udatert). Flere slike typer ensembler kommer også opp i søkerresultatene på Youtube og andre nettsteder for musikk og video.

Det finnes mange nettressurser hvor man kan finne informasjon om instrumenter, eventer og konserter. Et viktig eksempel her er forumet Handpan.org («HandPan.org», udatert), som ofte havner øverst i resultatlista når man gjør internettsøk på nett om handpan. Her kan man snakke om instrumenttyper, instrumentlaging, spilleteknikker, utstyr og konserter, og dele video og lydopptak av egne prestasjoner. Forumet dekker det meste som har med handpans å gjøre, enten det er spilling for meditasjon eller tekniske spørsmål om overtonestemming. PANArt har også egne infosider om sine instrumenter med publiserte artikler og ordlister («Articles», udatert, «Hang Library», udatert).

2.2 Akustikk

Selv om handpan er et ganske nytt instrument, har det røtter tilbake til noen av de eldste musikkinstrumentene vi kjenner til. Disse var basert på gjenstander som resonerer naturlig ved å slå, riste, eller skrape på dem. Skrapte instrumenter kunne f.eks. være rillete skjell, bein, stein eller tre man skrapte på med pinner og lignende, og de tidligste trommene kunne være hule trestammer og lignende gjenstander med naturlig resonanskasse. Disse kategoriseres som forskjellige typer idiofoner, som senere ble utviklet til trommer med membraner av dyreskinn som kunne slås på med hendene eller stikker. De tidligste skrapeinstrumentene har blitt sporet helt tilbake til steinalderen, funnet på både de amerikanske kontinentene og i Afrika (Rossing, 2000, s. 2–3). For å forstå hvordan en handpan fungerer, kan vi se på hvordan strenger, membraner og plater i dagens perkusjonsinstrumenter vibrerer og produserer lyd.

2.2.1 Vibrasjonsmoder

Musikkinstrumenter har vibrasjonsmoder som definerer instrumentets overtoner og frekvensspekter, altså hvordan instrumentet vibrerer og lager svingninger i luften. Felles for alle vibrerende systemer er at de har en svingnings-/vibrasjonsperiode i tid, og en kraft som utligner vibrasjonssystemet tilbake i balanse (bringer kilden tilbake til utgangsposisjon) (Rossing mfl., 2014, s. 26). Vibrasjoner kan foregå som transversale (tverrgående) eller longitudinelle (langsgående) bevegelser. Strenger og membraner har for det meste transversale vibrasjoner, mens blåseinstrumenters lyd består av longitudinelle vibrasjoner (Rossing mfl., 2014, s. 32).

Vibrasjonsmoder kan visualiseres på flere måter, f.eks. med Chladni-mønster på membraner og plater. Instrumentet blir da eksitert med sinustoner i forskjellige frekvenser, samtidig som sand eller salt drysses over platen som skal måles. Da er det mulig å se vibrasjonsmodene som et mønster med noder og antinoder, hvor sanden samler seg i nodene, der hvor det er lite energi, og ruller av antinodene hvor bevegelsene er store (Rossing mfl., 2014, s. 207). Disse går også an å se ved en metode som heter holografisk interferometri (holographic interferometry på engelsk), hvor platen trigges med sinustoner, og laser brukes til å detektere forskjeller i vibrasjonsamplituden til platen, og dermed vise hvor nodelinjene befinner seg som endringer i fargetoner på en skjerm (Rossing mfl., 2014, s. 209).

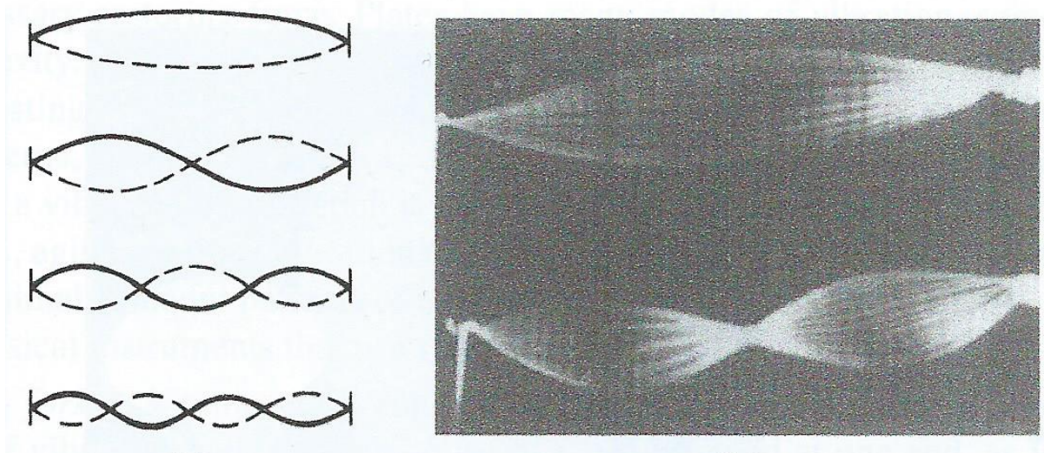
2.2.2 Resonans

Et vibrerende system lager sjelden lyd av seg selv, det trenger en kraft som får systemet til å vibrere i sine naturlige frekvenser. Denne kraften øker amplituden til systemet, og får det til å resonere. Dette skjer når systemet eksiteres med en frekvens som er tilnærmet lik en av deltonene den er stemt i, som gjør svingningene i systemet større og dermed produserer en større amplitude. En streng trenger eksitasjon fra en bue eller finger, og en resonanskasse som kan forsterke de stående bølgene som skapes av eksitasjonen. De stående bølgene er normale vibrasjonsmoder som vibrasjonssystemet er stemt i, altså grunnfrekvens og overtoner.

Resonanskassen til strykeinstrumenter kan beskrives som en Helmholtz-resonator, som i tillegg til å forsterke de stående bølgene fra strengene har en egen frekvens den resonerer i. (Rossing mfl., 2014, s. 64–76) En handpan har også en resonerende kasse med resonanshull, og dermed også en Helmholtz-frekvens som gir en dyp klang til instrumentet.

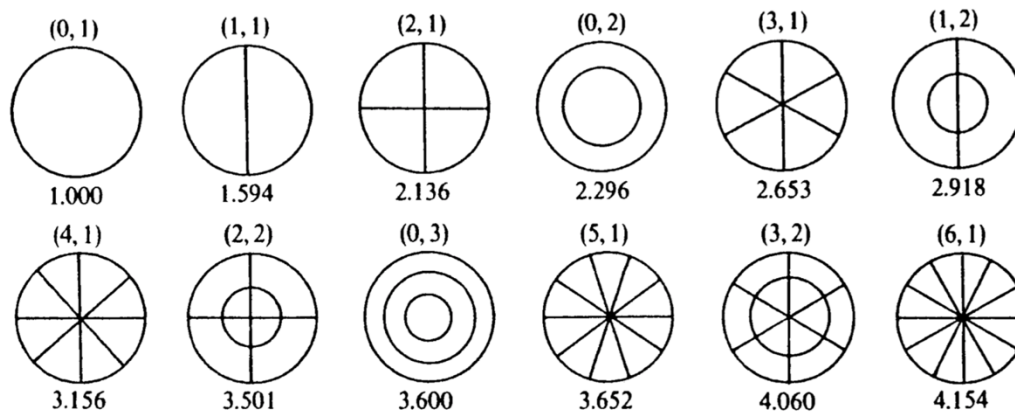
2.2.3 Strenger, membraner og plater

En streng på f.eks. en gitar eller cello, har en viss tykkelse, lengde, massetetthet og spenn, som bestemmer hvordan den vibrerer og dermed lager lyd. En streng har vibrasjonsmoder som for det meste er heltallsmultipla av grunnfrekvensen, som vi derfor kaller harmoniske overtoner (Rossing mfl., 2014, s. 35). Membraner kan ifølge Rossing beskrives som en slags todimensjonal streng, som kan stemmes ved å øke eller minske spennet til membranen. Vibrasjonsmodene til et membran består av sirkulære og radielle noder, som fører til at mange av overtonene vil være inharmoniske (Rossing mfl., 2014, s. 35–36).



Figur 2.3: Vibrasjonsmoder til en streng. (Rossing mfl., 2014, s. 35)

En plate har nodelinjer som ligner en membran, men returnerer til balansepunkt ved hjelp av stivheten til materialet den er laget av (Rossing mfl., 2014, s. 37). Den trenger altså ikke noen kraft som holder den fast, og kan resonere av seg selv. Plater kan dermed ha meget komplekse moder og inharmoniske overtoner, og har forskjellige moder og nodemønster hvis den vibrerer fritt, sammenlignet med å være festet i kantene (Rossing, 2000, s. 79–81). Cymbaler, tam-tam og gonger er instrumenter som bruker vibrerende plater (Rossing mfl., 2014, s. 37).



Figur 2.4: Vibrasjonsmoder for runde plater og membraner. Tallet over viser radielle m-noder og sirkulære n-noder (m, n). Tallet under er forholdet mellom frekvens for gjeldende mode og grunnfrekvensen (Rossing, Thomas D., 2001).

2.3 Steelpans

Siden karibiske steelpans er handpan'ens originale utspring skal jeg her forklare hvordan de blir laget, stemt og analysert.

2.3.1 Konstruksjon

En steelpan blir laget ved å ta deler av en 55-gallon oljetønne, og hamre bunnen til en konkav helning, som en grunn skål. Denne prosessen kalles "sinking", eller senkning av bunnen. En del av kanten rundt blir beholdt som en baffel for å hindre tonekansellasjon mellom topp og bunn, den avstråler også en del lyd i seg selv. Deretter risses det inn områder i bunnen hvor tonefeltene skal være, som siden blir hamret opp og ned for å myke opp metallet. Metallet blir dermed varmet opp, for å heve frekvens og hardhet i metallet til hver tone. Siste steg før stemming er mer hurtig hammerarbeid på hver tone, som flater ut og strammer opp toneområdet (Rossing, 2000).

Produksjon av steelpans er stadig i utvikling, og det finnes flere metoder for å lage disse instrumentene i dag. Et eksempel er PANArts Felix Rohner, som ikke former bunnen med senkning, men med maskinelt press, også kalt "deep drawing", og øker overflatehardheten til metallet ved hjelp av en nitreringsprosess i høy temperatur (Rossing, Thomas D., Hansen, Uwe J., & Hampton, Scott D., 2000). Dette er en metode som både gjør stemmingen enklere og mer holdbar over tid, og er en teknikk som har blitt tatt med videre til utviklingen av Hang.

2.3.2 Stemming

Når en steelpan stemmes, blir toneområdet først hamret litt opp fra baksiden for å skape en tonehøyde, og dermed forsiktig opp og ned for å finne riktig tone. Grunnfrekvensen heves ved å gjøre tonefeltet mer konvekst fra baksiden, og senkes ved å slå på tonefeltets overside.

Rillene rundt toneområdene blir strammet til med hammer, slik at tonen er så isolert til sitt felt som mulig. Når grunnfrekvensen har blitt stemt, blir det også stemt minst én harmonisk overtone til hvert tonefelt, og to hvis toneområdet er stort nok, til tredje eller fjerde overtone alt etter hvilken klang man ønsker (Rossing, 2000, s. 109).

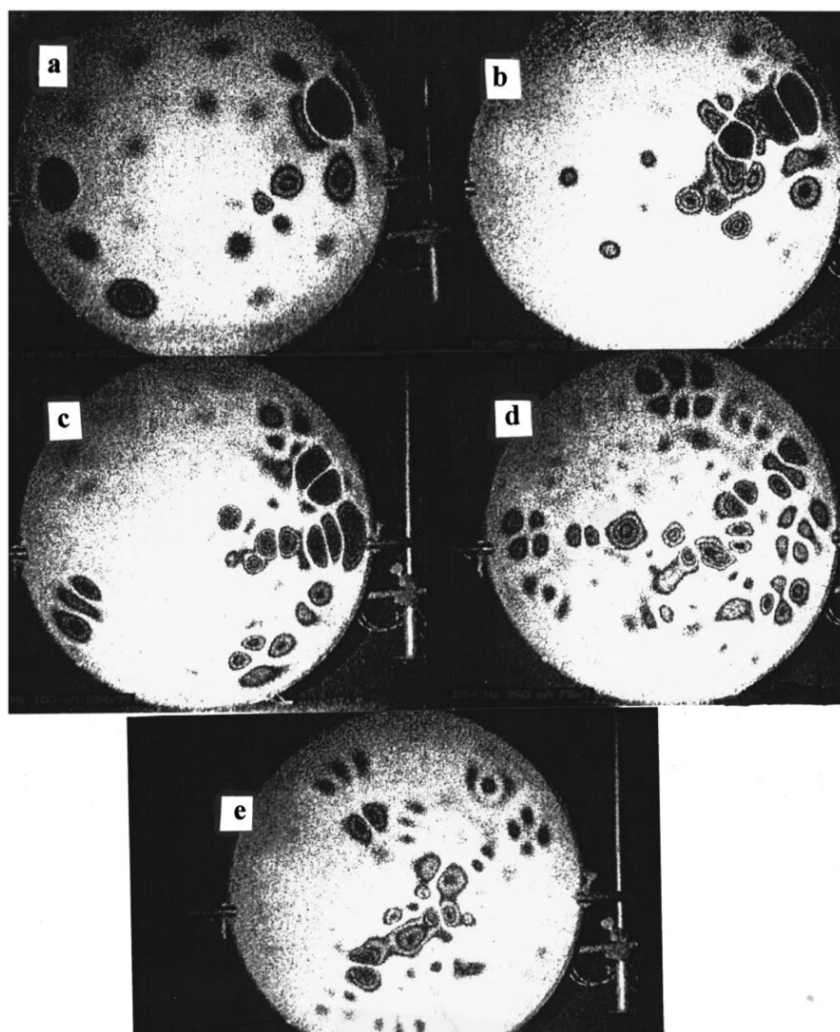
Instrumentene finnes i mange variasjoner, med alt fra 3 til 32 toner per instrument.

Bassinstrumentene har gjerne tre eller fire toner, da et større tonefelt vil gi en dypere tone. En som spiller bass-pan i et steelband har som regel flere instrumenter for et større register med toner å velge i, omtrent som en paukespiller. Tenorinstrumentene kan ha mellom 26 og 32 toner, og spiller ofte hovedmelodiene i et steelband. I mellom disse finnes det mange typer med mellomregister som cello- og gitar-pans, som gjerne spilles i par eller tre. En steelpan spilles ved å slå toneområdene med stikker som har blitt surret inn med gummipakning. Størrelsen på stikkene er avhengig av størrelsen på tonefeltene til hvert instrument, så bassinstrumentene som har større tonefelt blir slått med stikker med større og mykere gummitupp (Rossing, 2000, s. 107–109).

2.3.3 Vibrasjonsmoder og avstråling

Thomas D. Rossing har publisert en god del forskning på steelpans, både som artikler og som kapitler i *Science of Sound* (Rossing mfl., 2014) og *Science of Percussion Instruments* (Rossing, 2000).

Steelpan beskrives i *Science of Percussion Instruments* med såkalte *normale* vibrasjonsmoder, dvs. egenfrekvenser. Dette betyr at hele instrumentet kan eksiteres med sinustoner med bestemte frekvenser som får hele instrumentet til å vibrere. Vibrasjonene vil være større for områdene hvor tonen er stemt til denne frekvensen som en overtone eller grunnfrekvens, og disse vil vise seg som noder ved observasjon, f.eks. ved holografisk interferometri (Rossing, 2000, s. 109).



Figur 2.5: Vibrasjonsmoder til en Alexis tenorpan, eksitert med toner på (a): 522 Hz, (b): 1050 Hz, (c): 1421 Hz, (d): 2064 Hz, (e): 2184 Hz (Rossing, Thomas D. mfl., 2000).

2.4 Forskning på Hang

Til tross for disse instrumentenes relativt korte levetid, har det likevel blitt gjort litt forskning på hvordan de fungerer akustisk. De eneste offisielle artiklene som har blitt skrevet om handpan, og da hovedsakelig de originale Hang-instrumentene, har blitt gjort av Thomas D. Rossing. Han har vært i direkte samarbeid med Felix Rohner og Sabina Shärer, samt Uwe Hansen og Andrew Morrison, og skrevet artikkler om akustikken til Hang.

Rossing har fulgt PANArt ganske lenge og vært i samarbeid med dem fra før hang-instrumentene ble til. Som vist tidligere har han forsket på noen av deres steelpans og sammenlignet deres konstruksjon og materiale med andre instrumenter. PANArts metode med å lage små forhøyninger i sine tonefelt for forbedret lyd kvalitet og et fast punkt å slå på, har

blitt beskrevet kort i *Science of Percussion Instruments* (Rossing, 2000, s. 126), under navnet ”ping”. Hang ble også presentert i *Acoustic Science and Technology* i 2004 (Rossing, Yee, & Morrison, 2004), i en oppdateringsartikkel om nye funn og forskning gjort på perkusjonsinstrumenter. Rossing medvirket også i den offisielle dokumentarfilmen om PANArt og Hang (hangblog, 2006), hvor han hjelper dem med forskning på noder i toneområdet rundt ding, og hvordan de kan videreutvikle instrumentene sine.

2.4.1 Konstruksjon

I artikkelen ”History, Development and Tuning of the Hang” (Rohner & Schärer, 2007), beskrives hvordan en Hang blir laget på følgende måte: To runde stålplater blir bøyd til to halvkuleformede skjell i en prosess som kalles for ”deep drawing”, hvor metallplaten blir presset ut til en bestemt form i en maskinpresse. Spilleoverflaten, eller overdelen, av instrumentet heter ”ding”, og undersiden med resonanshull heter ”gu”. Disse blir så satt i en ovn med ammoniakk-atmosfære for en nitreringsprosess for å herde stålet, i 600°C i opptil flere timer. Denne prosessen gjør at det kommer nitrogen inn i metallet og lager et tynt og hardt overflatelag (Almar-Næss, 2016). Etter avkjøling av disse blir ding-siden børstet med en messingbørste for å gjøre overflaten mer spillevennlig, og syv små, ovale kupler blir formet med hammer i en ring rundt midten. Deretter blir ding-siden av instrumentet varmet opp i en kiln (tørr-ovn) på 400°C og sakte kjølt ned, for å herde materiale ytterligere og gjøre det klart for videre stemming. Etter stemmingen av toneområdene og resonanshullet blir de to sidene festet sammen med en fugemasse av polymerer, og klemmes sammen slik i et par dager før en messingring festes rundt kanten. De får et lag med olje på spilleoverflaten, før instrumentet finstemmes med hammer. Etter to uker blir instrumentet finstemt igjen før det får et serienummer og signatur av makerne (Rohner & Schärer, 2007).

2.4.2 Stemming

Den mest komplekse delen av å lage en hang er stemmingen. PANArt selv beskriver det som en egen kunst med mange parameter som må samhandle med hverandre, og at man som hangstemmer må finne sin egen stil og måte å stemme på (Rohner & Schärer, 2007).

Stemmingen av ding-siden foregår ved å sette skjellet godt fast i en ramme, og hamre områdene rundt kuplene på begge sider, til de får rett form og stivhet. Stemmeren bruker sand

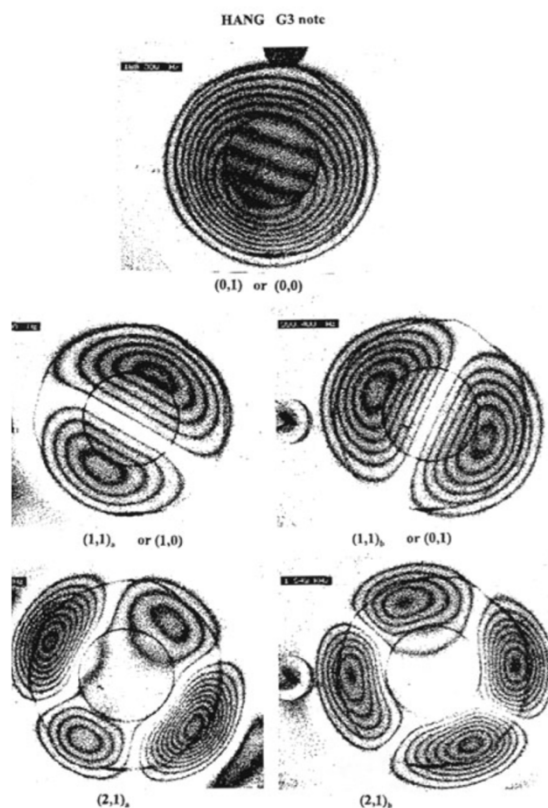
på toneområdet mens det hamres for å finne de rette vibrasjonsmodene, og en kompleks stemmemaskin for å få forholdene rett, men aller mest bruker de egne ører til å peile seg inn på rette toner og overtoner (hangblog, 2006). Hvert tonefelt stemmes i overtoneforhold 1:2:3, altså grunnfrekvens, oktav og kvint over oktav (1, 2 og 3 ganger grunnfrekvens). Etter stemmingen blir skjellet varmet opp til 150°-180°C og stemt på nytt flere ganger, alt etter hvor mye stemmingen forandrer seg mellom hver gang, til stemmingen har stabilisert seg (Rohner & Schärer, 2007).

Stemmingen av gu-siden skjer ved å forme hullet med hammer og stemme dette til en tone som samhandler med de andre tonene på oversiden, ofte en oktav over ding-tonen (Rohner & Schärer, 2007). Denne kanten fungerer som halsen på en Helmholtz-resonator, og ved å endre størrelsen på dette hullet kan man gjøre Helmholtz-frekvensen dypere (Rossing, Morrison, Hansen, Shärer, & Rohner, 2007).

Alle hanghang (hanghang = flertallsform av hang) er stemt med to oktaver: Én til ding-tonen, og én til den første tonen rundt, som regel en kvint over ding. Helmholtz-resonansen ligger en oktav under ding-tonen. Disse tonene er faste, mens resten av tonene kan stemmes slik som stemmeren ønsker (Rohner & Schärer, 2007). Det finnes svært mange forskjellige stemminger og skalaer for hang, de fleste med utgangspunkt i pentatone skalaer.

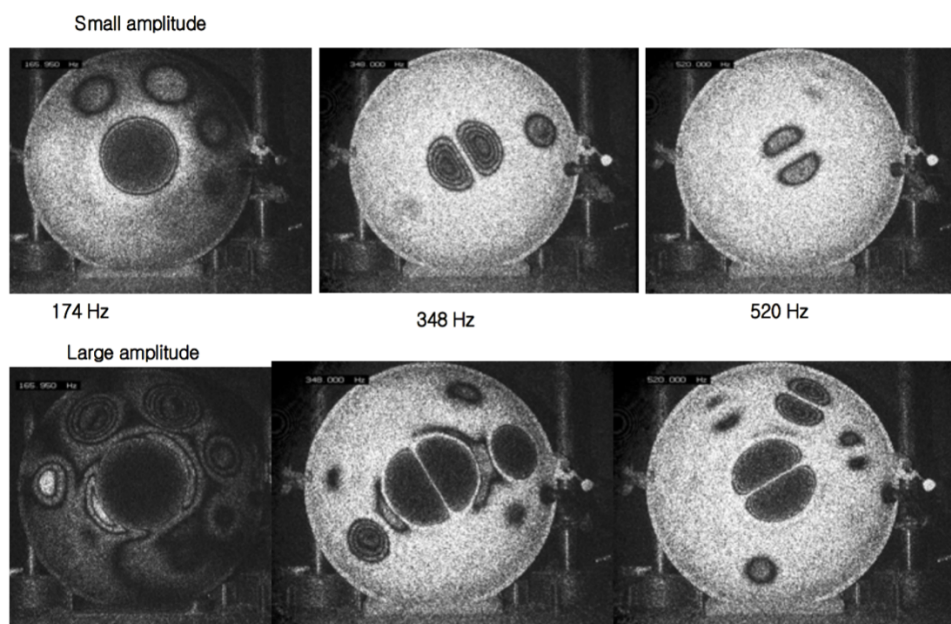
2.4.3 Vibrasjonsmoder og avstråling

Den beste måten å observere vibrasjonsmoder, er å studere dem med holografisk interferometri. Denne metoden har blitt brukt på to hanghang i et forsøk med Rossing mfl. (2007), en high-voice Hang stemt i pentatonisk skala med G3 som grunntone (ding) og en low-voice Hang i Ake Bona-skala med F3 som grunntone. Resultatene fra målingene viser vibrasjonsmodene ganske tydelig, med en sirkulær node ved grunnfrekvensen, og en og to diagonale noder på oktav og kvint når ding eksiteres (Figur 2.6).



Figur 2.6: Vibrasjonsmoder til high-voice hang, ved eksitasjon av ding, G3 (189, 390 og 593 Hz, nært ratio 1:2:3) (Rossing mfl., 2007).

I Figur 2.7 ser vi også hvordan andre toner aktiveres når ding blir eksitert med liten og stor amplitude. Her er forskjellen ganske stor, og kan fortelle oss at spekteret til en tone slått med høy styrke vil bli mer frekvensrikt enn ved lav styrke. Dette er også et viktig poeng når instrumentet skal tas opp i studio, og kan gi en pekepinn på hvordan et polardiagram vil se ut.



Figur 2.7: Vibrasjonsmoder til low-voice hang, ved eksitasjon av ding F3, lav og sterk amplitude (Rossing mfl., 2007).

Disse målingene som har blitt gjort av hang-instrumentene, kan ligne litt på de tidligere forsøkene gjort på steeldrums, med tanke på hvordan hele instrumentet resonerer.

En handpan kan altså sees på som et sett med vibrerende plater, med mange likhetstrekk til steelpans. Instrumentet er derimot noe for seg selv på mange måter, hovedsakelig fordi det har en resonerende kropp i tillegg til egenfrekvenser. Det er heller ikke så mange instrumenter laget av metall som skal spilles på med hendene i stedet for med stikker og klubber, dermed er det et instrument det er svært interessant og relevant å forske videre på.

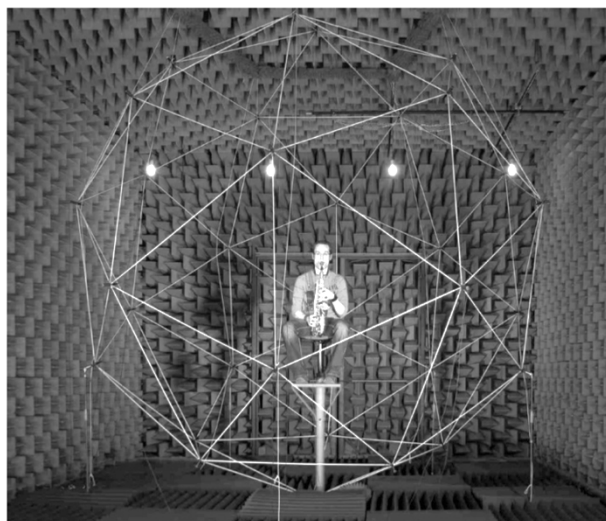
2.5 Direktivitetsmålinger

De fleste musikkinstrumenter har avstrålingsmønstre som er ulik i forskjellige retninger. Dette betyr at amplituden til instrumentets lyd er sterkere i enkelte retninger, ofte med bakgrunn i instrumentets utforming, resonans og eksitasjon. Disse forskjellene i avstråling kalles for retningskarakteristikker (Meyer, 2009, s. 129).

Måling av retningskarakteristikk til et instrument kan gjøres ved å gjøre opptak i ekkofritt rom, med flere mikrofoner rundt instrumentet som gjør opptak samtidig. Jürgen Meyer er en av dem som har gjort mest direktivitetsforskning på instrumenter, og har samlet mange av målingene han har gjort i boken "Acoustics and the Performance of Music" (Meyer, 2009).

Her tar han for seg instrumenter brukt i et vanlig symfoniorkester, altså strykeinstrumenter, treblåseinstrumenter, messingblåseinstrumenter, flygel, harpe, sangstemmen og enkelte perkusjonsinstrumenter, og beskriver deres tonekarakteristikk og retningskarakteristikk.

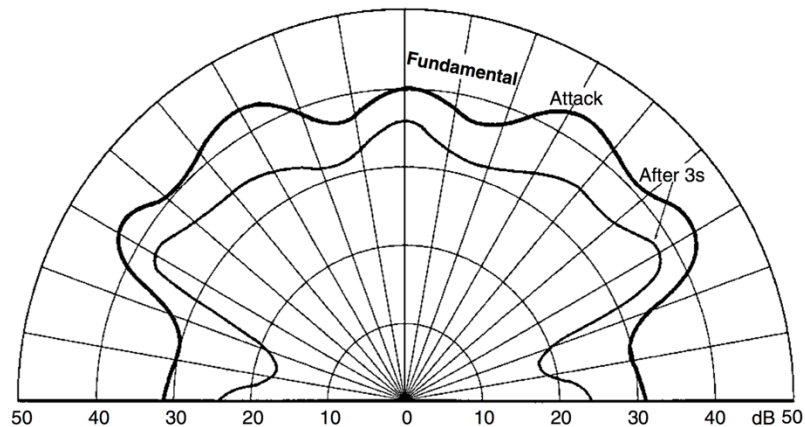
Flere andre har gjort målinger av instrumenters direktivitet. Felipe Otondo og Jens Rindel har målt lydavstråling på klarinett, trompet og horn i ekkofritt rom, med et oppsett på 13 mikrofoner plassert i horisontal og vertikal akse med 45° oppløsning, 1.5 m unna lydkilden. Resultatene ble presentert i polarplott, med både målte verdier og gjennomsnittsverdier for frekvensbåndet 1 kHz (Otondo & Rindel, 2004). Jukka Pätynen og Tapio Lokki målte forskjellige orkesterinstrumenter og en sopran-vokalist i ekkofritt rom med 22 mikrofoner i en dodekahedron-form, hvor 20 utgjorde det geometriske oppsettet, mens to ekstra ble plassert rett foran og rett over senter (Pätynen & Lokki, 2010). Martin Pollow mfl. har målt med et større oppsett: 32 like målemikrofoner satt opp i ekkofritt rom som en sfære med instrument i midten (se Figur 2.8) (Pollow, Behler, & Masiero, 2009). Dette oppsettet hadde en diameter på ca. 4.2 m, og ble brukt til å ta opp 41 forskjellige instrumenters lydstyrke og direktivitet, med mål om å lage en database for retningskarakteristikker og lydstyrke for forskjellige instrumenter (Pollow, Behler, & Schultz, 2010).



Figur 2.8: Sferisk oppsett med 32 mikrofoner. (Pollow mfl., 2009)

Direktivitetsmålinger på perkusjonsinstrumenter er ikke like godt dokumentert som målinger på stryke- og blåseinstrumenter. Meyer viser til noen målinger på trommer og gonger i boken sin (Meyer, 2009, s. 172–175). Her er en skarptromme blitt målt i sine fire første

vibrasjonsmoder med klare karakteristikk etter disse, og en gong stemt i D, hvor polarplottet viser en veldig bølgete linje i sin grunnfrekvens, målt ved anslag og 3 sekunder etter (se Figur 2.9). Handpan, som har flere separate felt med egne vibrasjonsmoder, har så langt ikke blitt målt på denne måten. Dermed vil det bli spennende å se hvordan en slik måling vil se ut videre i denne oppgaven.



Figur 2.9: Gong i D, grunnfrekvens målt ved anslag og 3 sekunder etter. (Meyer, 2009, s. 174)

2.6 FFT og spektrumanalyse

For å analysere resultatene fra direktivitetmålingene av handpan, har jeg brukt spektrumanalyse for å hente ut frekvenser og deres amplitude i de forskjellige retningene. Jeg vil her kort gå igjennom hvordan dette fungerer med Fourier-analyse av opptakene.

Fourier-analyse kan brukes til å analysere komplekse bølgeformer. Matematikeren Joseph Fourier formulerte denne setningen:

”Any periodic waveform, however complicated, can be built up from a series of simple vibrations, whose frequencies are harmonics of a fundamental frequency, by choosing the proper amplitude and phases of these harmonics” (Rossing mfl., 2014, s. 136)

En kompleks tone kan altså tenkes på som en sum av sinustoner som er heltallsmultipla av grunnfrekvensen. Dette vil gi et harmonisk spekter, mens en handpan har mange inharmoniske komponenter i tillegg.

For digitale signaler brukes det DFT, altså Discrete Fourier Transform, som er en måte å oversette et signal fra tidsdomene til frekvensdomene. FFT (Fast Fourier Transform) er en mer effektiv måte å gjøre det på. (Rossing mfl., 2014, s. 641).

Matlab brukes videre som verktøy i oppgaven for å utføre FFT. Med funksjonen `fft.m` er det mulig å kalkulere FFT på lydfiler. Data fra disse kalkuleringene kan brukes til å plote frekvensspekter som grafer, og til å lage lister med amplituder og frekvenser som videre kan brukes til å plote polardiagrammer. Hvordan dette blir utført med koder blir gjennomgått i kapittel 4.

3 Tekniske spesifikasjoner for målt instrument

I dette kapittelet skal jeg presentere instrumentet som brukes videre i oppgaven. Instrumentet ble anskaffet i anledning denne masteroppgaven, og er ett av tilsynelatende få handpan-instrumenter i hele Norge. Å måle flere instrumenter hadde absolutt vært interessant og relevant, men siden instrumenter er litt vanskelig å få tak i, både i Norge og på verdensbasis, vil denne oppgaven fokusere på målinger og opptak av instrumentet som beskrives her. Jeg vil først gå igjennom instrumentets spesifikasjoner og skala, og deretter beskrive instrumentets tonale og spektrale innhold. Ordforklaringer og begreper om instrumentet vil også bli forklart i dette kapittelet.

3.1 Beskrivelse av instrumentet

Instrumentet kommer fra produsenten Vision Instruments, som har hovedkvarter litt utenfor Torino nord i Italia. Jeg har forsøkt å komme i kontakt med dem for å få detaljert informasjon om instrumentets volum, materiale, produksjon og stemmemetode, men har dessverre ikke fått svar fra dem i skrivende stund. Instrumentet vil likevel bli presentert her med den informasjonen jeg nå har tilgjengelig.

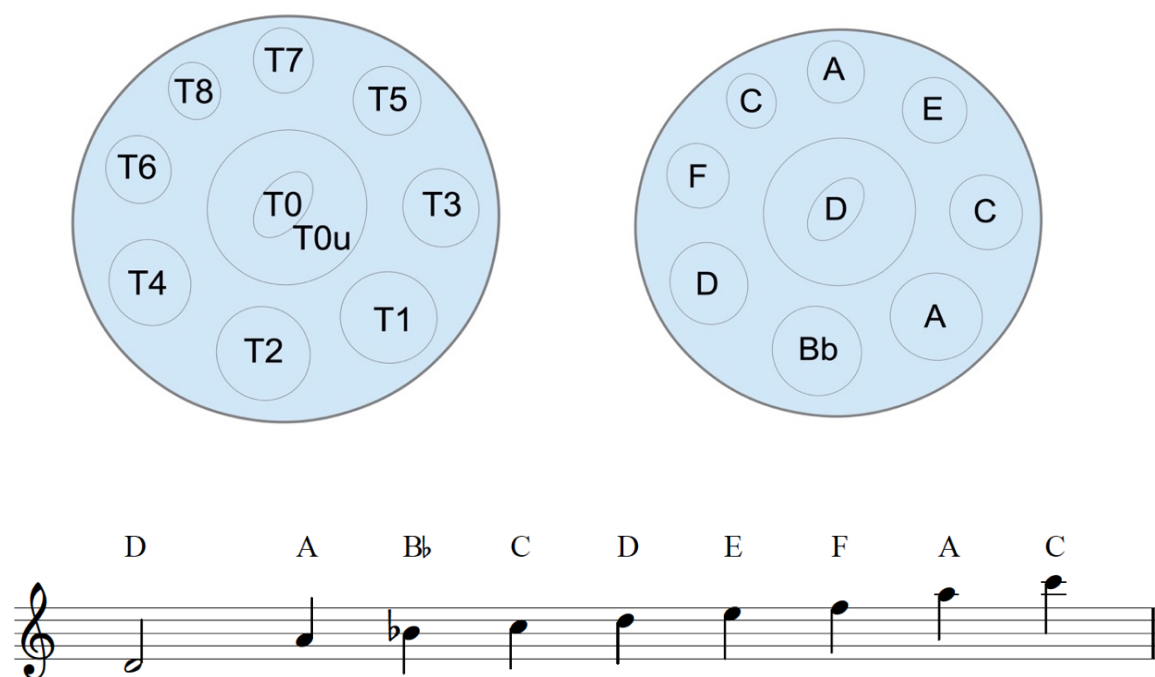


Figur 3.1: Vision Jantya Mantra brukt i målinger og studio. Sett fra siden og nedenifra.



Figur 3.2: Vision Jantya Mantra sett ovenfra.

Modellen heter Vision Jantya Mantra og har 9 toner, stemt i en D-moll skala. Midt-tonen, også kalt ”ding”, er en D, med et kvintsprang opp til neste tone som er en A. Herfra går skalaen i moll opp til F, videre er det store ters-sprang mellom F og de siste tonene A og C. Instrumentet har tre oktavsprang, mellom D, A og C. Instrumentet har også en Helmholtz-resonans som tilsvarer en F# på ca. 92 Hz, altså en liten sekst under ding-tonen. Oversikt over tonenes plassering finnes i Figur 3.3.



Figur 3.3: Tonenummer, tonenavn og notesystem av Vision Jantya Mantra

Instrumentet er laget i herdet stål, med et matt belegg/coating som beskytter mot rust og gir litt motstand til fingrene under spilling. Instrumentet har en diameter på 53 cm, og er 24 cm høyt målt fra instrumentets midtpunkt (Circhirillo, Lorenzo, udatert). Hullet på undersiden av instrumentet, også kalt ”gu”, har en diameter på 9,9 cm på innsiden, kanten heller utover mot en diameter på 13,3 cm, og denne kanten er 3,7 cm høy. Målene på hullet har jeg selv målt med målebånd.

Videre i kapitlene om måling og studio kommer jeg til å referere til tonene på instrumentet med nummer som vist i Tabell 3.1., slik at høy A på instrumentet blir beskrevet som enten ”tone nr. 7”, eller ”T7”. Dette er praktisk for å unngå forvirring mellom hvilken tone det er snakk om, da det er flere toner som har samme tone i ulik oktav. Ding-tonen kan spilles på to måter: enten ved å slå på tonens kuppel, eller ved å slå på området rundt. Samme tonehøyde vil oppleves, men med et ganske forskjellig spekter, som vist i Figur 3.4. Siden disse er så ulike vil de bli behandlet som to forskjellige toner: T0 og T0u (”u” står for ”utsiden” av tonen). Jeg kommer også til å omtale områdene til instrumentet slik:

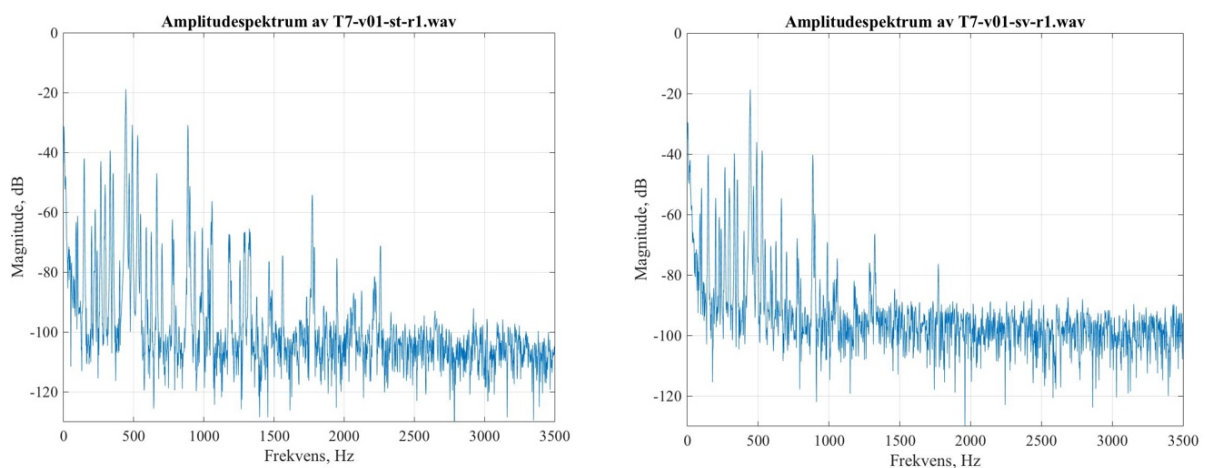
- Diskantdel: Den øvre delen av instrumentet som består av de fire øverste tonene, altså T5, T6, T7 og T8. Denne delen av instrumentet peker fremover, vekk fra utøveren, i alle målinger og studioopptak.
- Bassdel: De dypeste tonene rundt instrumentet, altså T1, T2, T3, og T4. Denne delen peker mot utøveren under alle målinger og studioopptak.
- Midtpunkt: Den midterste tonen ding og tonefeltet rundt denne.
- Undersiden: Hele delen av instrumentet som hviler på utøverens fang under spilling, hvor resonanshullet gu befinner seg.

Tabell 3.1: Tonenummer og tonenavn

D	A	Bb	C	D	E	F	A	C
T0, T0u	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8

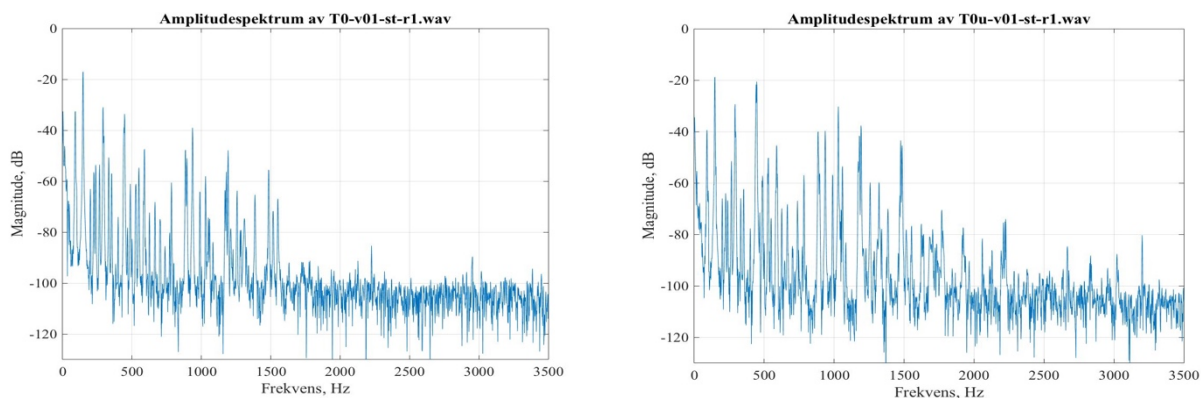
3.2 Spektralt innhold

Instrumentet har et meget rikt frekvensspekter. Spekteret er komplekst og består av både harmoniske og inharmoniske overtoner. Disse kan vi se i Figur 3.4, hvor spekteret til tone nr. 7 vises i både sterkt og svakt leie. De høye toppene som stikker seg mest ut er grunnfrekvensen og de tilnærmede harmoniske overtonene, mens de andre er inharmoniske overtoner, og enkelte overtoner til nærliggende tonefelt som vibrerer sammen med den spilte tonen. Et slag på et bestemt tonefelt trigger gjerne overtoner på andre tonefelt. Vi ser også på plottene nedenfor at spillestyrke/anslagsstyrke har mye å si for spektralt innhold i tonen. Ved å spille sterkt på tonen kommer det betraktelig mye mer av frekvensene over 1500 Hz.



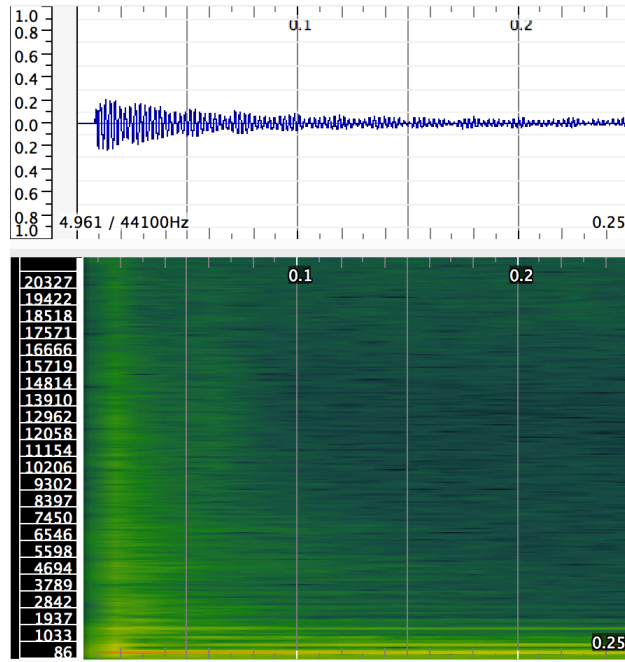
Figur 3.4: Spektrum av tone nr. 7 spilt sterkt og svakt. De høyeste toppene representerer grunntone A (444 Hz), første overtone (A, 886 Hz), andre overtone (ca. E, 1324 Hz), tredje overtone (ca. A, 1772), og en tilnærmet harmonisk topp på 2258 Hz (5,09 ratio ift. 444 Hz)

Hvor på instrumentets tonefelt man spiller kan også ha mye å si for spekteret. Som tidligere nevnt kan ding-tonen spilles på to måter, med ganske store forskjeller i spekterinnhold. Dette kan vi se i Figur 3.5, hvor plottet til venstre viser spekteret når man spiller på tonens kuppel, og plottet til høyre hvordan det blir hvis man slår på utsiden av kuppelen, på tonefeltet. På disse plottene er det også mulig å se Helmholtz-resonansen (92 Hz) rett til venstre for den høyeste frekvenstoppen, den som representerer grunnfrekvensen til tonen ding (148 Hz).

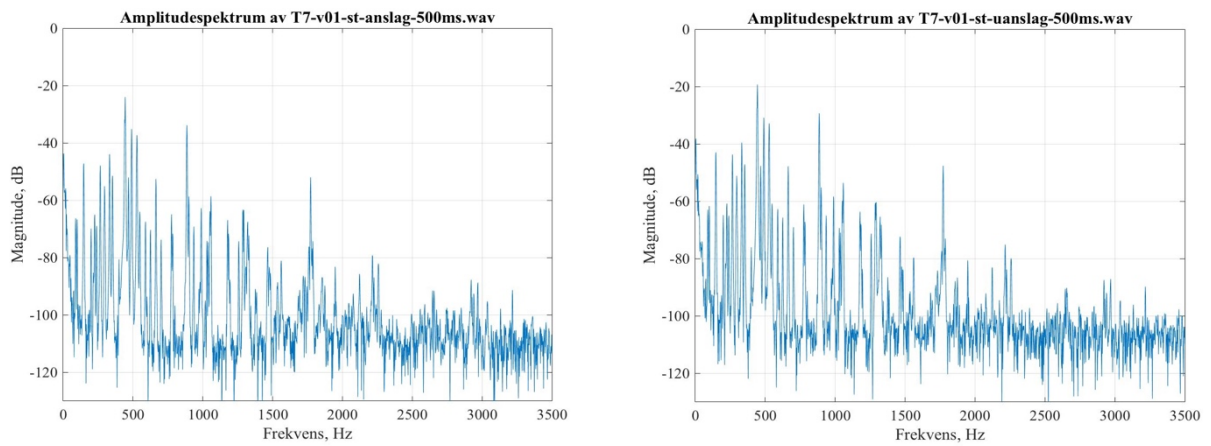


Figur 3.5: Spektrum av T0 og T0u spilt sterkt.

Anslaget til en tone på handpan har en karakteristikk som kan ligne på støy. Dette kan vi se i Figur 3.6, hvor et utsnitt av en tone har blitt presentert som et spektrogram. For lytteopplevelsen kan anslagstransientene ha mye å si for å identifisere instrumentet (Rossing mfl., 2014, s. 144–145), men kan virke forstyrrende hvis målet er å analysere overtonespekteret til instrumentet. I Figur 3.7 vises spekteret av en tone på handpan (samme tone som i Figur 3.6) med og uten anslag, hvor sistnevnte har anslaget kuttet av til 30 ms etter start. Overtonene er stort sett de samme, men spekteret ser litt mer stabilt og flatere ut etter ca. 2000 Hz. Dette har ikke nødvendigvis så mye å si for målingenes resultat, men for et mer stabilt spekter blir anslagene kuttet av i bearbeidingen av måleopptakene, for å unngå eventuelle forstyrrende frekvenser. Det er grunntoner og overtoner som er de mest interessante komponentene i denne akustiske analysen av instrumentet, dermed er dette enklere å bearbeide når anslaget tas bort og kun den klingene lyden fra instrumentet henger igjen.



Figur 3.6: Bølgeform og spektrogram av T7, 0.25 sekund utsnitt.



Figur 3.7 Spekter av T7 med (venstre) og uten (høyre) anslag. Anslag er klippet av 30 ms etter tonens start.

4 Mål av instrumentdirektivitet

Mål av av instrumentdirektivitet har vært en stor og avgjørende del av denne masteroppgaven. Med god hjelp fra førsteamanuensis Jan Tro og avdelingsingeniør Tim Cato Netland fra Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, fikk jeg mulighet til å gjøre en lydavstrålingsmåling av handpan i ekkofritt rom på akustikkavdelingen på Gløshaugen, som videre kunne brukes til arbeid i studio. Spillingen måtte jeg stå for selv, men slik var det også lettere å ha kontroll på hva som skulle spilles. Målet her var å måle instrumentets lydnivå i forskjellige frekvensområder i horisontal akse rundt instrumentet, og bruke disse dataene til å lage polardiagrammer som viser instrumentets direktivitet. I dette kapittelet skal jeg presentere hvordan jeg har gått frem med målingene i ekkofritt rom, og hvordan jeg har bearbeidet data for å konstruere polardiagrammer i Matlab.

4.1 Metode

Tidligere dokumenterte forsøk med lydavstrålingsmålinger (se kapittel 2.6) har blitt gjort i mye større skala, med mål om å lage databaser for instrumentdirektivitet som f.eks. skal kunne brukes til simulering av romakustikk (Otondo & Rindel, 2004) eller til å finne optimale orkesteroppsett (Meyer, 2009). De tidligere målingene har blitt gjort med mikrofonoppsett som dekker instrumentet i mange akser, og i større ekkofrie rom enn det som er tilgjengelig i Trondheim. Selv om oppsettet som brukes i dette forsøket er mindre, er fremgangsmåten ganske lik. Toner på instrumentet spilles separat for å få med hele spekteret til instrumentet, som deretter blir tatt gjennomsnitt av og bearbeidet til polardiagrammer.

Direktivitetsmålingene av handpan er inspirert av disse tidligere målingene av Meyer mfl., og har blitt brukt i noen grad for å finne passende mikrofonavstander og fremgangsmåter for målingene.

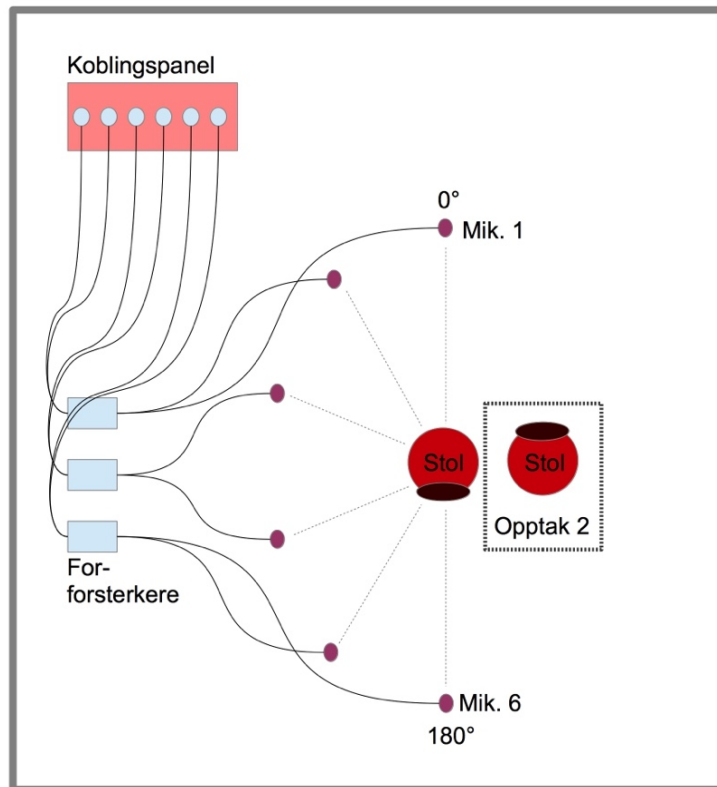
4.1.1 Oppsett

Målingene ble gjort i ekkofritt rom (C128) på Gløshaugen. Rommet er isolert slik at det er tilnærmet helt tørt, slik at målingene kun består av direktelyd fra instrumentet.

For oppsettet var det stolen som ble midtpunkt for målingene. Denne var av typen vendbar kontorstol med justerbar høyde. Dette var praktisk for å få handpan'en til å ligge tilnærmet horisontalt på utøverens fang. Vi fjernet hjulene på stolen, og festet den med plaststrips til rillene i gulvet i ekkofritt rom. Dette sørget for at stolen ikke kunne flyttes på under opptakene, samtidig som den enkelt kunne vendes for nye opptak. Denne teknikken gjorde også at det ikke ble nødvendig å sette stolen på en plate, og vi kunne derfor være sikre på at det ikke ble noen refleksjoner fra gulvet under opptakene.

Vi hadde seks like målemikrofoner til disposisjon av typen Norsinic 1201 med kapsler av typen Brüel & Kjær 4190, og disse ble distribuert i en halvsirkel rundt stolen. Dette ble gjort ved å måle opp seks like lange biter med hyssing som ble festet på undersiden av stolen, på den midterste delen hvor hjulene er festet. Disse var 180 cm lange, og markerte avstand fra stol til mikrofoner. Avstanden i slike målinger bør være litt stor for å kunne måle retningen frekvensene beveger seg i, og 180 cm radius var det vi fikk plass til i ekkofritt rom med seks mikrofoner. Lik avstand mellom trådene ble regnet ut ved å finne omkretsen til halvsirkelen og dele denne på fem, som ble ca. 113 cm, korrigert til 115 cm for å få det helt likt, grunnet mulige avvik i avstandene mellom stol og mikrofon. Mikrofonene ble dermed plassert 180 cm fra stolens midtpunkt, med 115 cm mellomrom. Dette tilsvarer da en 36° oppløsning mellom hver mikrofon. Høyden på alle mikrofonene ble stilt til 100 cm. Denne høyden ble tilpasset til å være litt høyere enn selve instrumentet, slik at mikrofonene tok opp i høyden til tonefeltene, i stedet for kanten rundt.

Mikrofonene ble koblet inn i tre forforsterkere, to mikrofoner i hver. Mikrofon nr. 1 ble vinkel 1 i akse, altså 0° i henhold til instrumentets fremside/diskantdel, på første opptak. Under andre opptak ble stolen vendt 180° (se Figur 4.1) slik at mikrofon nr. 6 representerte 0° . I kontrollrommet utenfor ekkofritt rom koblet vi mikrofonene til lydkortet via koblingspanelets utganger og inn til lydkortet. Dette ble koblet til en bærbar datamaskin med Adobe Audition installert som DAW (Digital Audio Workstation). Oppsett og utstyrliste vises i Figur 4.1 og Tabell 4.1.



Figur 4.1: Oppsett av mikrofoner og annet utstyr i ekkofritt rom. Ruten ved siden av stol beskriver stolens posisjon under opptak 2, vendt 180°.

Tabell 4.1: Liste over utstyr brukt i forsøket

Funksjon:	Type:	Serienummer:
Lydkort	Roland Octa Capture	A7E6781
Forforsterkere	Norsonic 336 Front End	20579 20615 20626
Strømadaptare	Norsonic type 8711 og 8311	
Målemikrofoner	Norsonic type 1201	
Mikrofonkapsler	Brüel & Kjær 4190	
Kabler		

Stativer		
Kalibrator	Brüel & Kjær 4231	226304
Avstandsmåler	Tommestokk	
Programvare	Adobe Audition	

4.1.2 Bemerkninger om oppsettet

Selv om vi gjorde oppsettet så optimalt som mulig med utstyret vi hadde tilgjengelig, har det noen svakheter som må belyses. Først og fremst er det viktig å påpeke at det her er stolen som er i sentrum, som gjør at instrumentet er litt nærmere mikrofon nr. 1 enn de andre mikrofonene på første opptak, og mikrofon nr. 6 i andre opptak. Dette fører til en liten tidsforskyvning på ca. 3-4 ms mellom anslagene mellom mikrofon nr. 1 og 6. At instrumentet ikke er like nært alle mikrofonene kan også bety en liten amplitudforskjell mellom dem, altså at signalet er litt sterkere i de nærmeste mikrofonene. Dette ser ikke ut til å ha hatt innvirkning på resultatene, men er likevel viktig å være klar over.

En optimal måling av et instrument skal helst være uten noen reflekterende overflater eller absorberende materiale i nærheten av instrumentet. Dette gjelder nok også utøveren av instrumentet, selv om det i mange tilfeller ikke er til å unngå at utøveren må være tilstede under opptakene. Her var riktignok målet å få en *realistisk* måling av instrumentet, og da er utøverens plassering og tilstedeværelse bare en naturlig faktor. Alternativet hadde vært mekanisk eksitasjon med robotarm, men dette kunne ha skadet instrumentet, og i tillegg gitt et mindre naturlig resultat med tanke på anslag og klang.

Måling langs flere akser hadde vært gunstig for å dekke hele instrumentets avstråling. Det er ganske sikkert mye spennende informasjon fra instrumentet i vertikal akse som hadde vært praktisk å jobbe videre med i studio. Dette ville dessverre tatt mye mer tid å planlegge og sette opp enn en måling i horisontal akse, men er definitivt noe som bør gjennomføres for videre forskning på instrumentet.

Det er også viktig å nevne at siden det ble gjort to opptaksrunder, kan det være avvik mellom hvordan disse har blitt gjennomført, som igjen kan gi litt forskjellige resultater. Det har blitt

forsøkt å jevne ut disse eventuelle forskjellene ved å regne ut gjennomsnittsamplitude av flere anslag for hver tone under bearbeiding av opptakene.

Det optimale oppsettet for en direktivitetmåling hadde altså vært å ha så mange mikrofoner som mulig rundt instrumentet, i både horisontal, vertikal og diagonal akse, med instrumentet plassert nøyaktig i sentrum. Slik hadde det vært mulig å gjøre ett enkelt opptak med lik input på alle mikrofoner. Likevel har vi fått mye spennende informasjon om instrumentet fra målingene som ble gjort her, som har vært til stor hjelp videre i arbeidet mitt.

4.1.3 Opptak

På grunn av oppsettets konstruksjon måtte opptakene gjøres i to omganger, i to separate opptak. Hvert opptak hadde samme program og varte i omtrent 27 min hver. Utøveren satt i samme posisjon i forhold til mikrofonene under opptakene.

Før opptakene ble instrumentet merket med et stykke rødt limbånd rett foran tone nr. 7, som alltid skulle peke mot mikrofon nr. 1, slik at instrumentet skulle være i samme posisjon under hele opptaket. Opptakene ble gjort i to omganger, slik at utøveren satt med ansikt og instrument vendt mot mikrofon nr. 1 under første opptak, og mot mikrofon nr. 6 under andre opptak. Dermed ble det tilsammen opptak 360 grader i en horisontal sirkel med 36° oppløsning rundt utøveren. Programmet var likt under begge opptakene. Opptakene starter med at en kalibrator blir satt på mikrofon nr. 1 for å markere mikrofonens posisjon, etterfulgt av stillhet før spillingen. For hver nye hendelse ble dette muntlig presentert av utøveren, f.eks. ”Tone 1, svakt” og deretter 10-12 slag på tone 1 i svakt leie. Dette gjaldt for hver tone i svakt og sterkt leie. Opptakene ble avsluttet med sammenhengende skalaspilling på hele instrumentet i både svakt og sterkt leie, for mulig fremtidig bruk og analyse av hele spekteret.

Program for innspilling i ekkofritt rom:

- Hver tone (10 stk.): 10 x svakt, 10 x sterkt. Vent til tonen dør ut mellom hvert anslag.
 - T0: 10 x svakt, 10 x sterkt
 - T0u: 10 x svakt, 10 x sterkt
 - T1: 10 x svakt, 10 x sterkt
 - T2: 10 x svakt, 10 x sterkt
 - T3: 10 x svakt, 10 x sterkt
 - T4: 10 x svakt, 10 x sterkt

- T5: 10 x svakt, 10 x sterkt
- T6: 10 x svakt, 10 x sterkt
- T7: 10 x svakt, 10 x sterkt
- T8: 10 x svakt, 10 x sterkt
- Skala opp og ned:
 - 2xsvakt, 2xsterkt, med T0
 - 2xsvakt, 2xsterkt, med T0u

4.2 Bearbeiding av data

For bearbeiding av datamateriale har Audacity og Matlab blitt benyttet som verktøy. Hovedarbeidet her lå i å dele opp innsamlet data i meningsfulle biter, for så å bruke koding til å hente ut den informasjonen jeg trengte og presentere det på en forståelig måte. I det etterfølgende skal jeg vise hvordan jeg har jobbet med dette.

4.2.1 Klipping og lagring

Grundig redigering av innspilt lydmateriale var nødvendig for å avgrense og definere data som skulle brukes til dataanalysen. Klipping og lagring av lydfile ble gjort i redigeringsprogrammet Audacity. Her ble hvert enkeltslag på instrumentet delt opp i 500 ms, 30 ms etter anslaget. Anslaget til en tone har mye å si for instrumentlydens karakteristik (Meyer, 2009, s. 38–40; Rossing mfl., 2014, s. 144–145). I dette forsøket var det imidlertid det spektrale innholdet i tonene som var interessant, så anslaget ble fjernet for å få et så stabilt spekter som mulig (se kap. 3).

Deretter ble det gjort et utvalg av åtte representative slag for hver tone i både svakt og sterkt leie. Klippene som var mest like hverandre ble lagret i en egen mappe for hver tone, med forkortede navn som informerte om tonenummer, vinkel, styrkegrad og repetisjonsnummer, f.eks. slik: T2_v01_st_r3.wav (tone nr. 2, vinkel 0°, sterkt amplitudeleie, repetisjon/anslag nr. 3). På denne måten fikk hver repetisjon av hver tone sitt eget navn, uten mulighet for videre forveksling.

Tabell 4.2: Liste over vinklene i forsøket.

Navn:	Grader:
V01	0°
V02	36°
V03	72°
V04	108°
V05	144°
V06	180°
V07	-144°
V08	-108°
V09	-72°
V10	-36°

4.2.2 Matlab-koding

For en best mulig presentasjon og bearbeiding av datamateriale har jeg brukt kodeprogrammet Matlab. Målet med bearbeidingen var å plukke ut frekvenstopper fra hver lydfil ved hjelp av FFT og spektrumanalyse, regne ut gjennomsnittsamplitude på frekvenstoppene, og bruke disse verdiene til å lage polardiagram for hver tone. Videre vises en gjennomgang av hvordan data har blitt bearbeidet, og beskrivelser av hver kode og funksjon. Alle koder beskrevet ligger i Appendix.

Feilsøking

Diverse tiltak for feilsøking har blitt gjort for å få like og jevne resultater. Dette var spesielt nødvendig for lengden på lydfilene som skulle analyseres, da enkelte filer ved uhell ble eksportert med mindre eller mer enn 500 ms lengde, og var dermed noen få datapunkter feil i forhold til resten. Dette hadde mye å si for frekvensoppløsningen i FFT-analysen, da metoden

som ble brukt regnet ut denne ifra datapunktmengde, altså lengden på lydfilen. Dermed måtte hver enkeltfil sjekkes for lengdeavvik. For å unngå å måtte gjøre dette manuelt i Audacity, skrev jeg en kode som sjekket alle lydfilene med den eksterne funksjonen `getAllFiles.m`, og `audioinfo`-funksjonen i Matlab. Denne sjekket om hver fil var 0,5000 sek lang, og la filnavnet til alle lydfiler som var større eller mindre enn dette i tekstfilen 'sjekklengde.txt'.

I enkelte koder hvor jeg brukte stier til å spesifisere hvor noe skulle hentes fra eller lagres, har det vært greit å kunne sjekke om koden fant rett sti. Til dette brukte jeg et avsnitt med kode funnet på Matlabs FAQ på deres Wiki-side («FAQ», udatert). Denne leser stien, sjekker om mappen den viser til finnes, og legger ut en popup-beskjed på skjermen om den er feil.

Funksjoner:

- `getAllFiles.m`: Funksjon hentet fra kodeforumet Stack Overflow («How to get all files under a specific directory in MATLAB?», udatert) som lager en liste over alle filer inni en gitt mappe/katalog, også underkataloger.
- `peaklist.m`: Tar i bruk funksjonen `findpeaks.m` fra Matlab sin signalprosesserings-toolbox. `Peaklist.m` tar inn en lydfil og analyserer den med FFT. Deretter spesifiserer den hvor mye av spekteret som skal analyseres, og bruker `findpeaks` til å plukke ut og sortere topper etter størrelse i det avgrensede spekteret. En for-løkke plukker ut et bestemt antall av disse toppene, deretter blir disse igjen sortert etter frekvens. Toppene er i utgangspunktet et sett med posisjoner i matlab-matriser, så her brukes indeksering i frekvens- og amplitudevektorer til å finne frem disse posisjonene så verdiene kan skrives ut til lister. Listene med frekvens og amplitude blir så samlet til en tabell/matrise, som deretter skrives ut til en .txt-fil ved hjelp av Matlabs filhåndtering.
- `peaklist2.m`: Denne funksjonen gjør akkurat det samme som `peaklist.m`, med med frekvensspekteret delt opp i grupper på 500 Hz. Dette er for å få jevn distribusjon av topper gjennom hele spekteret, siden de høyeste toppene i leiet 2000-2500 Hz ikke nødvendigvis er høyere enn de laveste toppene mellom 500 og 1000 Hz. Denne funksjonen tar også hensyn til støy på 100, 200 og 300 Hz, og endrer amplituden på disse frekvensene til -120 dB slik at de ikke blir med i analysen.
- `findamp.m`: Tar inn en lydfil og en vektor med frekvenser som skal analyseres. Bruker samme utgangspunkt som `peaklist.m` med FFT og indeks i frekvens og amplituder, og

bruker denne indekseringen til å finne de bestemte frekvensenes posisjon, og deretter deres amplitude. Output fra denne blir en vektor med amplituder som kan brukes videre i en kontrollkode.

- Spektrum.m: FFT-funksjon. Tar inn en lydfil, analyserer denne med FFT, og skriver ut et bilde av spektrumplottet i .jpg-format, med samme navn som lydfilen.
- Polardb.m: Funksjon delt ut i faget Akustisk Måleteknikk av Bo Peng. Lager polarplott med 0° på toppen, fra -180° til 180° istedet for 360° rundt. Plottefunksjonen er spesifisert for direkte bruk av desibel-verdier, slik at man direkte kan plote inn vektorer med utregnede desibelverdier og hvilken vinkel disse befinner seg i.

Kontrollkoder:

- Sjekk_lengde.m: Kode som sjekker om alle lydfile lydfilene er 500 ms lange med funksjonen getAllFiles.m, sier ifra hvilke filer som ikke er det, og lagrer resultatene i en .txt-fil.
- Kontrollkode_findamp2.m: Inneholder vektorer med frekvenser som skal analyseres for hver tone. Bruker selvskrevet funksjon findamp.m. Koden bruker stier til å finne frem lydfile med spesifiserte navn på en harddisk, og lagrer vektorer med amplituder for hvert anslag (8 for hver tone) som kolonner i en .txt-fil. Dette gjøres for hver tone i både sterkt og svakt, for hver vinkel.
- Kontrollkode_gjsnitt.m: Bruker amplitudelistene fra kontrollkode_findamp2.m og regner ut gjennomsnittet av de 8 forskjellige amplitudene for hver frekvens. Disse lagres som nye .txt-filer som inneholder gjennomsnittsverdiene for de 8 repetisjonene av hver tone, i alle de målte vinklene i kolonner.
- Kontrollkode_polarplott.m: Bruker gjennomsnittslistene fra kontrollkode_gjsnitt.m og funksjonen polardb.m. Koden åpner gjennomsnittsfile og konverterer den til en matrise. Siden matrisen inneholder en frekvenskolonne blir denne fjernet. Hver rad i matrisen representerer en frekvens i alle målte vinkler, og blir tatt ut for å kunne bruke den som egen graf til polardiagram. Alle grafene blir plottet inn i samme diagram ved hjelp av hold-funksjonen i Matlab, med spesifiserte fargekoder for hver linje. Det legges også til en forklaring til plottet (legend), som sier hvilken frekvens hver linje

representerer, samt en tittel som forklarer hvilken tone som presenteres i plottet, og i hvilken styrkegrad ('sterkt' eller 'svakt').

Fremgangsmåte

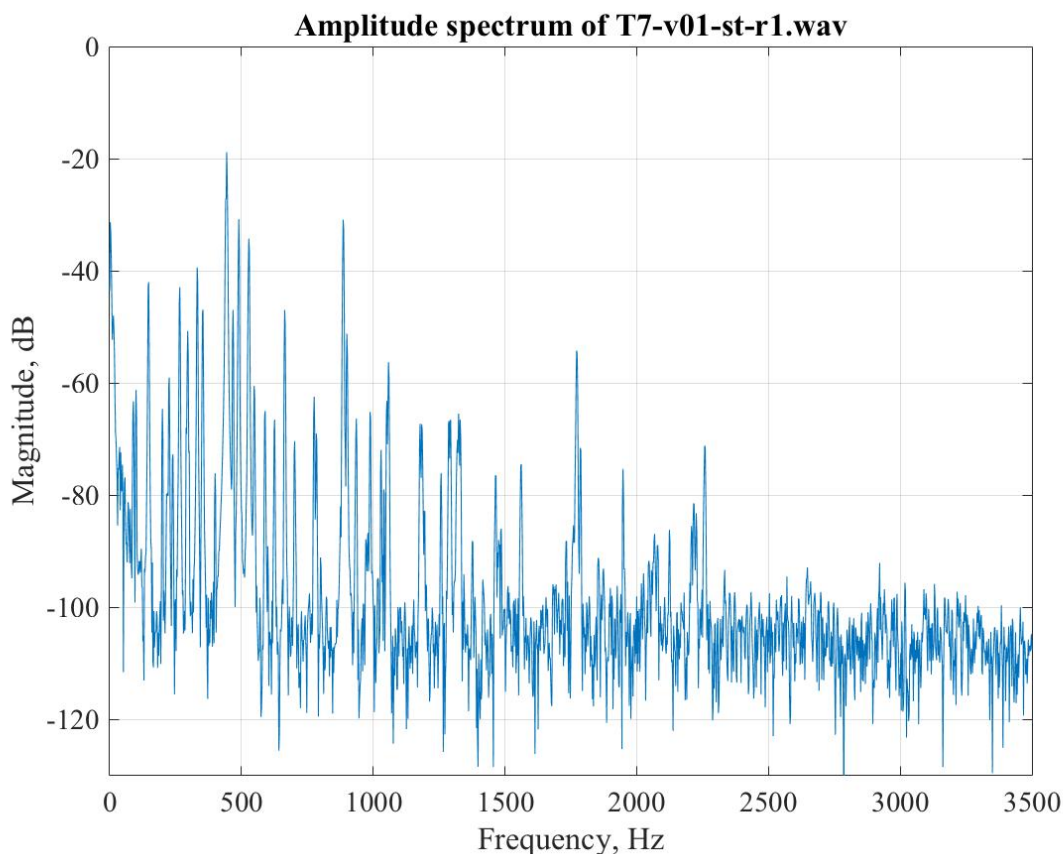
For å lage polardiagram har jeg laget et sett med koder som gjør dette i fire steg:

1. Plukke ut frekvenser. Dette var en blanding av koding og manuell utplukking av frekvensene. Jeg brukte funksjonene `peaklist.m` og `peaklist2.m` som jeg hadde laget selv, til å skrive ut en liste over frekvenstopper i hver tone sitt spekter, som jeg deretter brukte manuelt til å lage lister med frekvenser jeg ville ha med i analysen.
2. Hente ut amplituder fra valgte frekvenser. Her brukte jeg koden `Kontrkode_findamp2.m` og funksjonen `findamp.m` til å ekstrahere amplitudeverdiene til frekvensene jeg hadde valgt ut. I kontrollkoden lagret jeg disse til matriser, som jeg lagret til lister med amplituder for hver tone, vinkel og styrkegrad, tilsammen 200 tekstfiler med data.
3. Regne ut gjennomsnitt. Her brukte jeg koden `Kontrkode_gjsnitt.m` til å regne ut gjennomsnittsamplituden for de åtte slagene på hver tone og laget nye lister for hver tone og styrkegrad, til 20 tekstfiler.
4. Lage polarplott av gjennomsnittsverdier. Her brukte jeg koden `Kontrkode_polarplott.m` og funksjonen `polardb.m` til å generere polardiagrammer for hver tone i både sterkt og svakt leie. Kontrollkoden henter inn info fra listene med gjennomsnittsverdier og gjør om disse til grafer i diagrammene. Disse ble så lagret manuelt i redigeringsmodusen til diagramfiguren.

4.3 Resultater

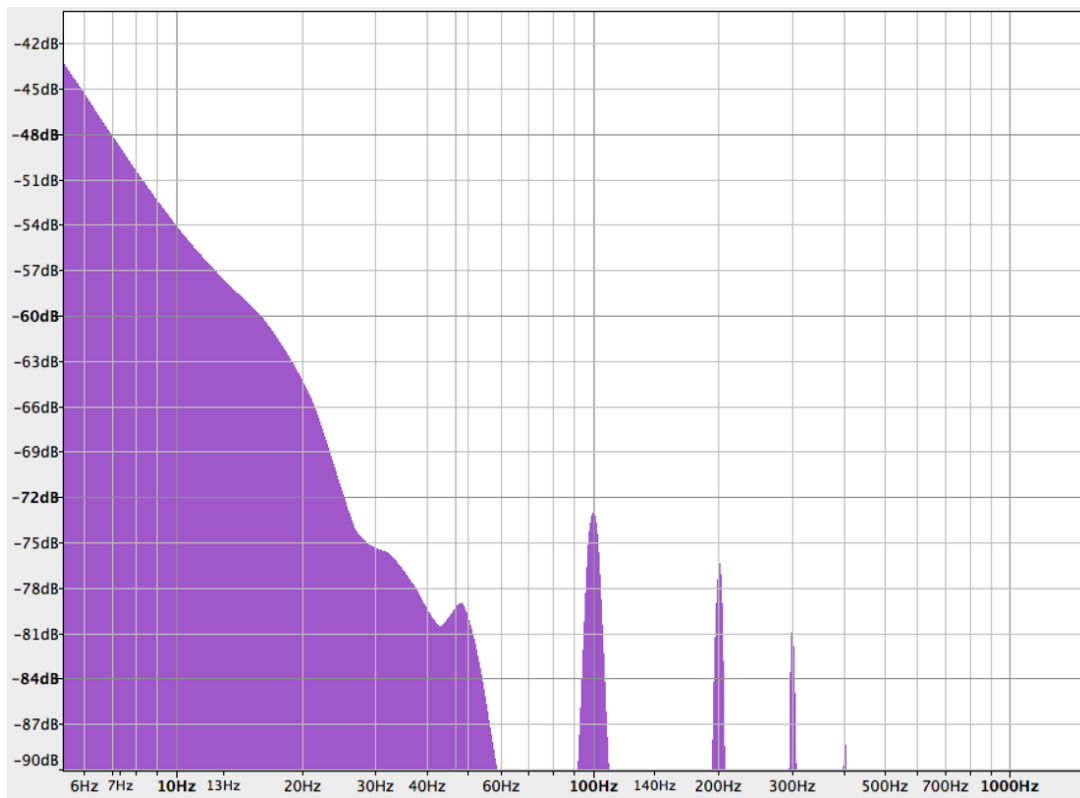
4.3.1 Spektrum

For å få en oversikt over spekteret til hver tone, skrev jeg ut spekterdiagrammer til hver tone i sterkt leie, tatt i 0° . Disse plottene viser frekvenser fra 1-3500 Hz, da det ikke er noen frekvenstopper over dette i noen av tonene. Diagrammet under i Figur 4.2 viser tone nr.7, og resten av spekterplottene ligger i Appendix.



Figur 4.2: Spekter til tone nr. 7 (A, 444 Hz) i sterkt leie, målt i vinkel 1 (0°)

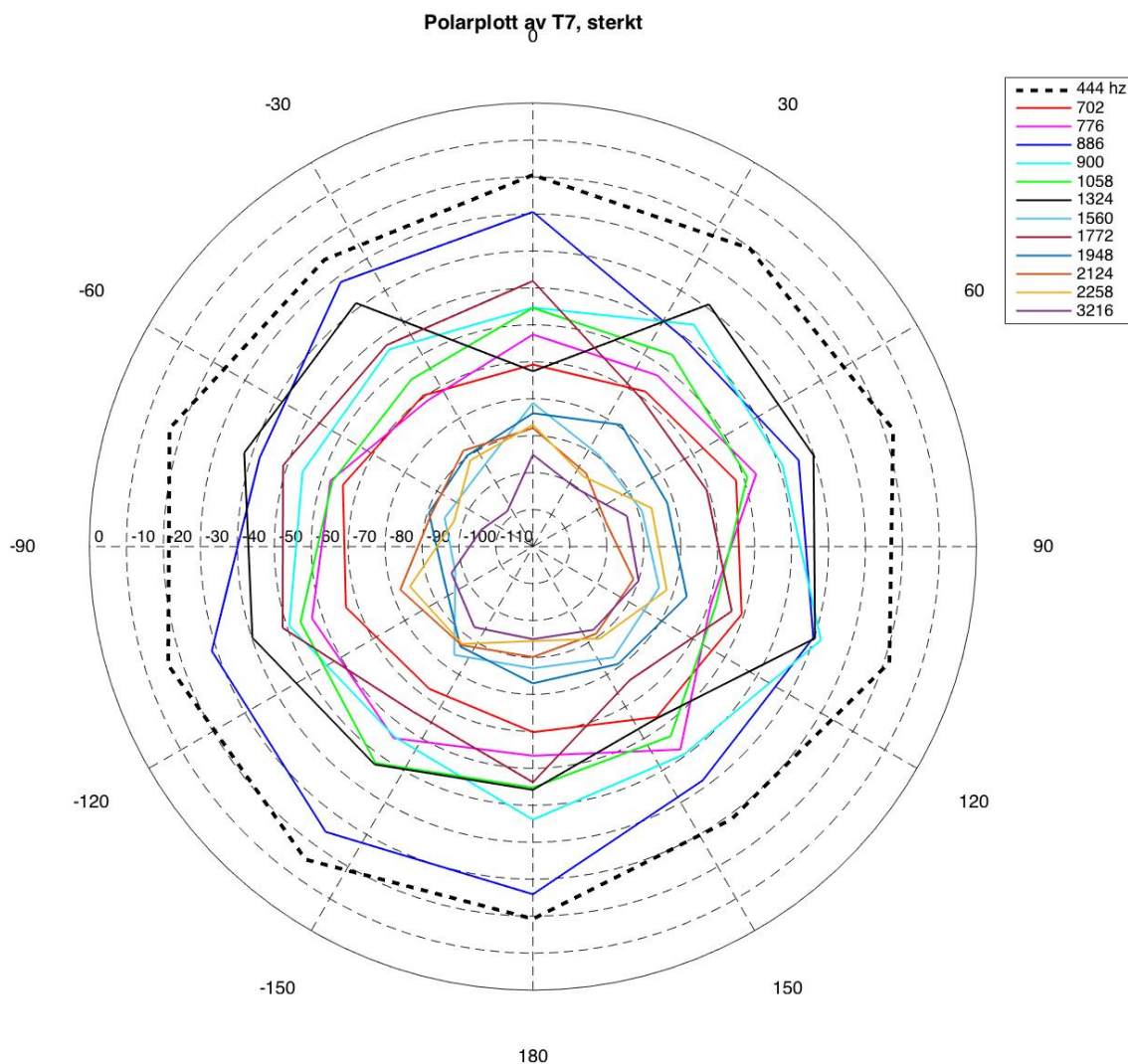
I Figur 4.2 kan vi tydelig se de harmoniske overtonene som de høyeste frekvenstopperne i spekteret (bortsett fra andre overtone som ligger på 1324 Hz, denne blir diskutert videre i kapittel 5.3.2 om polardiagrammene). Under ca. 60-70 Hz ligger det støy som vises på spektrumplottene som frekvenstopper. Det ligger også noen frekvenser med støy i enkelte av mikrofonene, på 100, 200, 300 og 400 Hz. Disse toppene kan sees i Figur 4.3 hvor vi ser spekteret av ca. 3 sek med opptak av stillhet fra mikrofon nr. 1. På grunnlag av dette har jeg i kodene ikke analysert frekvenser under 70 Hz, og utelukket frekvensene rundt 100, 200 og 300 Hz, da det ikke er noen harmoniske overtoner i nærheten av disse frekvensene.



Figur 4.3: Støy og støyfrekvenser fra mikrofon nr. 1. Spektrum tatt i Audacity.

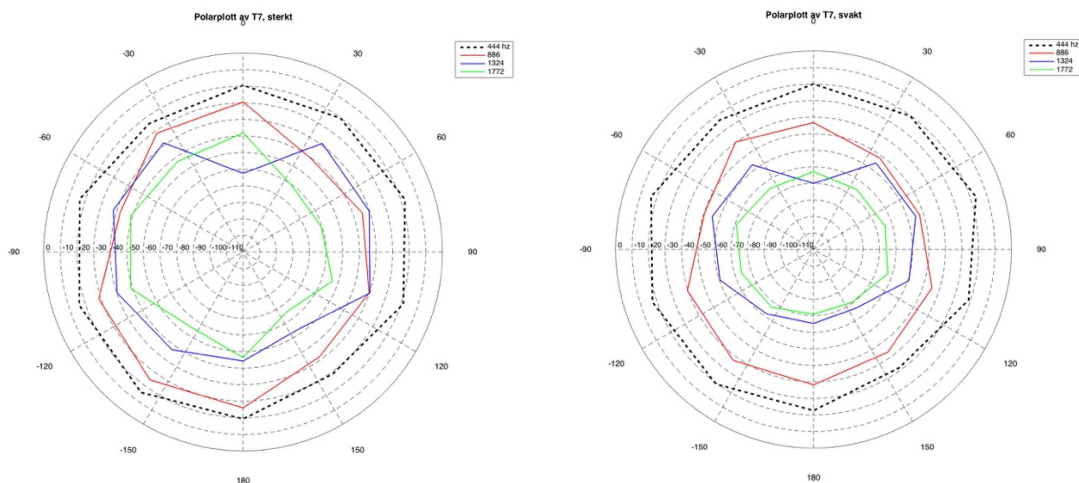
4.3.2 Polardiagram

Polardiagrammene ble som forventet, selv om jeg personlig hadde håpet på litt mer spennende resultater med klare tendenser til direktivitet i bestemte frekvensområder. Handpan er åpenbart et komplekst instrument med et rikt spekter. Instrumentets form, design og materiale gjør at hele instrumentet klinger og resonnerer når det spilles på, som gjør det litt vanskelig å finne tydelige spektrale bevegelsesmønstre. Jeg skal her gå igjennom ett av polardiagrammene i detalj.



Figur 4.4: Polardiagram av tone nr. 7 (A, grunnfrekvens 444 Hz) i sterkt leie.

Figur 4.4 viser tone nr. 7 (A, grunnfrekvens 444Hz) spilt i sterkt leie. Under målingene av instrumentet pekte denne tonen rett frem mot vinkel 1, altså i 0° (jfr, Figur 4.1). Den svarte stiplede linjen ytterst på diagrammet er tonens grunnfrekvens, og er, i likhet med de andre tonenes grunnfrekvens, veldig omnidireksjonell, med omtrent likt amplitudenivå rundt hele instrumentet. De andre linjene viser harmoniske (harmonisk nære) og inharmoniske overtoner. Figur 4.5 viser T7 med kun harmoniske overtoner spilt med sterkt og svakt anslag.



Figur 4.5: Polardiagram av T7 med grunntone og fire harmoniske overtoner, spilt sterkt (venstre) og svakt (høyre). Alle polardiagrammer ligger i Appendix.

Tabellen nedenfor (Tabell 4.3) viser hvilke forhold frekvensene presentert i polardiagrammet har til grunnfrekvensen. Dette forholdstallet får man ved å dele gjeldende frekvens på grunnfrekvensen. Jo nærmere dette tallet er et helt tall, jo nærmere er det til å være en harmonisk overtone, altså et heltalls multipla av grunntonen. Tabellen viser også hvilke frekvenser som er i noenlunde harmoniske forhold til grunntonen f_0 , markert med f_1 , f_2 og f_3 . Det er også disse frekvensene som er mest fremtredende i polardiagrammene, her 886, 1324 og 1772 Hz. I polardiagrammet kan vi se at f_1 har høyest amplitude rett frem og litt ut til venstre, og også litt bakover. Denne er i forhold 2.00 til grunntonen, og mest sannsynlig stemt slik av produsentene. Den andre overtonen f_2 har en litt interessant graf, med en kraftig dip rett frem i 0° . Dette kan være et resultat av instrumentets geometri og tonens plassering. Vi kan se på frekvensens bølgelengde, ved å dele lydhastigheten på frekvens, altså $340/1324 = 25,68\text{cm}$ (Meyer, 2009, s. 5–6). Dette er omtrent halvparten av instrumentets diameter fra innsiden, så det er mulig at det har skjedd en slags kansellering av denne frekvensen akkurat på området hvor tonen ligger, kanskje fra f_0 og f_1 som ligger ganske høyt i nivå i denne retningen. Forskjellen her er også hørbar (CD spor 1). Tredje overtone, f_3 på 1772 Hz, er også høyest fremover og mot venstre, ganske likt f_1 , bare lavere i amplitude. Resten av grafene representerer inharmoniske toppe i spekteret, som er tatt med for å få en jevn dekning av instrumentets spektrale innhold, men ikke er så veldig hørbare. Det er likevel spennende å se hvordan disse høyere frekvensene har en tendens til å ”peke” litt rett frem, noe som går igjen i mange av polardiagrammene. Resten av polardiagrammene finnes i Appendix.

Tabell 4.3: Liste over overtoner, analyserte frekvenser og forholdstall til tone nr. 7.

T7		
	Frekvens f	f/f0
f0	444	1,00
	702	1,58
	776	1,75
f1	886	2,00
	900	2,03
	1058	2,38
f2	1324	2,98
	1560	3,51
f3	1772	3,99
	1948	4,39
	2124	4,78
	2258	5,09
	3216	7,24

Det er mange generelle tendenser som vises i polardiagrammene. Den tydeligste er at grunnfrekvensen til hver tone er veldig rundtstrålende, og er nesten lik i amplitude hele veien rundt. Resten av frekvensene oppfører seg ganske likt, med noen tendenser til retning. På noen toner er f1 og f2 sterkest i amplitude i den retningen som tilsvarer tonefeltets plassering på instrumentet, f.eks. på tone nr. 5. På andre toner går overtonene litt i motsatt retning av tonefeltet, f.eks. på tone nr. 4, hvor f1 og f2 er sterkest ved vinkel 1, 10 og 5 i stedet for vinkel 8 eller 9. Det samme skjer på tone nr. 7, hvor f1 er sterkest ved vinkel 7, i stedet for forventet vinkel 1. Forskjellene er ikke så veldig store, men det er tydelig at handpan kan ha en veldig uforutsigbar avstråling.

5 Opptaksteknikker i studio

I dette kapittelet skal jeg presentere arbeidet jeg har gjort med opptak av handpan i studio. Først går jeg igjennom opptak jeg gjorde før målingene i ekkofritt rom, og deretter beskriver jeg anvendelse av polardiagrammene for å finne optimale opptaksteknikker i studio. Til slutt vil jeg oppsummere hovedtrekk og vise mine forslag for best mulig opptak.

5.1 Pilotopptak 16. mai 2015

Da jeg startet med masteroppgaven tenkte jeg det ville være en god idé å gjøre et opptaksforsøk med handpan, før målingene i ekkofritt. På denne måten kunne jeg gjøre meg opp en foreløpig mening om hva som kunne fungere og ikke, uten å ha en akustisk analyse i bakhodet. Dette gjennomførte jeg i mai 2015, på innspillingsrommet til studio til Musikkteknologi i Fjordgata. Av utstyr brukte jeg egen datamaskin og eget lydkort, med mikrofonene som var tilgjengelige i studio. Som inspirasjon brukte jeg tilnærmede oppsett jeg hadde sett på opptaksvideoer på youtube, og mange har tidligere prøvd å ta opp med én mikrofon rett over topptonen (ding), så dette var en av teknikkene jeg ville teste ut (David Kuckhermann, 2011, 2015; Hang Massive, 2013).

Foreløpig er det ikke så mange spesifikke forslag til hvordan man kan gjøre opptak av handpan. Flere mener dette er veldig vanskelig, siden en handpan har et komplekst spekter med mange overtoner, men Pantheon Steel foreslår å bruke kondensatormikrofoner for å få en bred frekvensrespons med lite støy, og presiserer at plasseringen av mikrofonene er det viktigste (Pantheon Steel, udatert-b; Rohner & Schärer, 2009).

Jeg testet ut følgende mikrofoner og plasseringer:

1. AKG C480b, stereopar, pekende mot diskantdelen av instrumentet, litt ovenfra og ned. Ca. 70 cm fra ding. (CD spor 2)
2. AKG C480b, mono, pekende mot ding ovenfra, ganske nært. Ca. 30 cm fra ding. (CD spor 3)
3. AKG C480b, mono, pekende mot ding ovenfra, litt lengre unna. Ca. 50 cm fra ding. (CD spor 4)

4. AKG c414, mono, pekende mot ding ovenfra, ganske nært.. Ca. 30 cm fra ding. (CD spor 5)
5. AKG c414, mono, pekende mot ding ovenfra, litt lengre unna. Ca. 50 cm fra ding. (CD spor 6)
6. Neumann U87, mono, pekende mot ding ovenfra. Ca. 30 cm fra ding. (CD spor 7)

En av de største utfordringene med opptakene var å finne rett avstand mellom mikrofoner og instrument. Hvis de ble plassert for nært, ble det mye anslagslyder fra hendene og et noe begrenset frekvensinnhold. Hvis de ble plassert for langt unna, ble det en veldig distansert lyd, og litt kaotiske forhold mellom enkelte overtoner.

Membranstørrelse hadde også en god del å si. Stormembranmikrofonene jeg testet her, altså Neumann U87 og AKG c414 hadde en tendens til å fremheve mellomtonene til instrumentet, som ikke rettferdiggjorde instrumentets egentlige klang, som er både dypt og rikt på transienter. Kanskje hadde disse mikrofonene fungert bedre plassert på en annen måte, og kanskje helst som stereopar. Småmembranmikrofonene, her AKG c480b, gav et veldig jevnt og klart opptak, med passelig med mellomtoner og klar topp, men ikke så mye dype frekvenser. For mitt instrument var dette det beste, som gav de beste og mest naturlige opptakene.

På bakgrunn av disse pilotopptakene fant jeg at det definitivt er best med stereoopptak. Småmembranmikrofoner som AKG c480b er ganske flate i respons, og gir dermed en veldig tydelig og klar lyd. Stormembranmikrofonene prøvde jeg dessverre bare i mono. Skal handpan være i fokus, f.eks. i et soloopptak, er det altså best å ha minst to mikrofoner, gjerne av typen småmembran for klare transienter og en flat frekvensrespons i mellomtoner.

Jeg fikk ved dette innledende forsøket gjort meg opp en mening om hvilke typer mikrofoner som tar opp instrumentet best, slik jeg opplever det. Jeg bestemte videre jeg i senere studioinnspillinger vil gjøre forsøk med stormembranmikrofoner i stereoopptak, og med flere mikrofoner på samme opptak for å dekke hele instrumentets spekter.

5.2 Studioopptak basert på polardiagram, 6. april 2016

Med god hjelp av studiotekniker Thomas Henriksen hadde jeg en opptaksøkt i studioet i kjelleren i Olavskvartalet. På forhånd hadde jeg forberedt noen forslag til hva vi kunne prøve,

basert på resultatene fra polardiagrammene og erfaringene fra pilotforsøket. Thomas kom også med forslag til plasseringer og mikrofoner som kunne testes ut underveis.

5.2.1 Anvendelse av polardiagram til mikrofonplassering

Ut ifra polardiagrammene hadde jeg noen idéer til hvordan mikrofonene burde plasseres i det horisontale plan. En ytterligere måling i vertikal akse hadde vært ideelt for å kunne finne høyde på mikrofonene, og vite hvilke frekvenser som beveger seg hvor i høyde. Det ble altså nødvendig å teste ut forskjellige høyder og vertikale vinkler på mikrofonene i studio, for å lytte etter hva som etter min mening ble best.

Ett veldig godt poeng med polardiagrammene, på tross av at det ikke er så mange klare tendenser til direktivitet, er at instrumentet har en veldig omnidireksjonell avstråling. Det er altså ganske likt lydnivå rundt hele instrumentet. Dermed er det ikke noen ”feile” plasseringer man kan gjøre, så lenge mikrofonene er rettet mot instrumentet. Det er likevel en gjennomgående tendens til at de høyere frekvensene beveger seg fremover (mot 0°), altså fra instrumentets diskantdel, og at nivå til de fleste tonenes harmoniske overtoner er litt sterkere i retningene som tilsvarer tonens plassering på instrumentet (se kap. 4). Dermed vil det være mulig å rette mikrofonene mot områdene på instrumentet med lyd kvaliteter man ønsker å fremheve, og til en viss grad få et opptak med hovedtrekk fra disse områdene.

Forslagene jeg på bakgrunn av polardiagrammene og erfaringene fra pilotforsøket hadde forberedt til studioopptakene, var som følger:

- For opptak med lys klang og mange transienter: Stereopar med kondensatormikrofoner pekende mot instrumentets diskantdel, ca. i vinkel 2 og 10 (fra målingene) for å fange hele instrumentet. En småmembranmikrofon i vinkel 1 litt nærmere instrumentet enn stereoparet, for å fange transienter.
- For en litt dypere klang med mer bass: Stereopar med stormembranmikrofoner pekende mot bassdelen av instrumenter, ca. vinkel 5 og 7, plassert bak utøveren. En stormembranmikrofon pekende mot resonanshullet under for å fange litt ekstra bass.
- Jeg hadde også et ønske om å prøve et ambience-oppsett litt lengre unna instrumentet, som kunne fange litt rom, selv om opptaksrommet i studio var ganske tørt.

5.2.2 Utfordringer/hva må tas hensyn til

Karakteristikk

Mikrofoner finnes med mange slags varianter av direktivitet. Noen er omnidireksjonelle, altså rundtstrålende, med lik sensitivitet i alle retninger. Disse har ofte en veldig naturtro gjengivelse av kilden de tar opp, og er et godt valg for å ta opp handpan som har en veldig rundtstrålende lydavstråling/direktivitet. Unidireksjonelle mikrofoner er retningsbestemte i én retning, som regel rett frem fra membranen. Nyre-karakteristikk er den mest vanlige her, og blir mindre sensitiv jo lengre ut på sidene av membranen man kommer. Det finnes flere varianter av nyrekarakteristikk med forskjellig sensitivitet rundt membranen (for eksempel super-nyre, hyper-nyre). Direktive mikrofoner kan være bra for å unngå støy og uønskede lyder fra kilder rundt instrument, f.eks. pustelyder og bevegelser fra en handpan-utøver (om mikrofonene er plassert bak utøveren), men må eksperimenteres litt med for å finne riktig avstand til instrumentet. Noen mikrofoner har flere karakteristikk som kan stilles på, f.eks. AKG C414, og disse har ofte en bidireksjonell karakteristikk som 8-talls i tillegg til omni og flere typer nyre. Selv om mikrofoner har en bestemt karakteristikk, spesielt med tanke på omnimikrofoner, vil de bli mer og mer direkte høyere opp i frekvens. Det er dermed viktig å plassere mikrofonene med membranen pekende mot lydilden (Huber & Williams, 1998, s. 11–13; Rossing mfl., 2014, s. 457–458).

Avstand mellom instrument og mikrofon:

Direktive mikrofoner, altså med retningsbestemte karakteristikk som cardioid/nyre-karakteristikk, har ofte en tendens til å få en hevet bassrespons og forsterkede transienter (som poppende "p" og "b" ved vokalopptak) jo nærmere mikrofonen er i henhold til kilden. Dette fenomenet er kjent som "the proximity effect", og er noe man burde være oppmerksom på når man retter en retningsbestemt mikrofon mot en kilde. Proximity effect kan også brukes som en effekt hvis man vil ha litt "feitere" og tydeligere opptak, men kan for handpan skape uønskede anslagstransienter og overtydelige/dominerende mellom- og basstoner. Avstand mellom mikrofon og instrument er dermed viktig for å få den klangfargen man ønsker på handpan (Se Huber & Williams, 1998, s. 11).

5.3 Mikrofonvalg

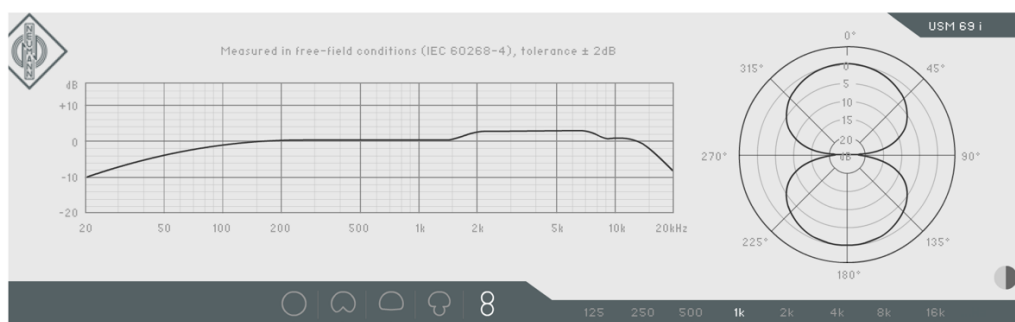
For å velge mikrofoner å bruke til handpan, har det vært nødvendig å teste ut litt forskjellige typer og karakteristikk. Fra pilotopptakene hadde jeg allerede gjort meg opp en mening om at kondensatormikrofoner var gunstig å bruke, og at mikrofoner med flat respons, gjerne småmembran, ville gi det mest naturlige lydbildet av instrumentet, spesielt i stereo. I studio foreslo Thomas å bruke omnimikrofoner fra DPA for en flat og naturlig gjengivelse, og Ehrlund stormembranmikrofoner for en naturlig fremheving av bass og diskant. En nærmere beskrivelse av disse (og flere mikrofoner vi prøvde), presenteres under.

5.3.1 Ehrlund EHR-M, cardioid, stereopar

Disse mikrofonene fra den svenske produsenten Ehrlund har et litt spesielt trekk, nemlig en trekantet membran, i motsetning til andre kondensatormikrofoner som vanligvis har runde membraner. Spennet i denne membranen gjør at mikrofonen har lite egenstøy og en ren lydgjengivelse. Den har nyrekaraktistikk, med dyp bass og fremhevet topp. Det var ikke mulig å finne spesifikk info om frekvensrespons direkte fra produsenten.

5.3.2 Neumann USM 69, blumlein

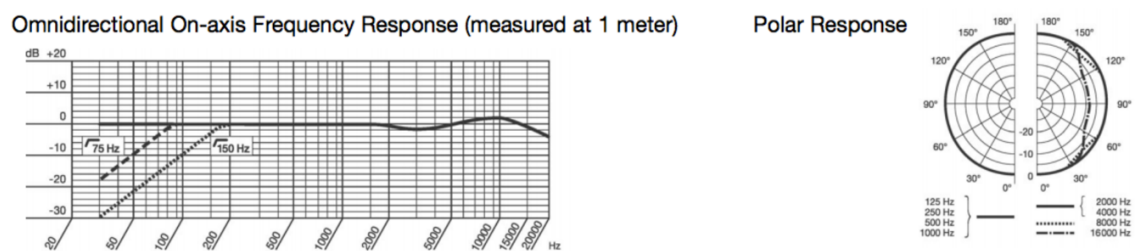
Dette er en stereomikrofon med to mikrofonkapsler man kan endre vinkel på, slik at man kan ta opp i mange forskjellige stereoteknikker. Karakteristikken på kapslene kan endres på, til omni, 8-tall, mini-, vanlig, og super-nyre. I 8-talls karakteristikk har den en avrunding bassområdet fra 100 Hz, og en forhøyning mellom ca. 2 og 8 kHz. Dette gjør den veldig anvendelig som en rommikrofon da den vil unngå å ta opp for mye lavfrekvent støy. (se Figur 5.1 nedenfor)



Figur 5.1: Frekvensrespons og mikrofonkarakteristikk for Neumann USM 69 med 8-talls karakteristikk.

5.3.3 AKG C414 B-ULS, omni

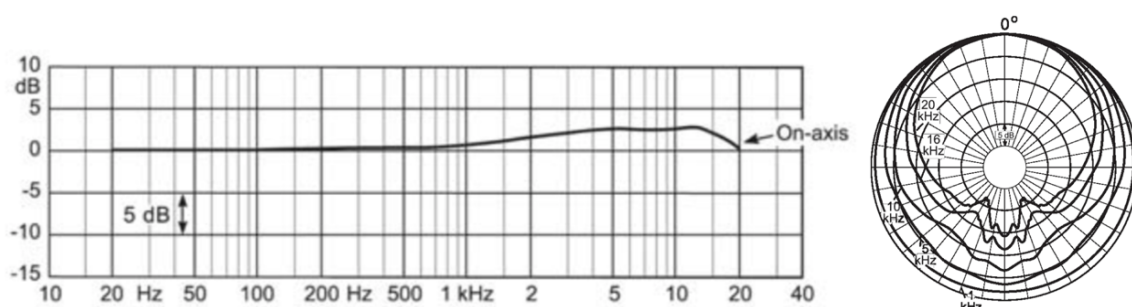
AKG c414 er en klassisk stormembran kondensatormikrofon som er meget utbredt i bruk i studio. Også denne mikrofonen har mange forskjellige karakteristikk, fra omni, åttetall, og noen forskjellige nyre-innstillinger, og dessuten innebygd høypassfilter for å kompensere for eventuell støy og proximity effect. Stilt inn på omni-karakteristikk har den en veldig flat respons med litt heving i toppen (rundt 10 kHz), som gjør den anvendelig til de fleste instrumenter.



Figur 5.2. Frekvensrespons og mikrofonkarakteristikk for AKG C414 B-ULS med omnikarakteristikk.

5.3.4 DPA 4006-TL, omni, stereopar

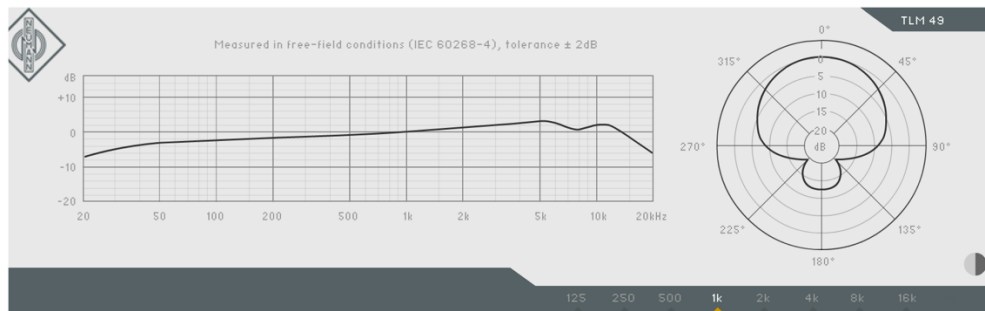
Dette er småmembran kondensatormikrofoner med omni-karakteristikk, med veldig flat frekvensrespons, som gir et rent og naturlig opptak. Den har i senere tid blitt videreutviklet til DPA 4006A i d:dicatate-serien til DPA siden 2011. Disse mikrofonene passer å bruke til det meste, både nær- og fjern-miking, da de er like sensitive i alle retninger.



Figur 5.3: Frekvensrespons og mikrofonkarakteristikk for DPA 4006-TL

5.3.5 Neumann TLM 49, cardioid

Dette er en stormembran kondensatormikrofon med nyrekarakteristikk som tenderer til super-nyre. Den er egentlig designet for vokaltopptak, men kan også brukes til instrumentalopptak. Responsen er litt forhøyet i toppen opp mot 5 kHz, som gir tydelige transienter. (se Figur 5.4)



Figur 5.4: Frekvensrespons og mikrofonkarakteristikk for Neumann TLM 49 med nyrekarakteristikk.

5.4 Mikrofonplasseringer

Plasseringen av mikrofonene viste seg å være viktig for resultatene. Det var tydelig at noen mikrofoner passet bedre på fremsiden av instrumentet, andre på baksiden, og det var også viktig med hvilken vinkel disse mikrofonene pekte mot instrumentet.

5.4.1 Ehrlund

Ehrlund-mikrofonene passet generelt veldig fint på handpan. Fra pilotopptakene tidligere presentert i kapittelet virket det som at større kondensatormikrofoner ble for tydelige i mellomtoneregisteret, men Ehrlund-mikrofonene fremhevet heller bunn og topp veldig naturlig og fint, og ga et rent og klart opptak. Vi testet disse som stereopar både pekende mot diskantdelen og den dype delen av instrumentet, ovenfra og ned med ca. en meter avstand. Ingen av disse plasseringene ble direkte ”feil”, men mikrofonene fikk vist sine fordeler aller best når de pekte mot instrumentet fra baksiden av utøveren, slik at de var rettet mot de dypere tonene. Da ble de dypere frekvensene fremhevet litt mer, samtidig som at de fanget opp transienter og overtoner med likt nivå. Plassert fremfor instrumentet hadde mikrofonene en tendens til å fremheve en frekvens på 592 Hz (en D, 3. overtone til grunntonen og 1. overtone til tone nr. 4.), som kan være litt slitsomt å høre på i lengden, mens plassert bak utøver ble dette unngått. Forskjellen kan høres på CD spor 8 (foran) og 9 (bak).

5.4.2 DPA

Fordelen med disse mikrofonene er at de er omnidireksjonelle, og tar dermed opp like godt i alle retninger og har ingen proximity effect som direksjonelle mikrofoner har. Dermed er de fine å bruke på handpan, som har en veldig omnidireksjonell lydavstråling. Men selv om mikrofonene i utgangspunktet er omnidireksjonelle, blir de mer og mer direksjonelle høyere opp i frekvens (se polardiagram og frekvensrespons, Figur 5.3), og de burde dermed i alle tilfeller peke mot lydkilden. Mikrofonene er ganske flate i respons, og gir dermed en veldig realistisk og naturlig gjengivelse av instrumentet. Disse ble her testet som stereopar i mange forskjellige posisjoner, for å finne en slags "sweet spot": foran og bak instrumentet, og tre forskjellige høyder/vinkler i henhold til instrumentets fremside.

Plassert bak utøver blir opptaket veldig varmt med mye bass og jevne overtoner, og et veldig bredt stereobilde hvis man panorerer sporene til hver sin side. Ulempen er at mikrofonene tar opp en del kroppsllyder i tillegg, bevegelser og spesielt pusting kan høres ganske tydelig på opptaket (CD spor 10). Dette er litt vanskelig å unngå på grunn av mikrofonenes omnidirektivitet, og disse burde kanskje heller stå litt lengre unna utøveren.

Plassert mot instrumentets forside/diskantdel har høyden på mikrofonene mye å si for øvre del av spekteret. I lav posisjon, plassert ganske nært instrumentets lyseste toner, fremhever mikrofonene en frekvens på ca. 900 Hz, og gir en litt i overkant metallisk lyd kvalitet (CD spor 12). Plassert ganske høyt over instrumentet tar mikrofonene opp mange av de tydeligste overtonene til instrumentet, og gir en litt mer distansert karakteristikk. Når overtonene henger igjen såpass mye som de gjør her, kan lydbilde virke litt rotete (spor nr. 11). Vi fant til slutt en mellomposisjon som hadde en ganske fin balanse mellom klingende overtoner og anslagslyder, som gir en fin jevnhet over hele spekteret med litt fokus på diskant (CD spor 13).

Disse ovenfor nevnte mikrofonplasseringene er i seg selv ganske fine og brukbare som opptaksteknikker, men vi testet i tillegg ut noen flere mikrofoner og plasseringer som kunne supplere de nevnte teknikkene.

5.4.3 AKG C414 B-ULS

Vi plasserte en AKG C414 B-ULS ganske høyt, rett over instrumentet, ca. 150 cm over gulvet. Den var stilt inn på omnikarakteristikk. Opptaket var ikke så fint alene (CD spor 14),

da den var veldig preget av mellomtoner som etter min mening ikke var så bra (Jfr. Pilotopptakene), men viste seg å være et veldig godt supplement til de andre to stereoparene vi tok opp med. Mikrofonen gjengav mye fra mellomtoneregisteret som DPA og Ehrlund-mikrofonene ikke hadde så mye av, og gjorde opptakene litt varmere i kvalitet uten at mellomtonene ble *for* fremtredende. Den gir altså en slags valgfrihet når det kommer til mengde mellomtoner, slik at man kan justere det selv etter hva man ønsker i miksen sin. Den har også en slags sentrerende rolle for stereobildet, da stereoparene er panorert ut til sidene, mens denne er i midten av miksen.

AKG i tillegg til DPA – Det er ganske tydelig at AKG C414 påvirker lydbildet en del, spesielt når det mørkere registeret på instrumentet blir tatt i bruk. En liten boost i bunn og mellomtoneområdet kler opptaket ganske godt, og henter frem de områdene som DPA tar opp litt flatt. (Forskjell kan høres på CD spor 13 og 16)

AKG i tillegg til Ehrlund – Forskjellen her er kanskje ikke så veldig tydelig, da Ehrlund-mikrofonene er ganske tydelig i bassregisteret fra før, men det er likevel som om den fyller noen hull i frekvens, og gjør lytteopplevelsen litt mer helhetlig og jevn. (Forskjell kan høres på CD spor 9 og 15)

5.4.4 Andre mikrofoner

Vi testet en også stormembranmikrofon pekende mot undersiden av instrumentet for å se om dette hadde noen effekt for fremheving av bass, da man hører ganske mye av de dype frekvenser når man lytter på instrumentet nært resonanshullet. Vi brukte her en Neumann TLM 49, plassert 30 cm over bakken og ca. 30-40 cm fra resonanshullet. Resultatet av dette ble derimot lite bass, og veldig mye av de metalliske lydene fra instrumentet, i hovedsak anslagslyder og noen veldig tydelige overtoner, spesielt rundt 890 Hz. Dette ble dermed ikke i denne sammenheng så interessant å bruke. For å få ordentlig basslyd må antagelig mikrofonen enda nærmere hullet, som kan være en litt ugunstig plassering for utøverens komfort og frihet. (CD spor 17)

Selv om rommet i studio var ganske tørt, ville jeg teste hvordan et romopptak av instrumentet ville bli. Her brukte vi en Neumann USM 69 stilt inn med 8-talls-karakteristikk og vendt i 90° vinkel mellom kapslene for å skape en blumlein stereoteknikk. Denne ble plassert omtrent to meter unna instrumentet, 160 cm over bakken. Resultatet ble ikke så veldig bra (CD spor 18), nettopp fordi rommet gjengav lite refleksjoner. Det ble mest gjenklingende overtoner og litt

metalliske refleksjoner, muligens fra vinduene og andre harde overflater i rommet. Dette hadde definitivt vært interessant å prøve i et rom med mer gjenklang, for å finne ut mer om hvordan lyden av handpan beveger seg i et slikt rom og får en naturlig etterklangseffekt.



Figur 5.5: Studiooppsett. DPA foran, Ehrlund bak, AKG over og TLM 49 under.

5.5 Bearbeiding av opptak

Siden målet med denne oppgaven var å få så gode råopptak som mulig, har jeg her fokusert lite på miksing og videre bearbeiding av opptakene. Det var likevel litt editering som måtte til for å presentere opptakene så bra som mulig.

Fasesjekk og monosjekk: Med så mange mikrofoner i opptak på en gang var det viktig å sjekke i ettertid om det var noen problemer med fase mellom mikrofonene. Dette kan gjøres ved å snu på fasen til en mikrofon og høre om det blir store forandringer i lydbildet. I dette tilfelle sjekket vi eventuelle faseproblemer mellom AKG-mikrofonen og de to stereoparene. Det går også an å sjekke om lydbilde er balansert ved å undersøke om det høres likt ut i mono, noe det generelt sett er lurt å sjekke underveis i mikseprosessen.

Filter: Studioet i Olavskvartalet ligger i en kjeller, noe som ikke er helt problemfritt når man skal gjøre opptak. I vårt tilfelle var det muligens noe rengjøringsarbeid e.l. som foregikk i etasjen over, slik at det ble liggende litt lavfrekvent støy på mange av sporene. Dette har i ettertid blitt taklet med et høypassfilter på alle spor, som gradvis demper frekvenser under 70 Hz. Dette er et område hvor det er lite til ingen informasjon fra instrumentet, og som trygt kan fjernes for å skape et litt renere lydbilde (se spekterplott i kap. 3).

Klipping: For at lydeksempelene ikke skulle bli for lange, måtte opptakene tilpasses litt med klipping. Representative utvalg av opptakene har blitt klippet ut og ”limt” sammen ved hjelp av crossfade. Siden instrumentet handpan har mye klang, har dette enkelte steder resultert i en hørbar overgang hvor overtoneklngen fra det ene klippet henger litt igjen i det neste.

Klang: Instrumentet i seg selv er ganske klangfullt, siden den har/er en resonanskasse og er laget av et ganske klingende materiale. Likevel kan det høres litt tørt ut når den blir tatt opp i et tørt rom, og dermed kan det være fint å legge på en romklang i miksing, for å gi rommet litt substans. Jeg har gjort det her med en medium plateklang, for å demonstrere lett hvordan klang kan gi litt liv til opptakene (CD spor 19 og 20, sammenlign med spor 15 og 16). Det fineste hadde nok vært å ta opp instrumentet i et litt mer klangfullt rom, med rommikrofoner litt unna som kan fange opp etterklngen naturlig.

5.6 Oppsummering av studiosesjon

Etter å ha lyttet og arbeidet med studioopptakene skal jeg her vise forslag til hvordan man kan gjøre opptak, og oppsummere litt hvordan instrumentet fungerer i studio.

Generelle trekk:

- Handpan er et veldig rundtstrålende instrument, hvor mikrofonene til en viss grad kan plasseres etter hvilke frekvenser man vil fremheve.
- Minst to mikrofoner i bred stereo er anbefalt for å dekke hele instrumentet, og for å få en følelse av instrumentets fysiske dimensjoner.
- En ekstra mikrofon pekende mot midten av instrumentet ovenfra kan ha en sentrerende rolle i miks, både panorerings- og frekvensmessig.
- Omnimikrofoner vil gi en veldig naturlig gjengivelse av handpan, men burde helst plasseres foran utøveren, for å unngå støy fra utøverens bevegelser.

- Mikrofonkarakteristikk og frekvensrespons kan være nyttige verktøy når man gjør opptak av handpan, det gjelder å vite hvordan man kan utnytte karakteristikkene til hver mikrofon slik at man får fremhevet det man ønsker å fremheve.

Mikrofonvalg og plassering for bright og overtonerikt opptak (CD spor 16):

- Stereopar av kondensator omni-mikrofoner, f.eks. DPA 4006-TL, plassert foran instrumentet i 100 cm høyde, ca. 70-80 cm avstand mellom mikrofonene, ca. 60 cm fra instrumentets midtpunkt. Pekende mot diskantdelen av instrumentet.
- En stormembran kondensator omni-mikrofon, f.eks. AKG C414 B-ULS plassert over instrumentets midttone, ca. 150 cm høyde fra gulvet.

Mikrofonvalg og plassering for varmere og jevnere opptak (CD spor 15):

- Stereopar av kondensator stormembran mikrofon, gjerne Ehrlund EHR M eller lignende, plassert bak utøver og pekende mot bassdelen av instrumentet. Plassert ca. 130 cm over bakken 60-70 cm fra instrumentets midtpunkt, ca. 130 cm avstand mellom mikrofonene.
- En stormembran kondensator omni-mikrofon, f.eks. AKG C414 B-ULS plassert over instrumentets midttone, ca. 150 cm høyde fra gulvet.

Siden forsøkene ble gjort med bare én type handpan, er det vanskelig å si hvordan de vil fungere på andre handpan-instrumenter. Men siden de fleste handpan-instrumenter er laget med lignende materiale og layout, kan man anta at det vil være et noenlunde likt lydavstrålingsmønster fra disse andre instrumentene. Det hadde vært spennende å få testet oppsettene med flere typer handpans, og med andre, mer erfarne utøvere som kan bruke instrumentet på flere måter.

6 Diskusjon og konklusjon

6.1 Måling og lytting – Hva er best?

I denne oppgaven har jeg jobbet med flere sett med resultater, som har blitt flettet sammen til et samlet resultat basert på både diagrammer og subjektive meninger. På bakgrunn av dette kan man jo spørre: Hva er egentlig best å bruke av disse metodene?

Erfaringene fra pilotopptakene i studio *før* målingene i ekkofritt rom har vært til stor hjelp på mange måter videre i arbeidet mitt. For det første fikk jeg en formening om hvilke mikrofontyper og plasseringer som fremhevet instrumentets naturlige klang best, basert på mine egne meninger og hva andre hadde gjort tidligere. Jeg fant ut at stereo var essensielt i et soloopptak for få med instrumentets dimensjoner og klang, og at én mikrofon over topp-tonen ikke var tilstrekkelig for å fange opp hele instrumentets frekvensspekter. For det andre fant jeg ut at opptakene ble best når mikrofonene stod rettet mot tonefeltene rundt instrumentet, som igjen kunne si noe om hvordan en handpan utstråler lyd og hvordan måleresultatene fra ekkofritt ville se ut.

Resultatene fra målingene i ekkofritt rom var også nyttige for arbeidet i studio. Som nevnt tidligere i resultatene viser målingene at handpan er et veldig rundtstrålende instrument, med et komplekst spekter som beveger seg i de fleste retninger. Dette er god informasjon å ha med seg når man skal i studio. Selv om diagrammene viser at lyden går i alle retninger, viser det ganske tydelig at man kan få med mye informasjon ved å ha mikrofoner pekende mot instrumentet i tilnærmet horisontalt plan, i nesten hvilken retning som helst. Dette kan motbevise at instrumentet er vanskelig å ta opp, bare man har kunnskap om mikrofoner, og vet noe om hvordan instrumentet utstråler lyd.

I studio ble stereoparene med DPA og Ehrlund satt opp på bakgrunn av målingene i ekkofritt rom, og gav i seg selv fine resultater. Vi måtte likevel eksperimentere litt med høyde på disse, da jeg ikke hadde noe data som kunne indikere hvor det var gunstig å plassere dem i vertikalt plan. De andre mikrofonene og plasseringene i studio (over og under instrumentet, og blumlein-oppsettet for rom-opptak) ble satt opp av ren interesse for hvordan de ville høres ut. Selv om de ikke dekket instrumentets klang så veldig godt i seg selv, kunne noen av dem, spesielt AKG-mikrofonen, være et veldig bra supplement til stereoparene. AKG-mikrofonen

fyller inn mellomtoner og har en sentrerende rolle for panoreringen i miks. Videre kunne blumlein-oppsettet tatt opp naturlig klang fra et rom som var litt mindre tørt, og bunnmikrofonen kunne tatt opp mer bass fra instrumentet hvis den kunne stå nærmere.

Jeg vil dermed konkludere med at en blanding av vitenskapelig testing av lydavstråling og subjektiv utprøving basert på lytting var den beste måten for meg for å finne gode opptaksteknikker for handpan. Målingene jeg gjorde i ekkofritt rom har vært til stor hjelp under studiosesjonen, men ikke avgjørende, da en viktig del av arbeidet der bestod i å også finne bra mikrofonhøyder, og teste andre mikrofoner og plasseringer i tillegg til disse.

6.2 Videre arbeid med handpan

Det er mye som har blitt oppnådd i denne masteroppgaven, men siden den fokuserte på målinger gjort i kun horisontal akse, med kun *solo*-opptak av handpan i studio, er det mye mer som kan forskes videre på med handpan i fokus.

Av akustiske målinger er det mye spennende som kan gjøres. Lydavstrålingsmålinger i flere akser, både vertikalt og diagonalt, hadde vært spennende for å dekke hele instrumentets avstråling. Å se på instrumentets vibrasjonsmoder med Chladni-mønster eller holografisk interferometri burde også kunne gjennomføres, ikke minst som en sammenligningsmetode for å se på flere instrumenttyper fra forskjellige produsenter.

I studio burde det også gjøres mer utprøving av forskjellige mikrofontyper, merker og alternative plasseringer. Kanskje spesielt interessant hadde det vært å forske mer på mikrofon plassert under instrumentet for dype opptak med mye bass. Opptak i mer klangfylte rom hadde også vært interessant for å gjøre opptak med naturlig romklang. Det hadde også vært spennende å prøve de eksisterende mikrofonplasseringene fra denne oppgaven med én eller flere utøvere som har bredere erfaring med spilling enn meg selv, for å se hvordan opptaksteknikkene fungerer med andre spilleteknikker, og med andre instrumenter.

Ellers hadde det vært spennende å finne mikrofonteknikker for handpan i samspill med andre instrumenter, da handpan ofte brukes i ensemble-sammenhenger. Opptaksteknikkene jeg har kommet frem til her er jo ”designet” for solo handpan, og kan dermed ta litt mye plass hvis den skal brukes i ensembler hvor flere instrumenter har fokus samtidig. Dermed hadde det vært spennende å f.eks. finne en teknikk for best mulig opptak med bare én mikrofon.

6.3 Oppsummering og konklusjon

Handpan er et nytt instrument basert på karibiske steelpans, funnet opp av PANArt fra Sveits med navnet Hang i år 2000. Instrumenttypen har komplekse vibrasjonsmoder og overtonemønster, som er dokumentert fra egne spektermålinger, og forskning med holografisk interferometri gjort av Thomas D. Rossing mfl. Avstrålingsmålingene gjort i ekkofritt rom resulterte i polardiagram, som viser en veldig omnidireksjonell avstråling fra instrumentet, spesielt i tonenes grunnfrekvenser. Ellers beveger tonenes overtoner seg i noen grad i retningen til sine tonefelt; dette er tydeligst på de lyseste tonenes overtoner som for det meste har høyest amplitude ved 0°.

Polardiagrammene ble brukt til å finne gode plasseringer for mikrofoner i studio. Mikrofontyper ble bestemt ut ifra en blanding av meninger fra tidligere pilotopptak med mikrofontesting, og forslag fra studiotekniker Thomas Henriksen. Dette resulterte i hovedsakelig to opptaksteknikker med litt forskjellige karakteristikker: Ett med omnidireksjonelle mikrofoner plassert mot instrumentets diskantdel for et klart og overtonerikt spekter, og ett med stormembranmikrofoner med nyrekaraktistikk plassert mot instrumentets bassdel, for et litt dypere og jevnere spekter. Begge disse kunne suppleres med en stormembranmikrofon pekende mot instrumentets midtdel ovenfra.

Opptak av handpan er altså ikke så komplisert som det har blitt påstått, men direktivitmålinger i ekkofritt rom har vært meget hjelpsomt for å finne de beste plasseringene for mikrofonene i det horisontale plan. En blanding av subjektiv lytting og målinger av avstråling har resultert i gode opptak og teknikker jeg gjerne anbefaler videre.

Kilder

Almar-Næss, A. (2016, mars 31). nitring – metallurgi. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/nitring%2Fmetallurgi>

Articles. (udatert). Hentet 4. mai 2016, fra <http://panart.ch/en/articles>

Circhirillo, Lorenzo. (udatert). Vision Mantra. Hentet 4. mai 2016, fra <http://www.visioninstruments.it/portfolio-item/vision-mantra/>

David Kuckhermann. (2011). *Hang (no drum) solo - David Kuckhermann*. Hentet fra https://www.youtube.com/watch?v=T_VuqwK92VM

David Kuckhermann. (2015). *Hang & Pantam - Prelude No. 1*. Hentet fra <https://www.youtube.com/watch?v=ZjvLzLmetII>

FAQ. (udatert). Hentet 6. mai 2016, fra <http://matlab.wikia.com/wiki/FAQ>

GRIASDI. (2016, mars 9). Hentet fra <http://paniverse.org/the-griasdi-handpan-gathering-good-vibes-from-the-heart-of-the-alps-austria/>

HandPan Festival. (udatert). Hentet fra <http://www.festivalhandpan.com/>

HANDPAN MAKERS around the world. (udatert). Hentet 6. mai 2016, fra https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1h25DQtIFr10q_8R1irCGI-tsHKs&hl=en_US

HandPan.org. (udatert). Hentet 4. mai 2016, fra <http://www.handpan.org/forum/>

hangblog. (2006). *PANArt Hang documentary 2006: HANG - a discreet revolution*. Hentet fra <https://www.youtube.com/watch?v=AmgQKJxJsco>

Hang Library. (udatert). Hentet fra <http://www.hangblog.org/hang-library/>

Hang Massive. (2013). *Hang and Tabla - « Sky like eyes » (2013) (HD)*. Hentet fra <https://www.youtube.com/watch?v=9pZP2GUFymA>

HangOut, USA. (2016). Hentet 3. mai 2016, fra <http://hangout-usa.com/>

How to get all files under a specific directory in MATLAB? - Stack Overflow. (udatert). Hentet 6. mai 2016, fra <http://stackoverflow.com/questions/2652630/how-to-get-all-files-under-a-specific-directory-in-matlab>

Huber, D. M., & Williams, P. (1998). *Professional microphone techniques*.

Introduction and manufacturing of Spacedrum. (udatert). Hentet 30. april 2016, fra http://spacedrum.fr/presentation.php?id_langue=2

Krishnaswami, S. (1971). Musical instruments of India. *Asian Music*, 31–42.

MATSUMOTO ZOKU. (udatert). Hentet 4. mai 2016, fra <http://www.matsumotozoku.com/>

Meyer, J. (2009). *Acoustics and the Performance of Music*. New York, NY: Springer New York. Hentet fra <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-09517-2>

Nadishana. (udatert). Nadishana, siberian virtuoso multi-instrumentalist and composer - Nadishana-Kuckhermann-Metz info | Nadishana-Kuckhermann-Metz. Hentet 4. mai 2016, fra <http://nadishana.com/index.php/en/nadishana-kuckhermann-metz>

Otondo, F., & Rindel, J. H. (2004). The Influence of the Directivity of Musical Instruments in a Room. *Acta Acustica united with Acustica*, 90(6), 1178–1184.

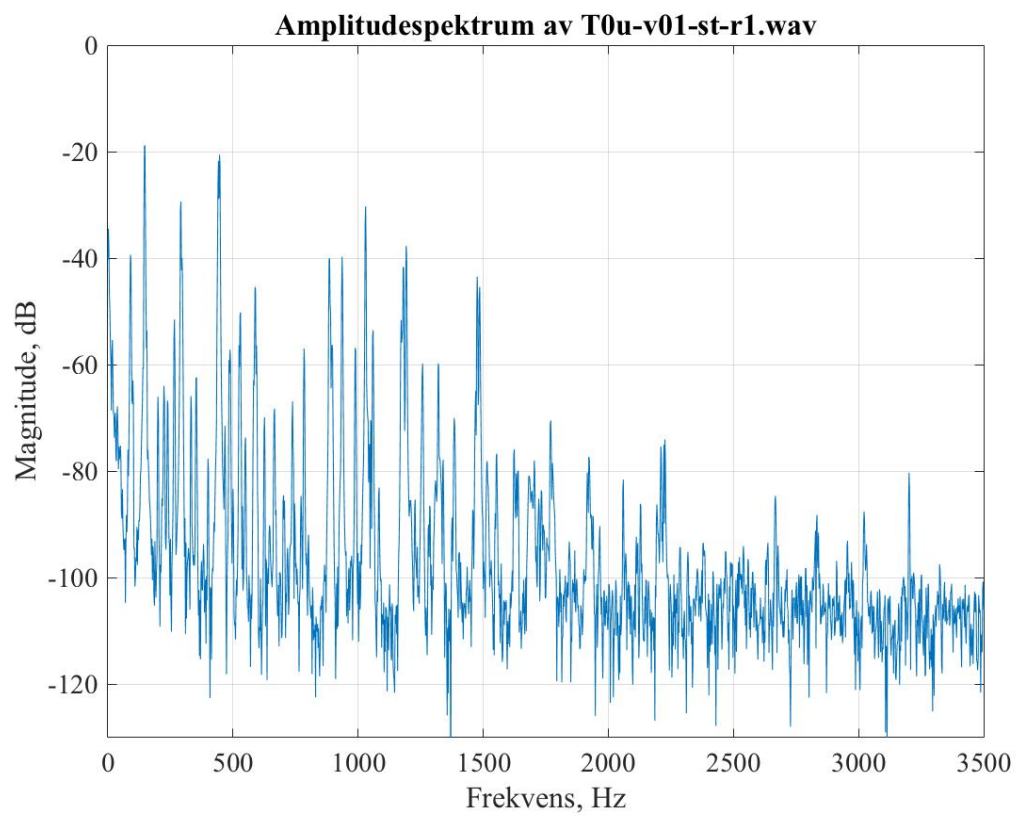
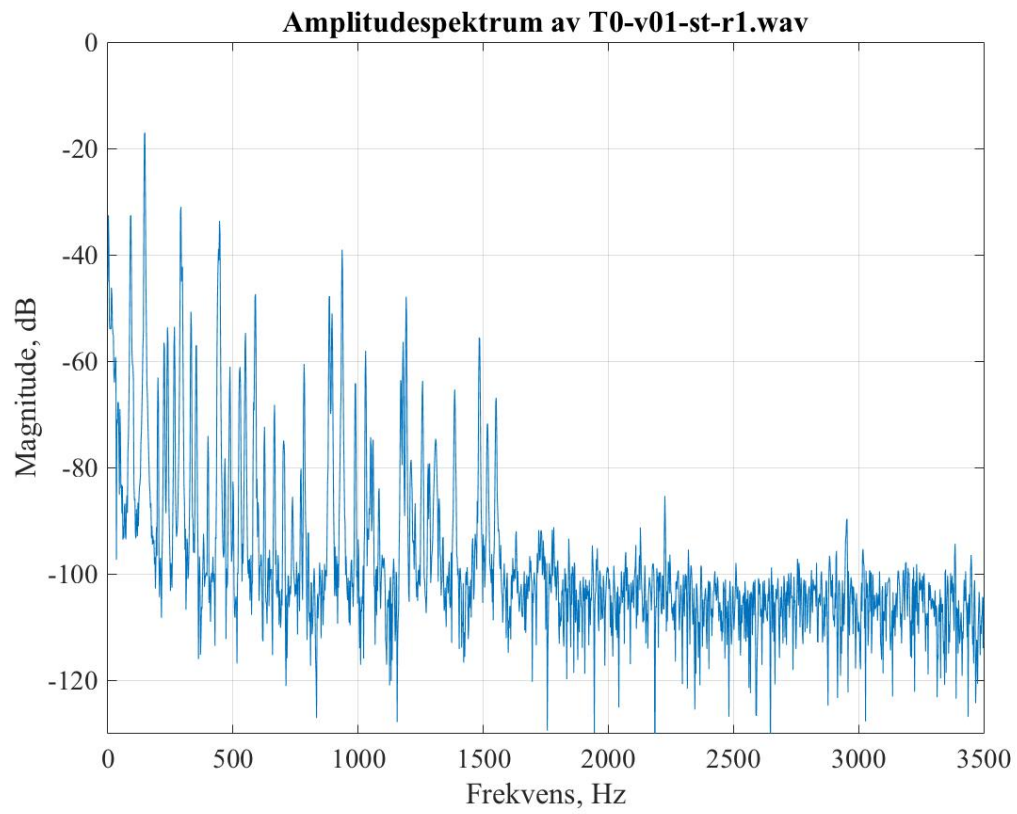
PANArt. (2014). From the Hang to the Gubal. Hentet 4. mai 2016, fra <http://panart.ch/en/articles/from-the-hang-to-the-gubal>

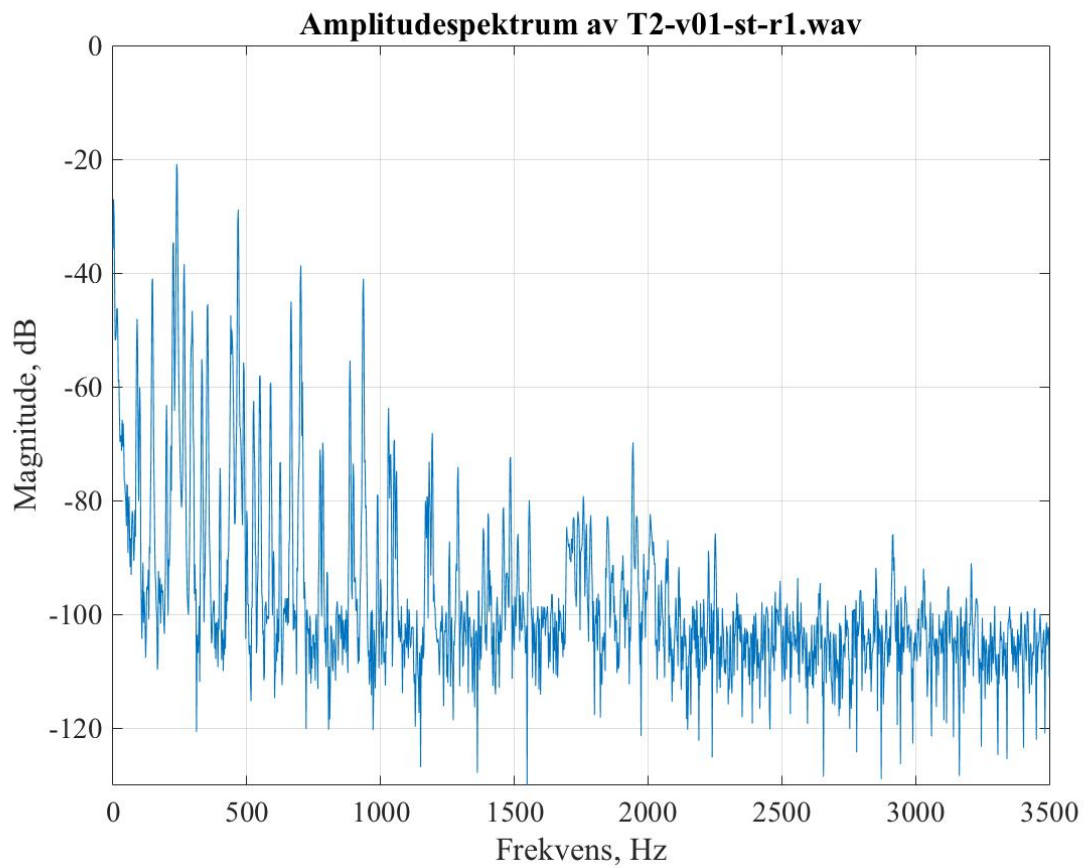
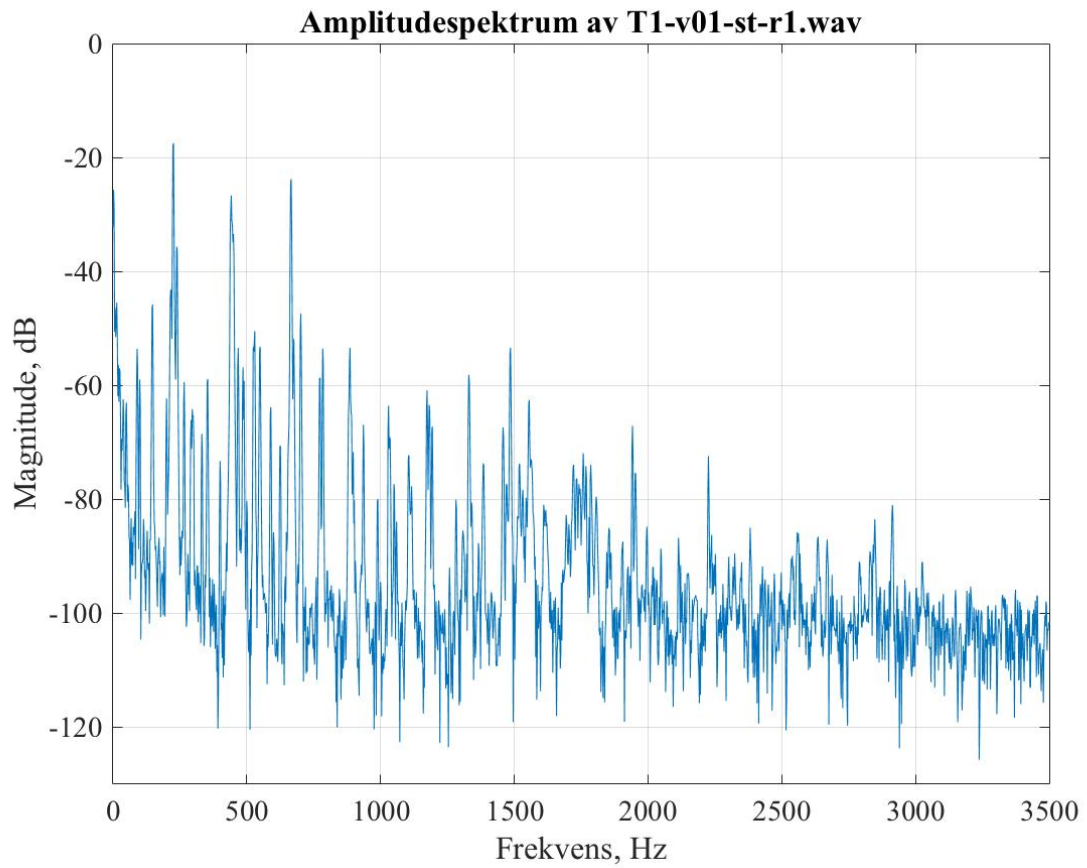
Pantheon Steel. (udatert-a). About The Halo. Hentet 30. april 2016, fra <http://www.pantheonsteel.com/AboutTheHalo.aspx>

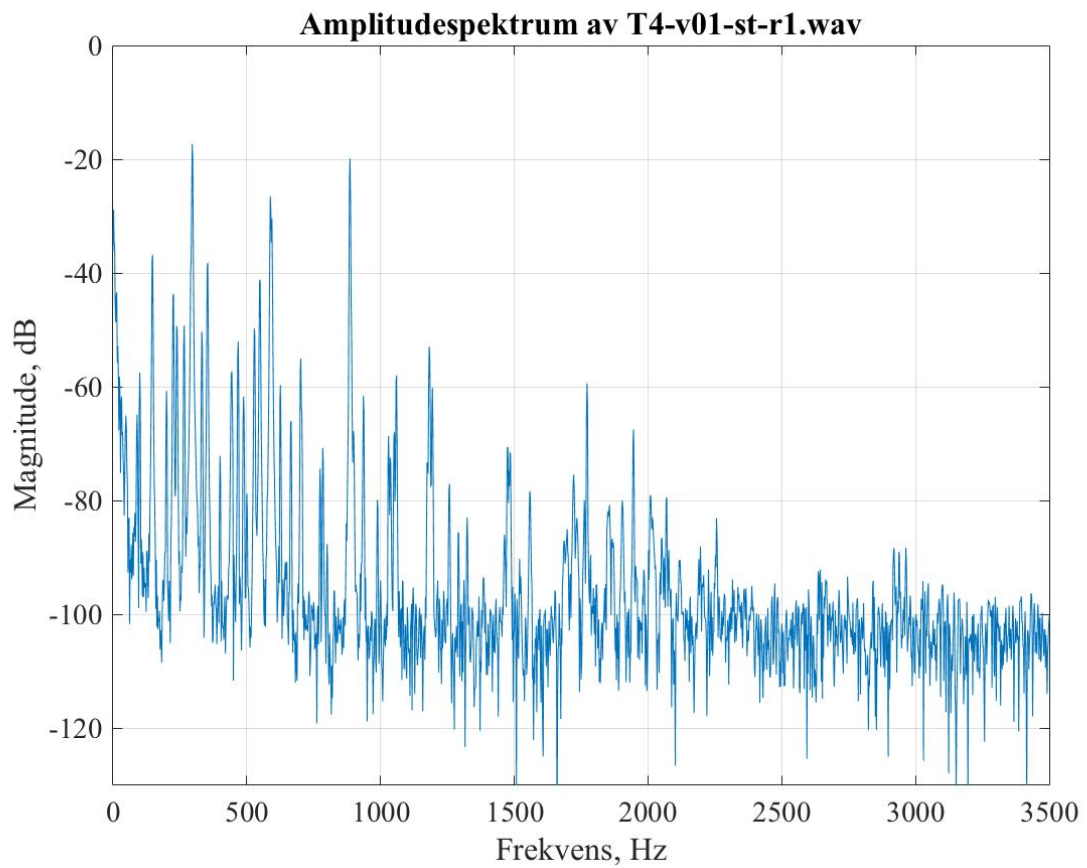
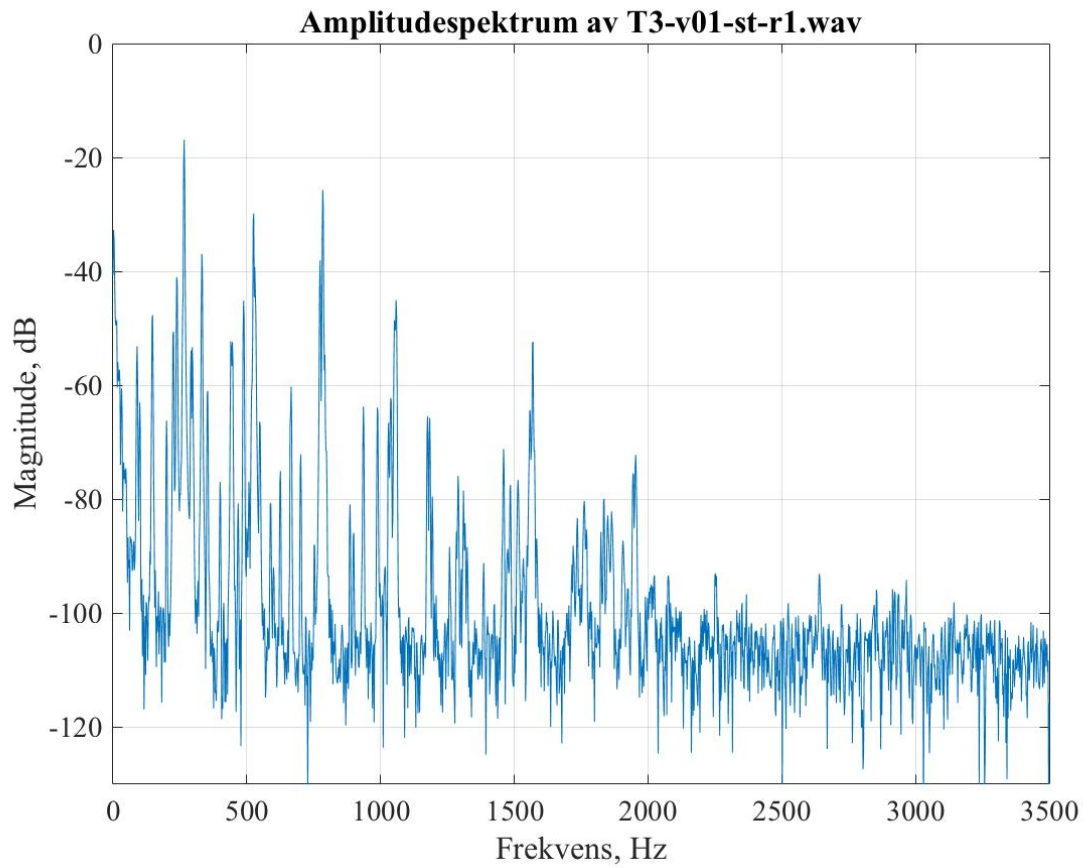
- Pantheon Steel. (udatert-b). FAQ. Hentet 6. mai 2016, fra http://www.pantheonsteel.com/FAQ.aspx#Do_you_have_any_microphone_recommendations_for_recording_the_Halo_
- Pantheon Steel. (udatert-c). The Creators. Hentet 4. mai 2016, fra <http://www.pantheonsteel.com/TheCreators.aspx>
- Paschko, M. (2007). The Hang Family. Hentet fra <http://www.hangblog.org/2007/08/26/the-hang-family/>
- Pollow, M., Behler, G. K., & Masiero, B. (2009). Measuring Directivities of Natural Sound Sources with a Spherical Microphone Array. Presentert på 1st Ambisonics Symposium, Graz.
- Pollow, M., Behler, G. K., & Schultz, F. (2010). Music Instrument Recording for Building a Directivity Database. *Fortschritte der ANustiN: Tagungsband d*, 36.
- Pätynen, J., & Lokki, T. (2010). Directivities of Symphony Orchestra Instruments. *Acta Acustica United with Acustica*, 96(1), 138–167. <http://doi.org/10.3813/AAA.918265>
- ¿Que es el BELls? (udatert). Hentet 30. april 2016, fra <http://bellart.es/que-es-el-bells-1.html>
- Rohner, F., & Schärer, S. (2007). History, Development and Tuning of the Hang. Presentert på International Conference on Noise and Vibration Engineering.
- Rohner, F., & Schärer, S. (2009). The Integral Hang 2009. Hentet fra <http://www.hangblog.org/the-integral-hang-2009/>
- Rossing, T. D. (2000). *Science of percussion instruments*. Singapore ; Hackensack, N.J: World Scientific.
- Rossing, T. D., Moore, F. R., & Wheeler, P. A. (2014). *The science of sound* (3. ed., new internat. ed). Harlow: Pearson Education.

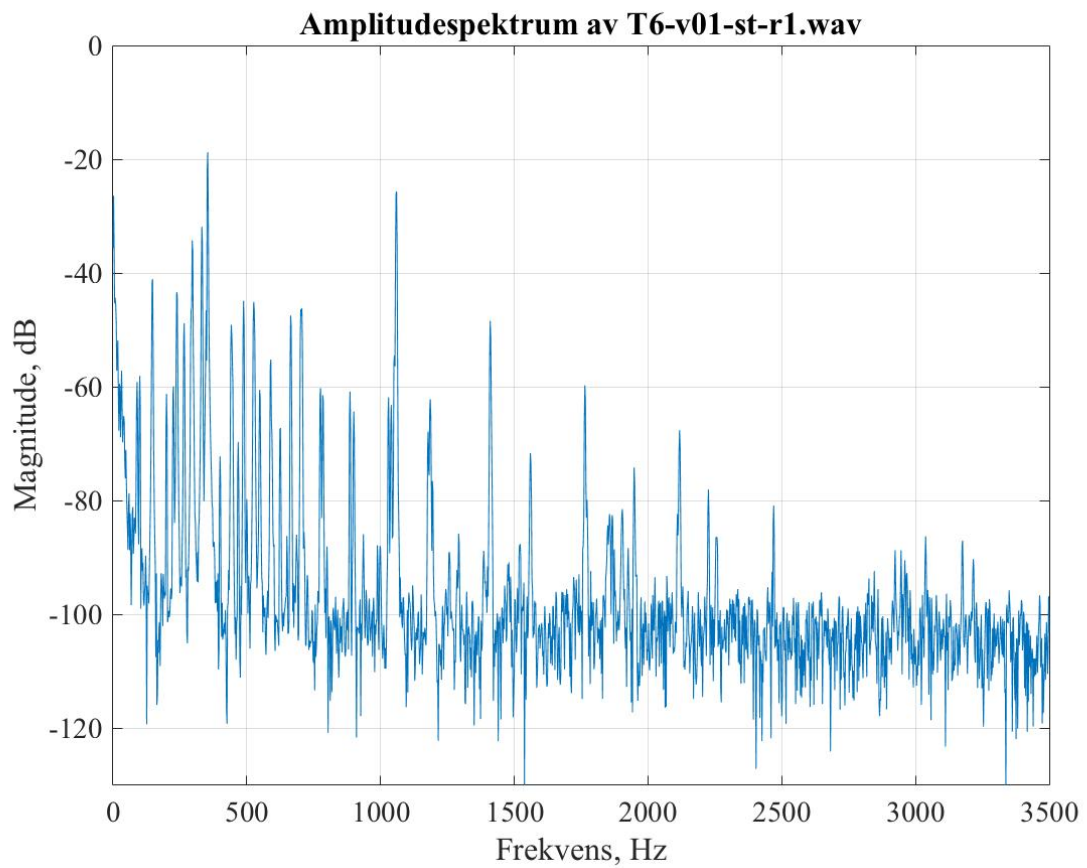
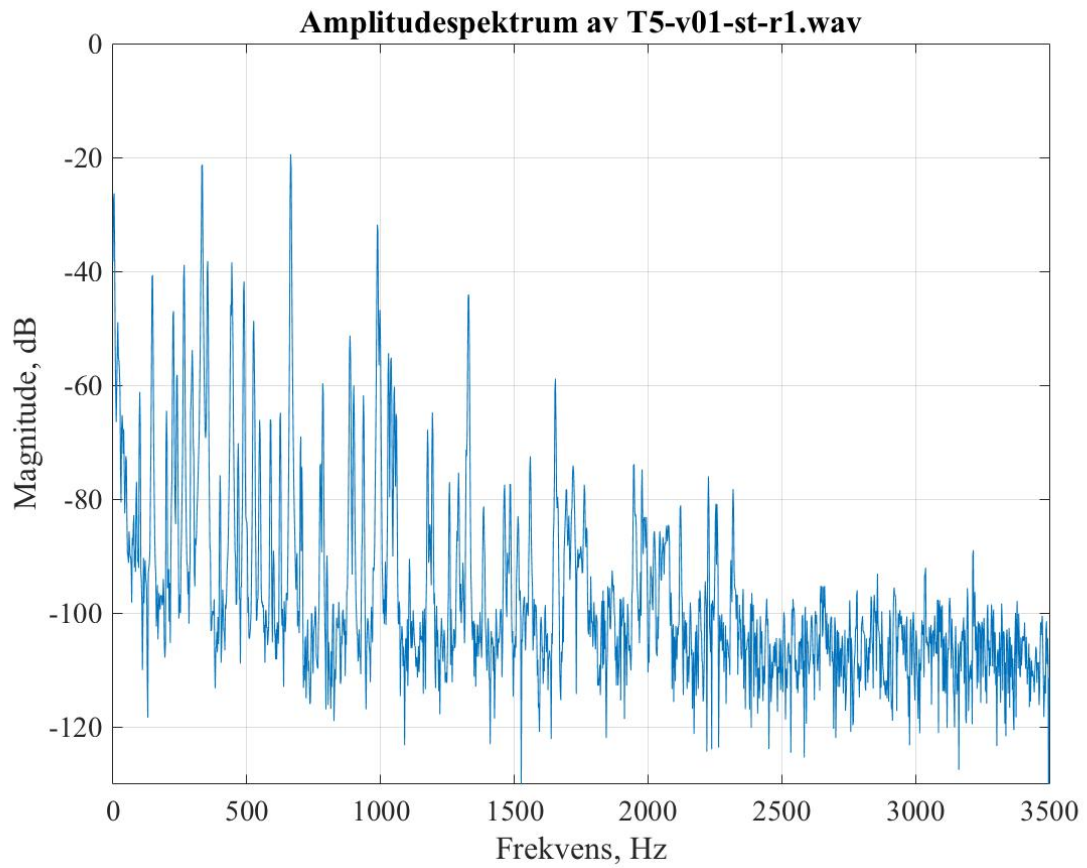
- Rossing, T. D., Morrison, A., Hansen, U., Shärer, S., & Rohner, F. (2007). Acoustics of the Hang: a hand-played steel instrument. Presentert på International Symposium on Musical Acoustics.
- Rossing, T. D., Yee, J., & Morrison, A. (2004). Acoustics of percussion instruments: An update. *Acoustical Science and Technology / Acoustical Society of Japan*, 25(6), 406–412.
- Rossing, Thomas D. (2001). Acoustics of percussion instruments: Recent progress. *Acoustical Science and Technology*, 22(3), 177–188.
- Rossing, Thomas D., Hansen, Uwe J., & Hampton, Scott D. (2000). Vibrational mode shapes in Caribbean steelpans. I. Tenor and double second. *Journal of the Acoustical Society in America*, 108(2), 803–813.
- Upcoming Events. (udatert). Hentet fra <http://paniverse.org/events/>

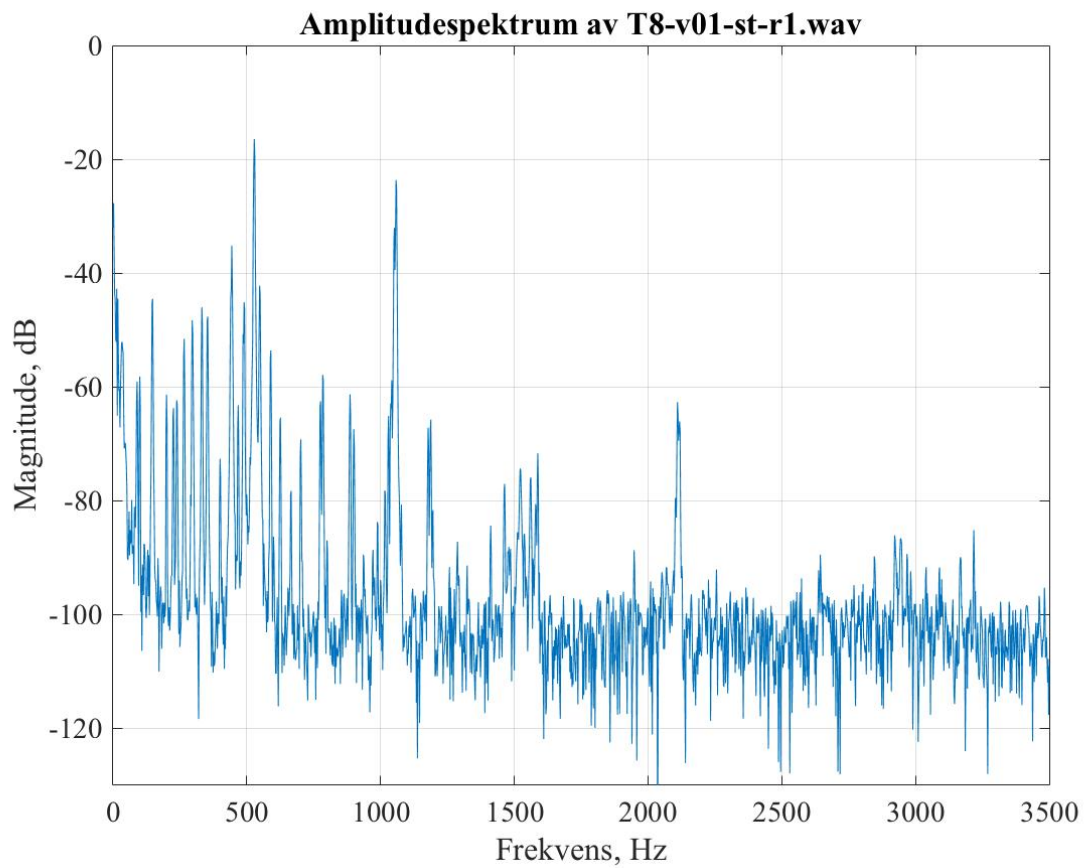
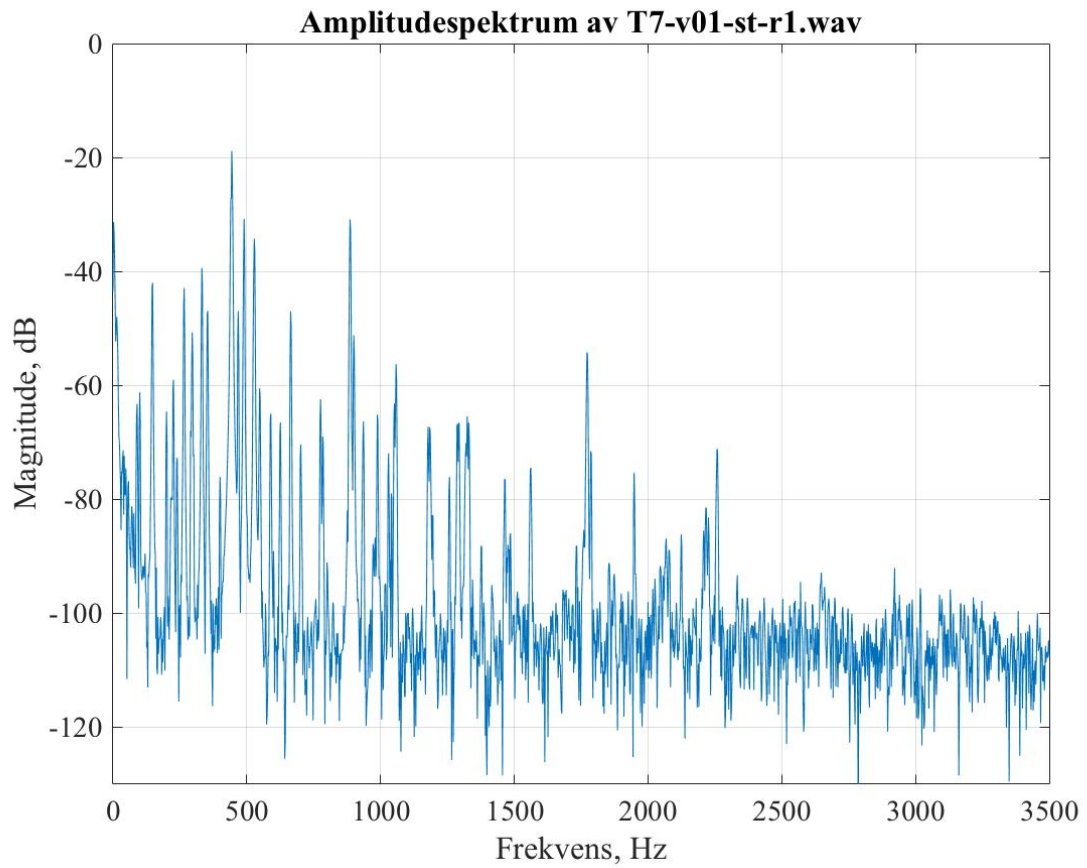
Appendix A – Spektrumplott



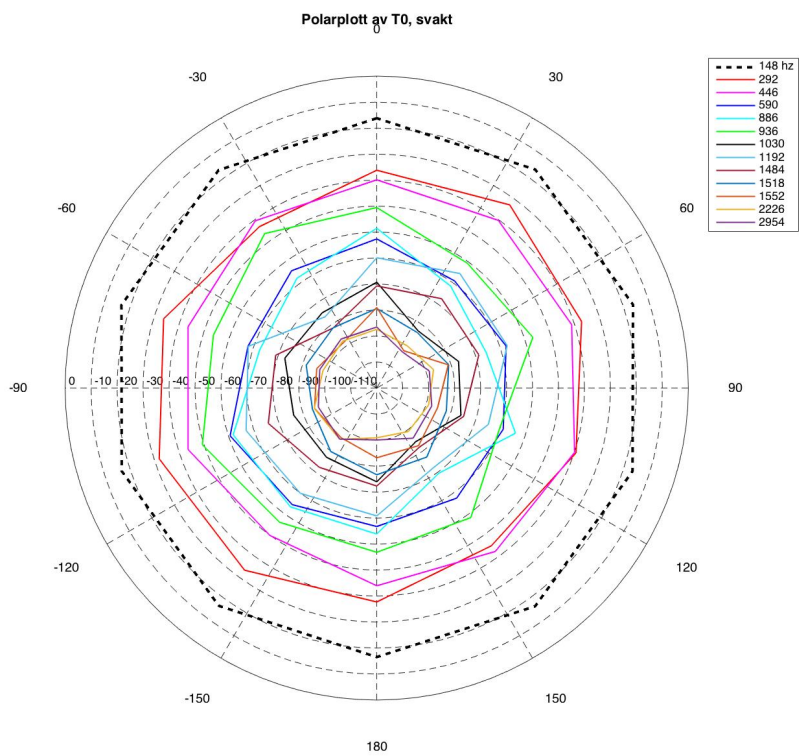
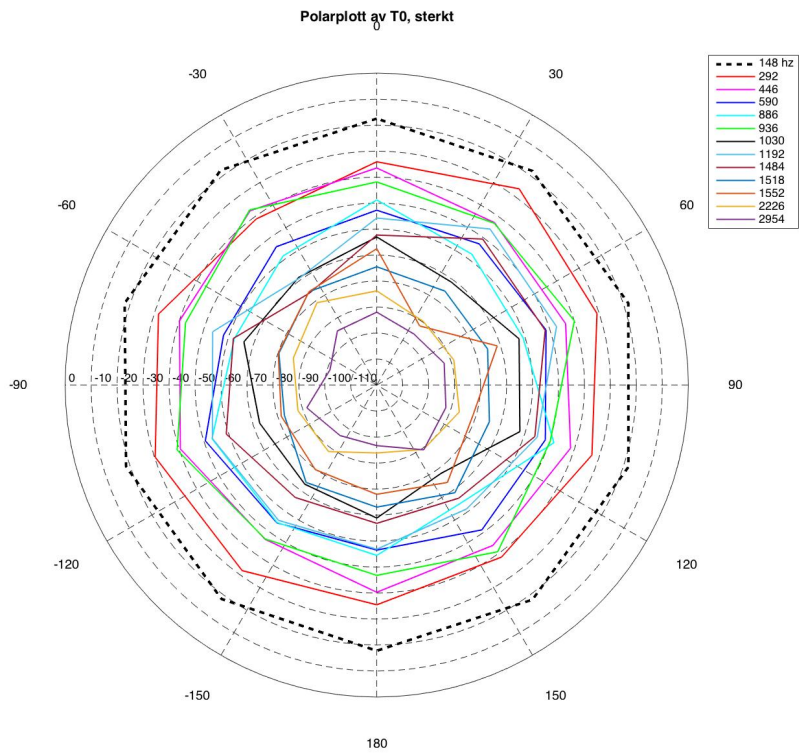




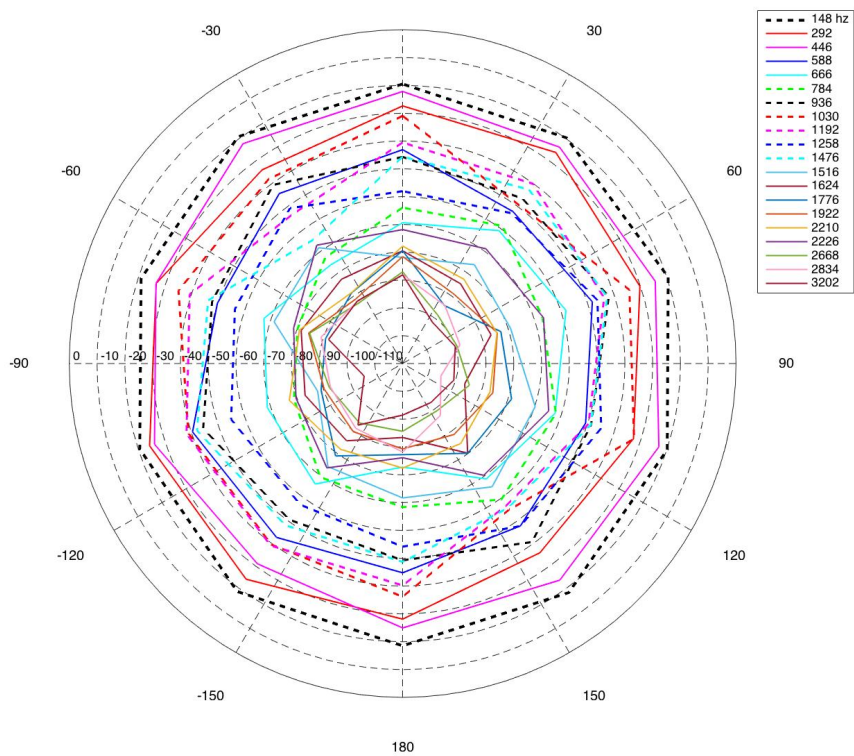




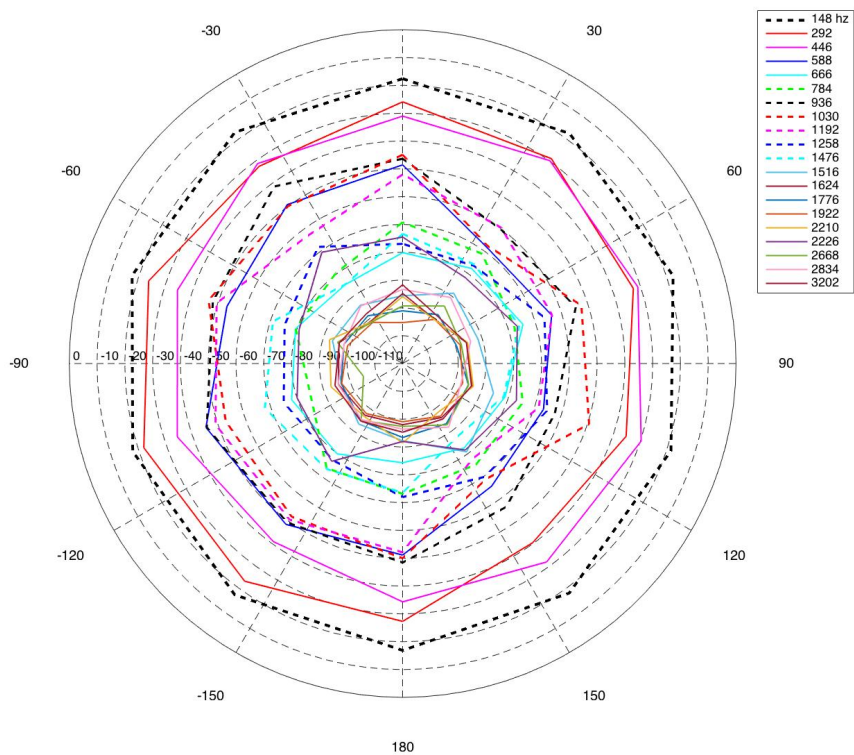
Appendix B – Polardiagrammer, alle overtoner



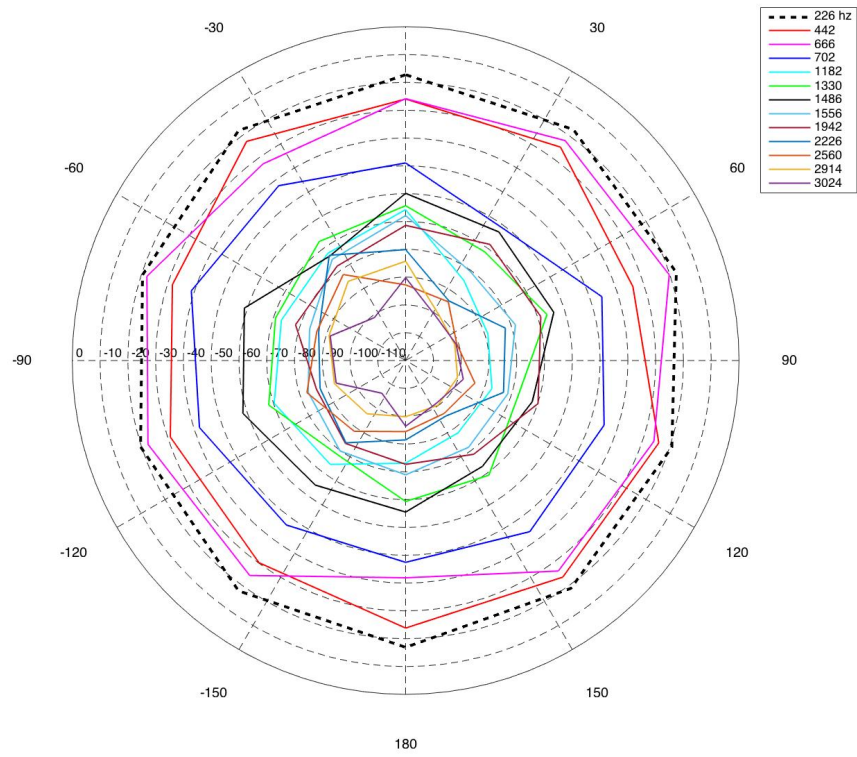
Polarplott ay T0u, sterkt



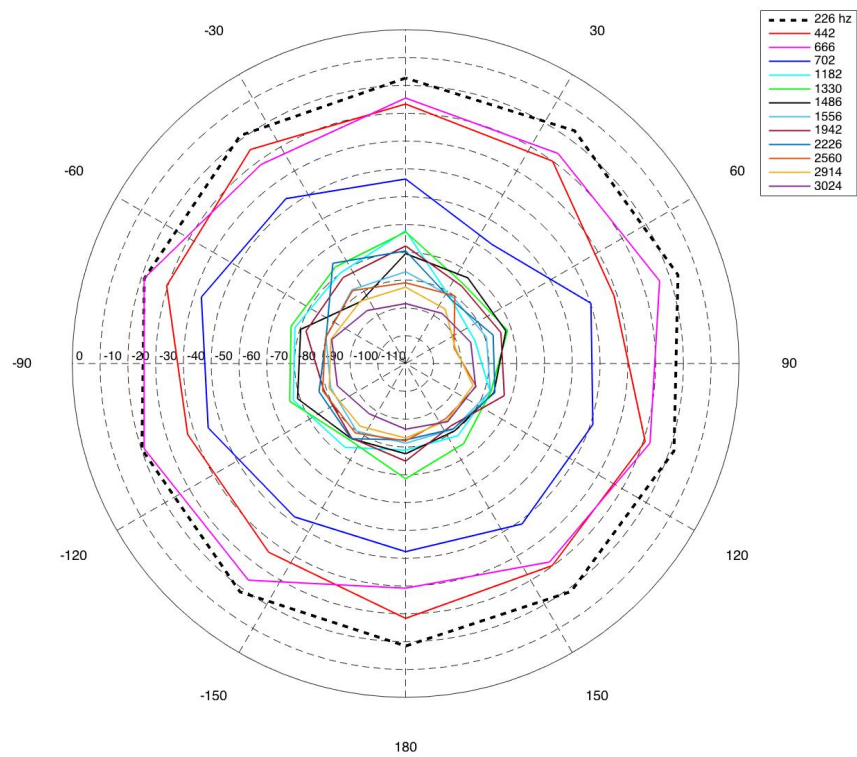
Polarplott ay T0u, svakt



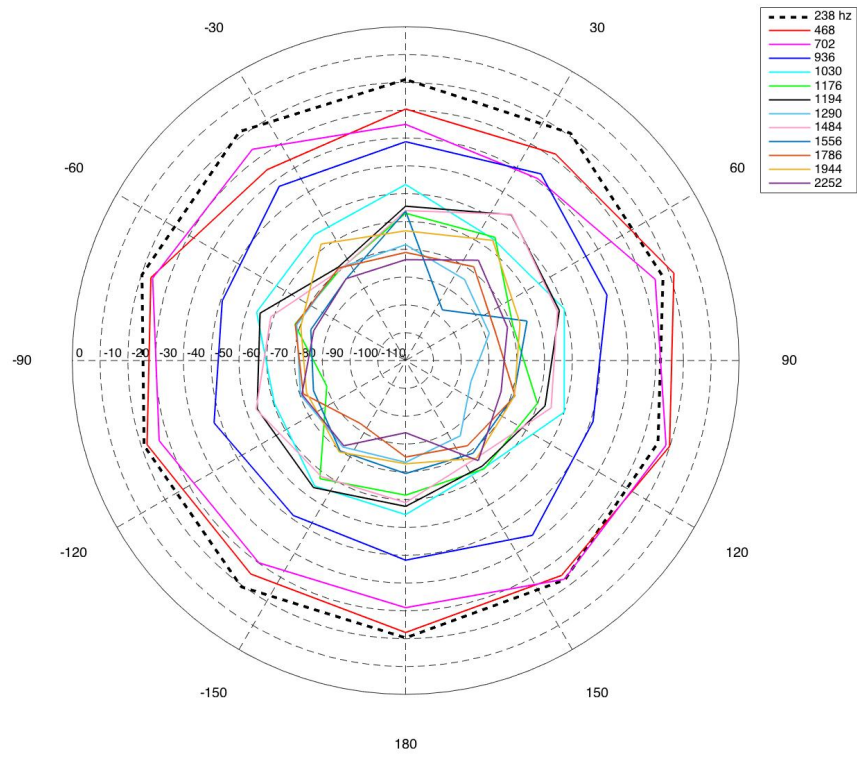
Polarplott av T1, sterkt



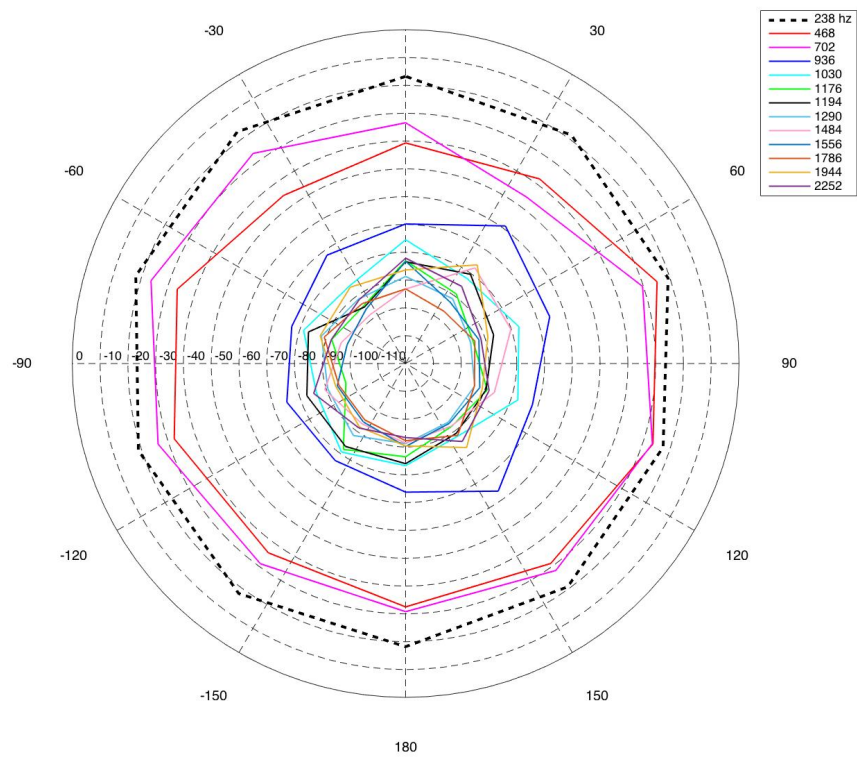
Polarplott av T1, svakt



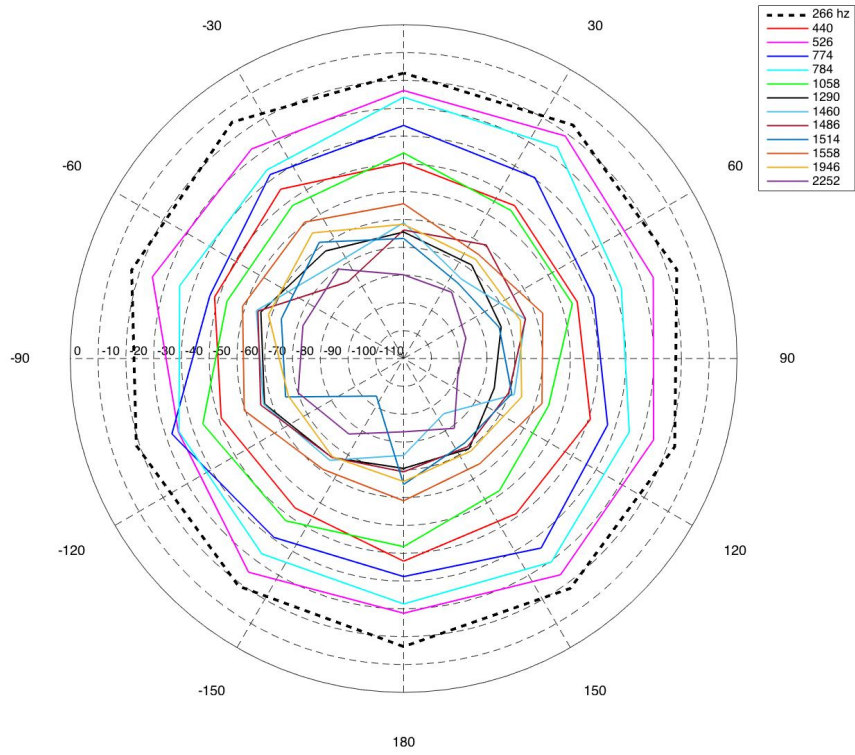
Polarplott av T2, sterkt



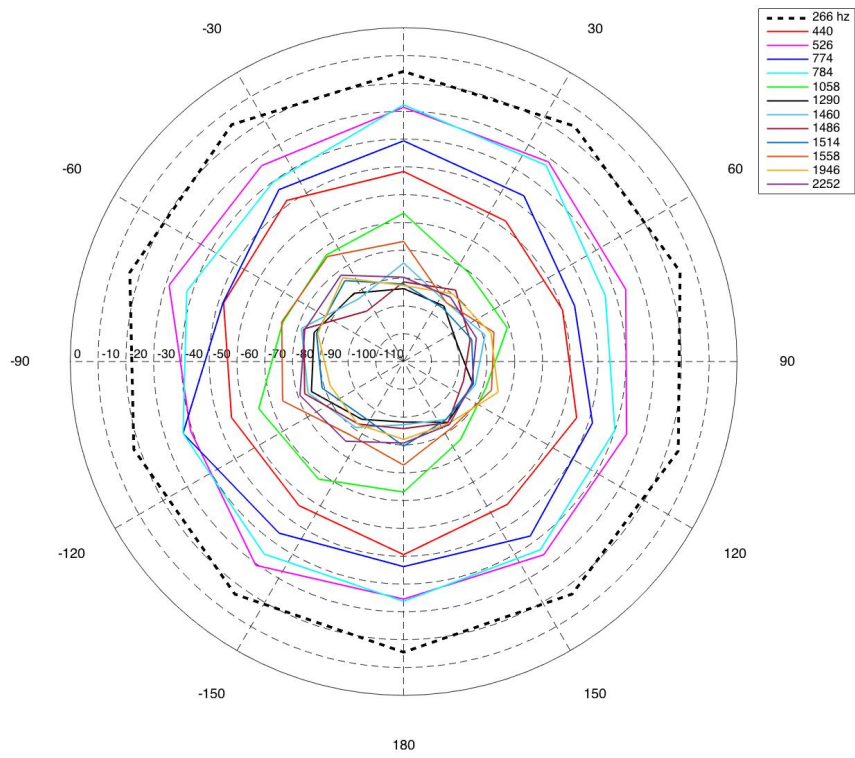
Polarplott av T2, svakt



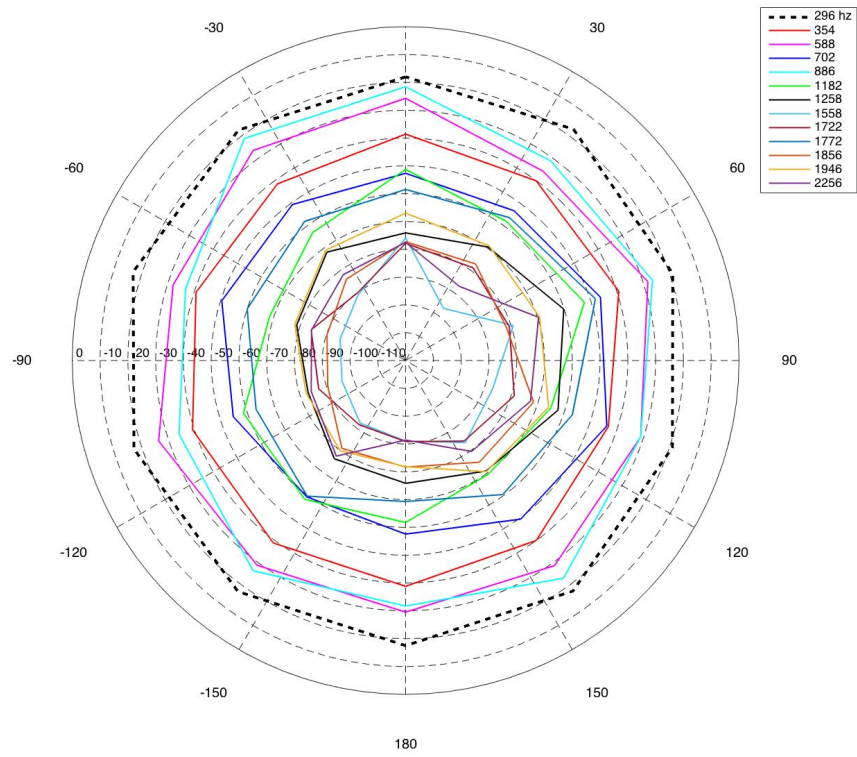
Polarplott av T3, sterkt



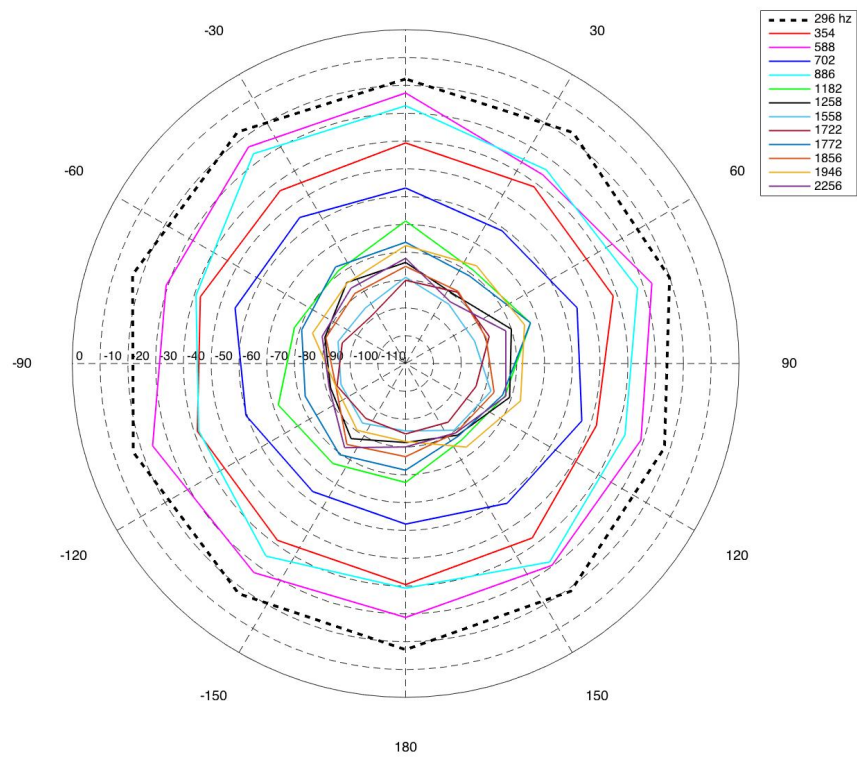
Polarplott av T3, svakt



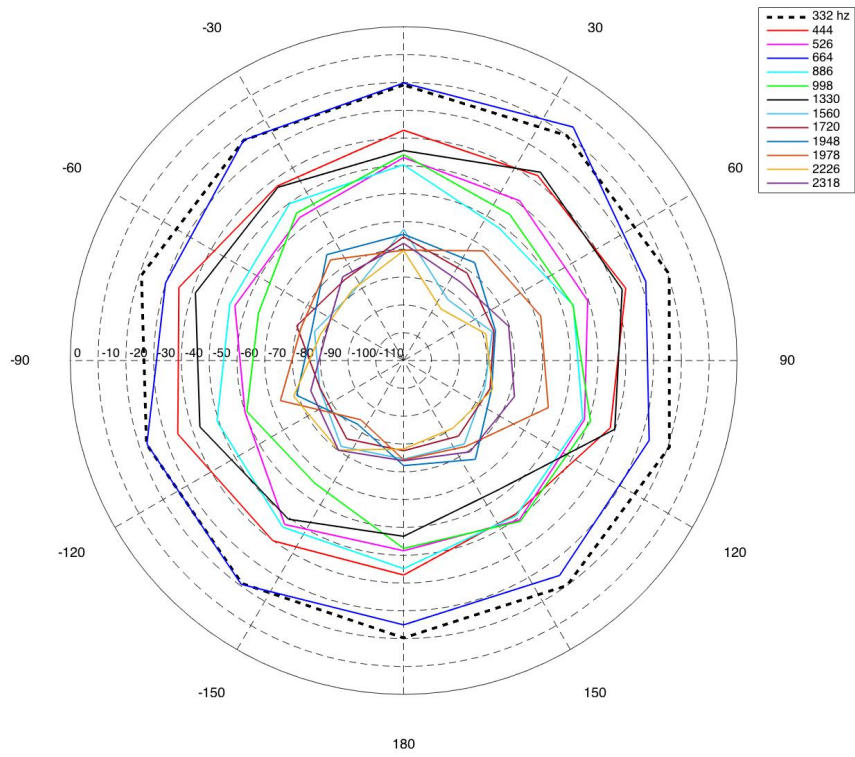
Polarplott av T4, sterkt



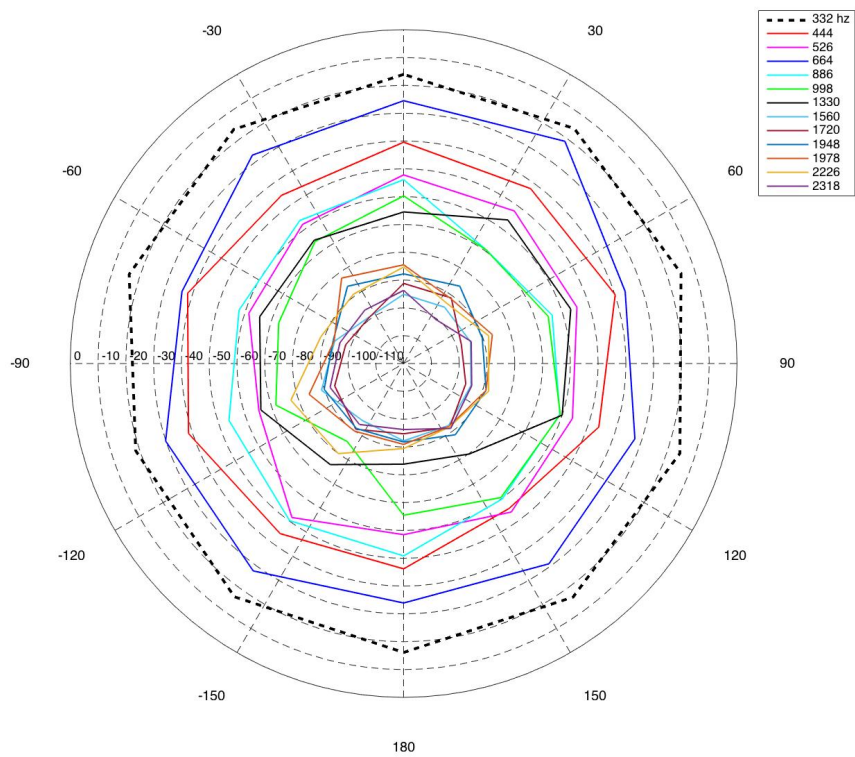
Polarplott av T4, svakt



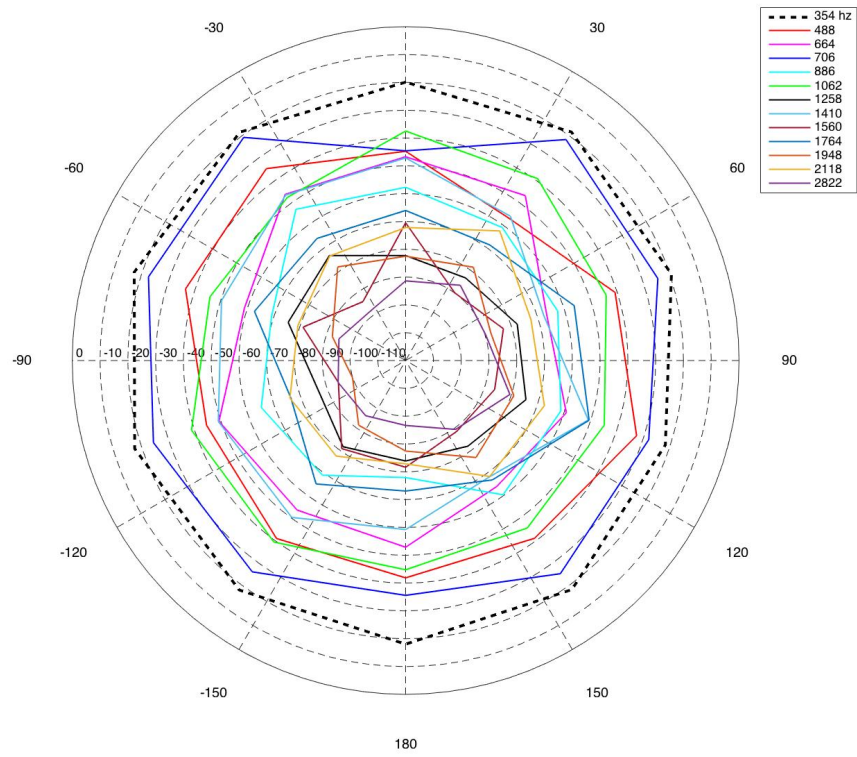
Polarplott av T5, sterkt



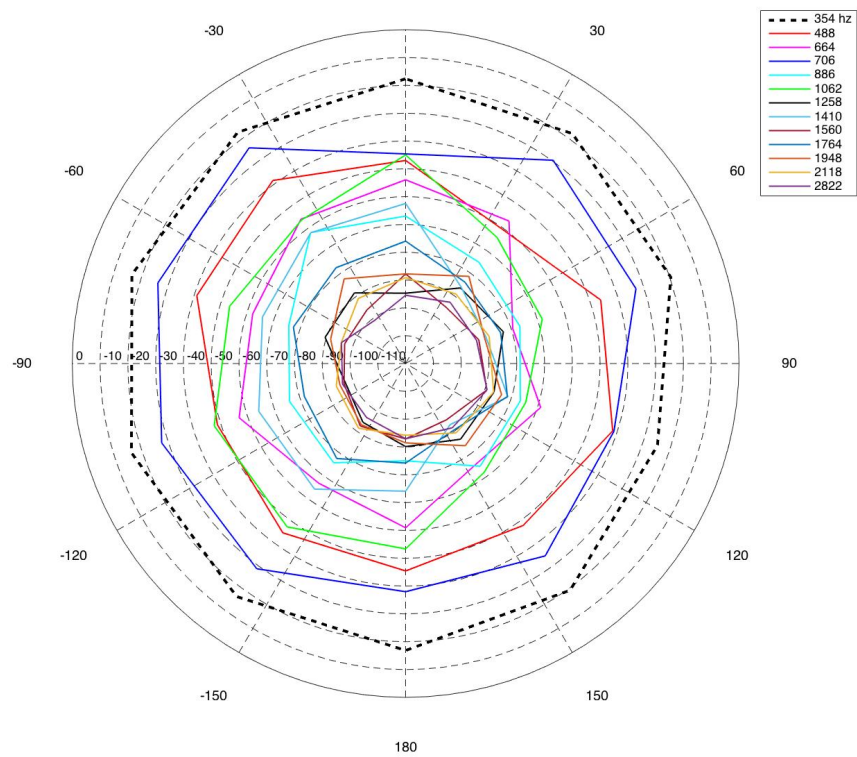
Polarplott av T5, svakt



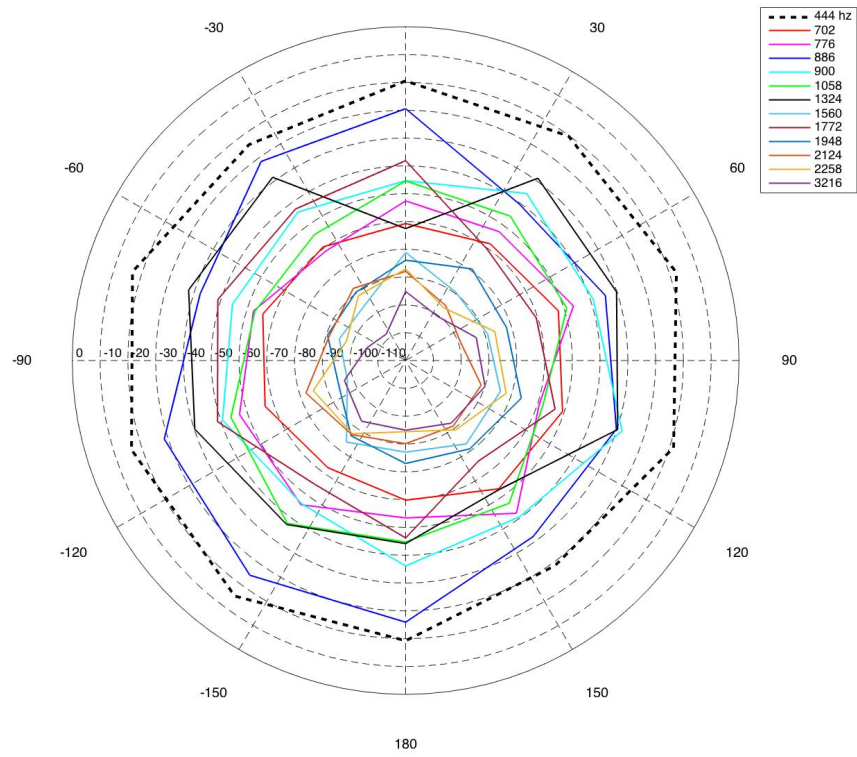
Polarplott av T6, sterkt



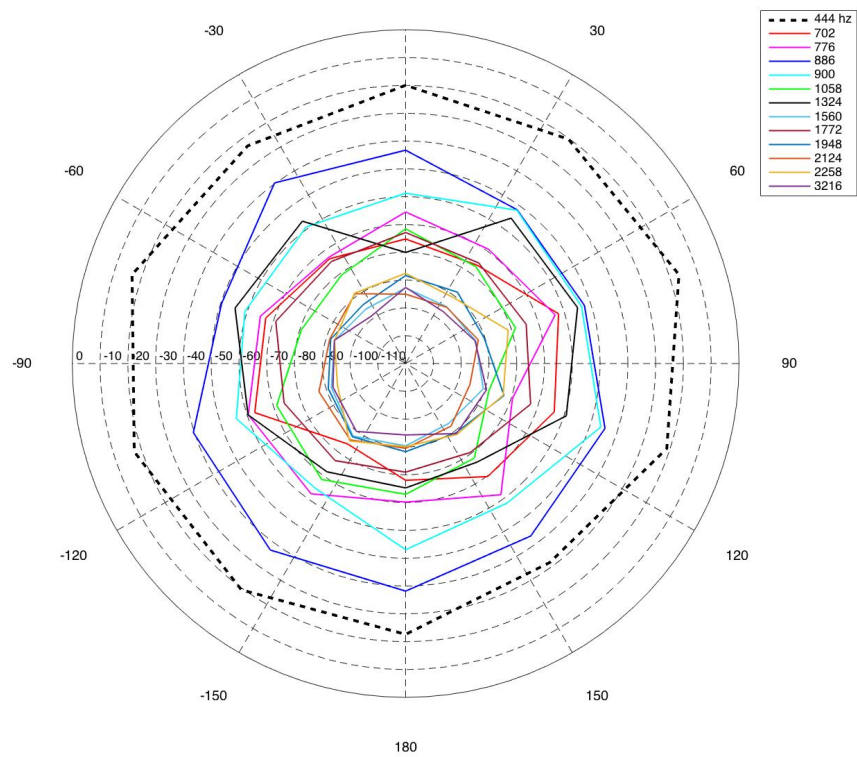
Polarplott av T6, svakt



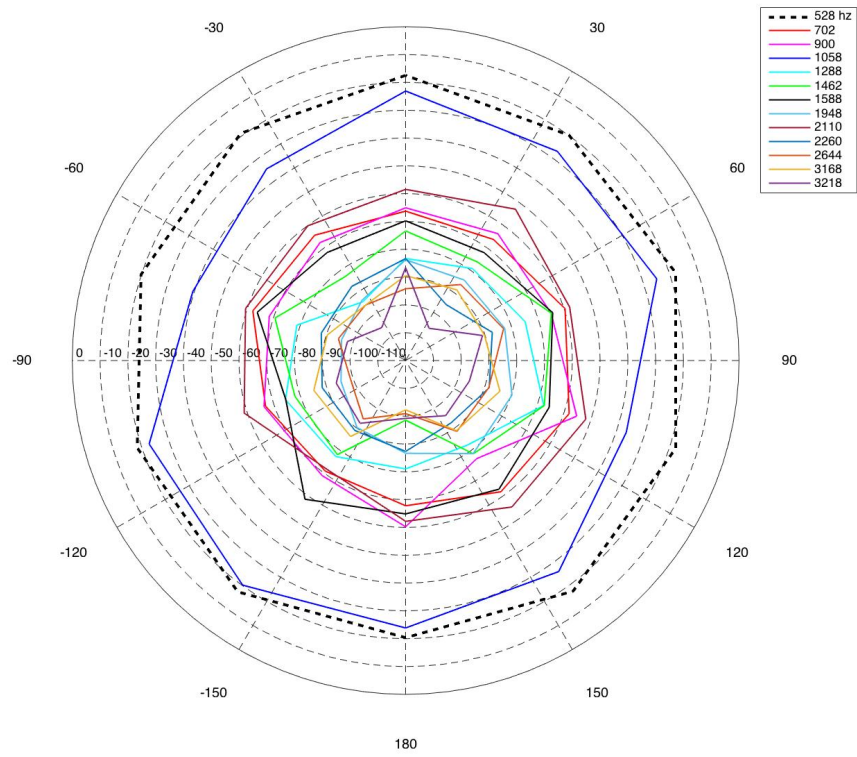
Polarplott av T7, sterkt



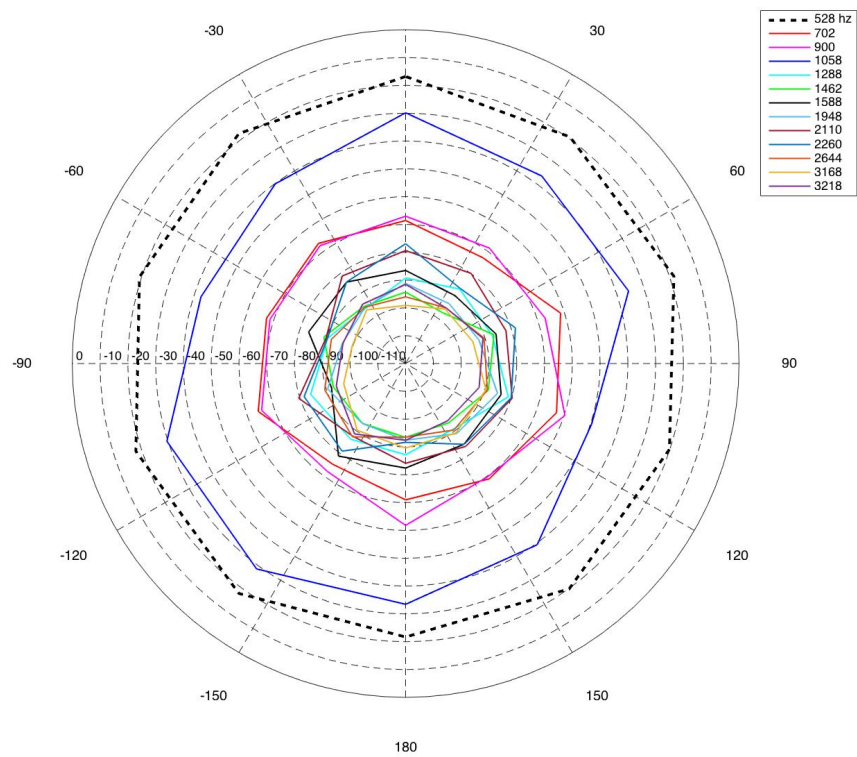
Polarplott av T7, svakt



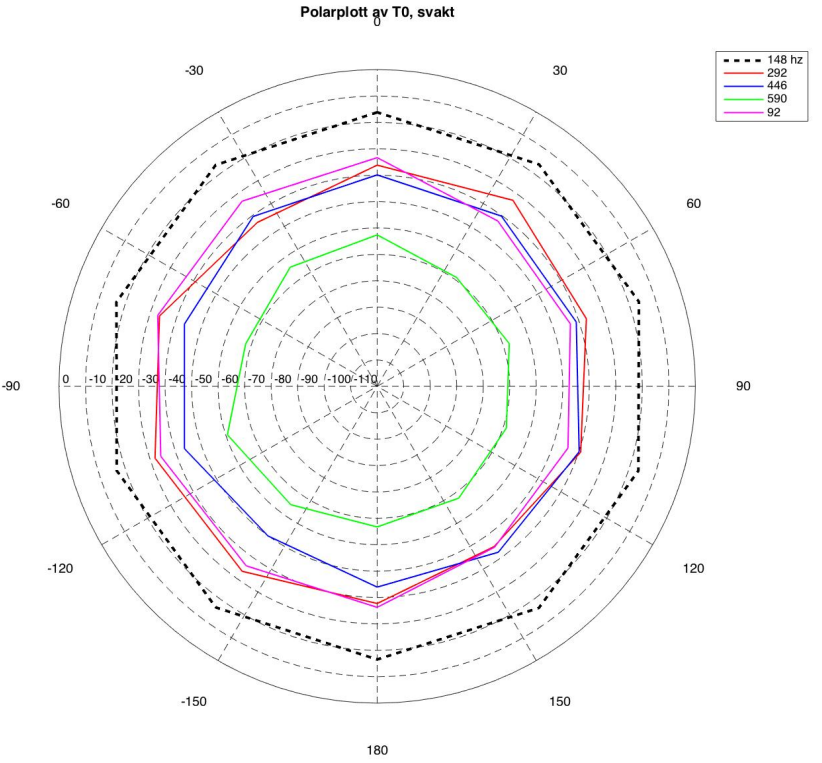
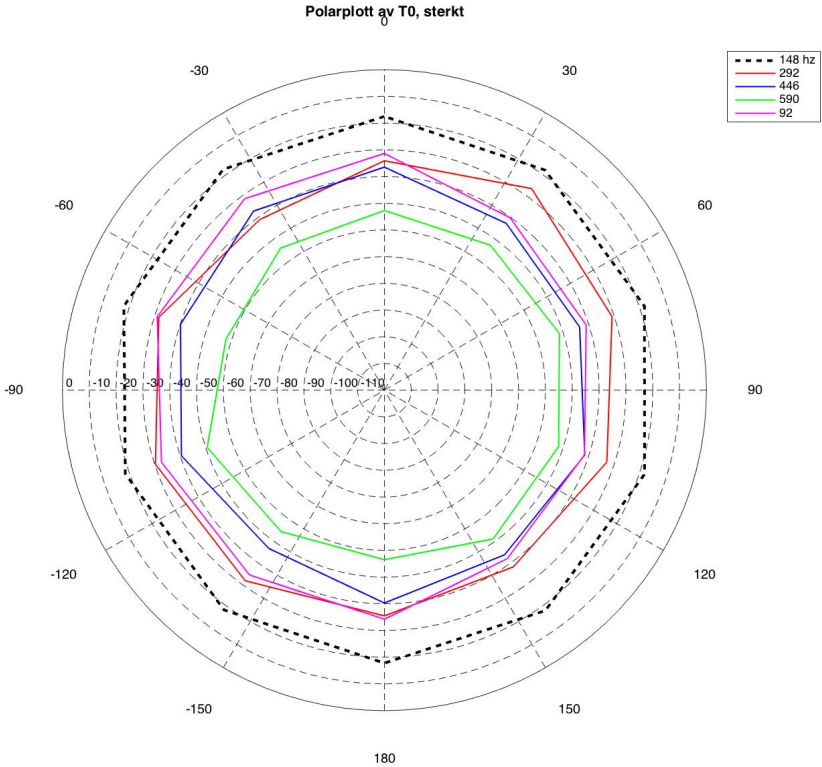
Polarplott av T8, sterkt



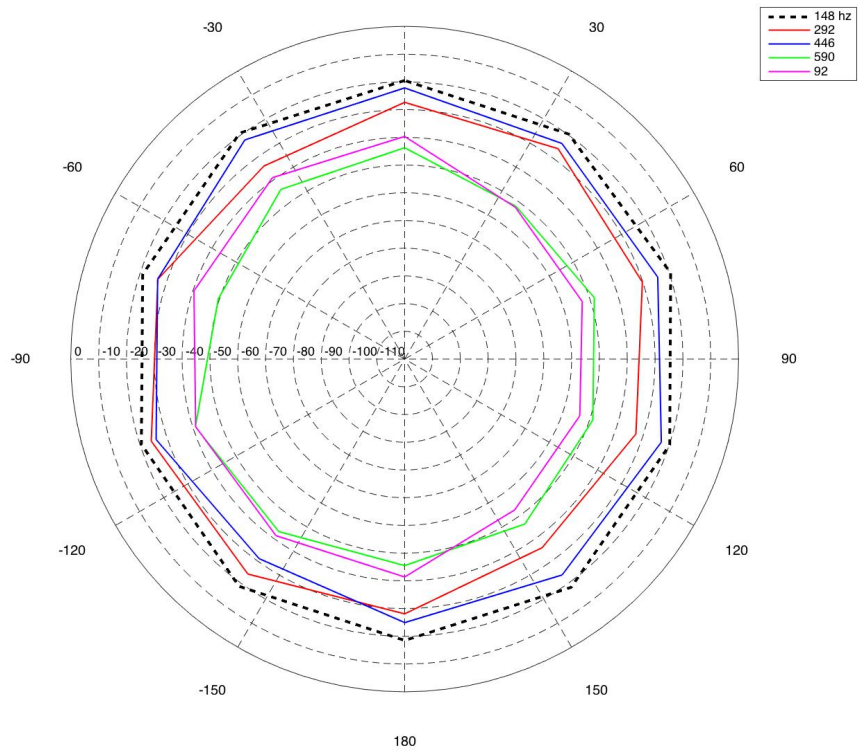
Polarplott av T8, svakt



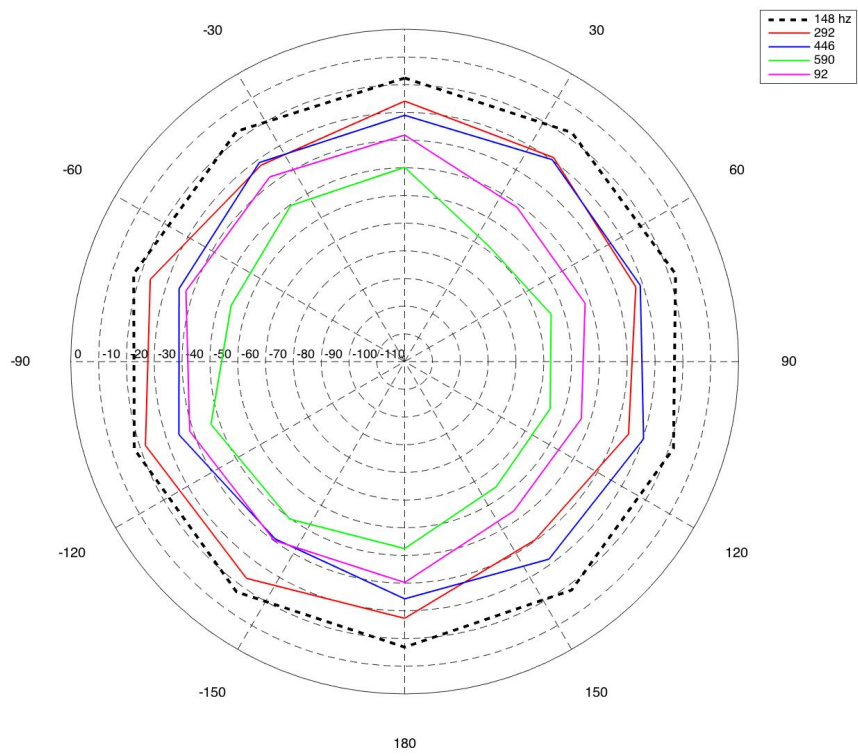
Appendix C – Polardiagrammer, harmoniske overtoner



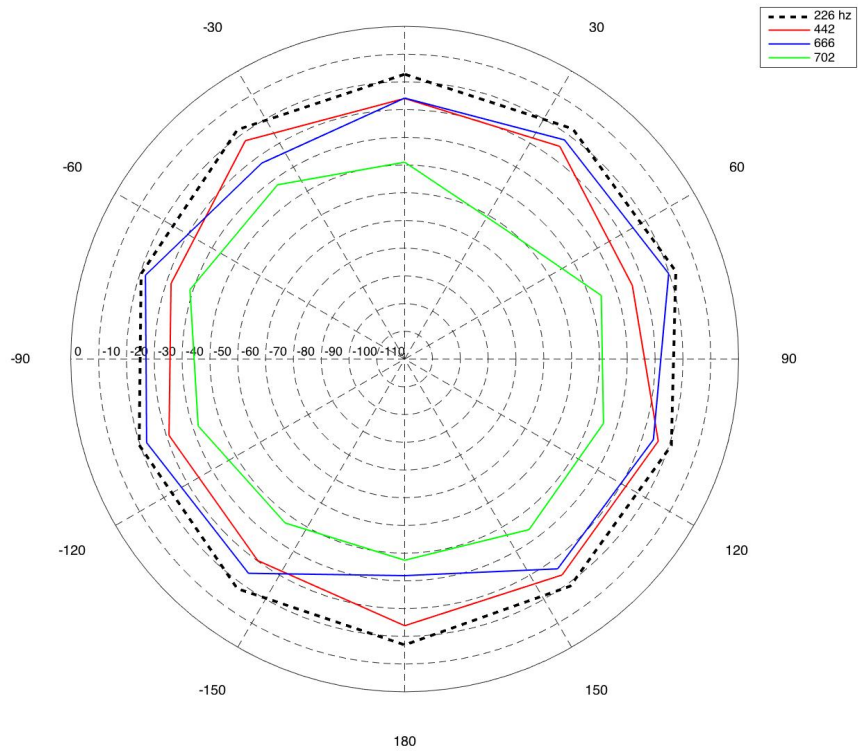
Polarplott av T0u, sterkt



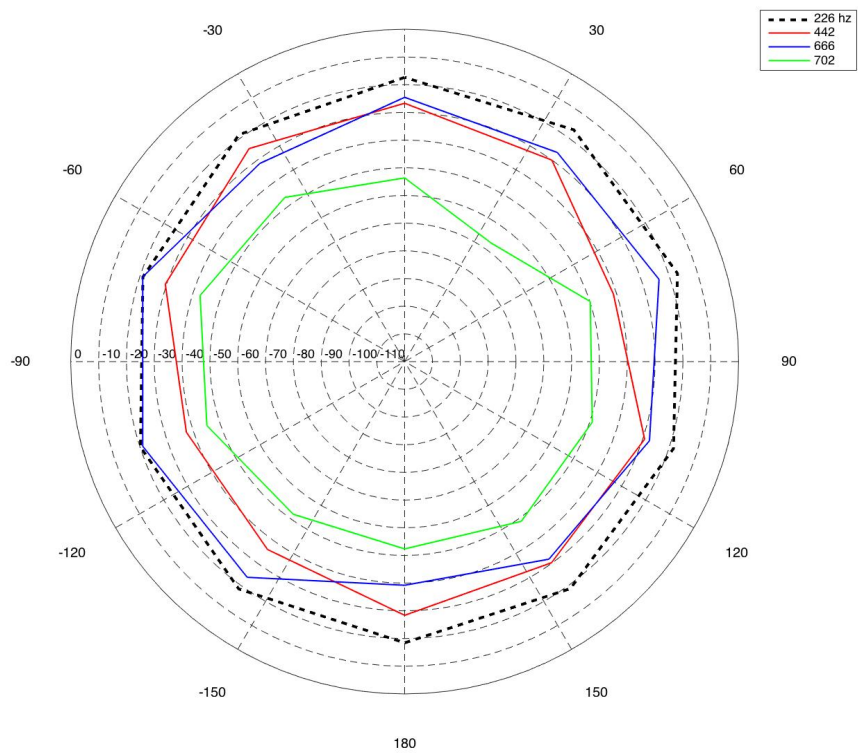
Polarplott av T0u, svakt



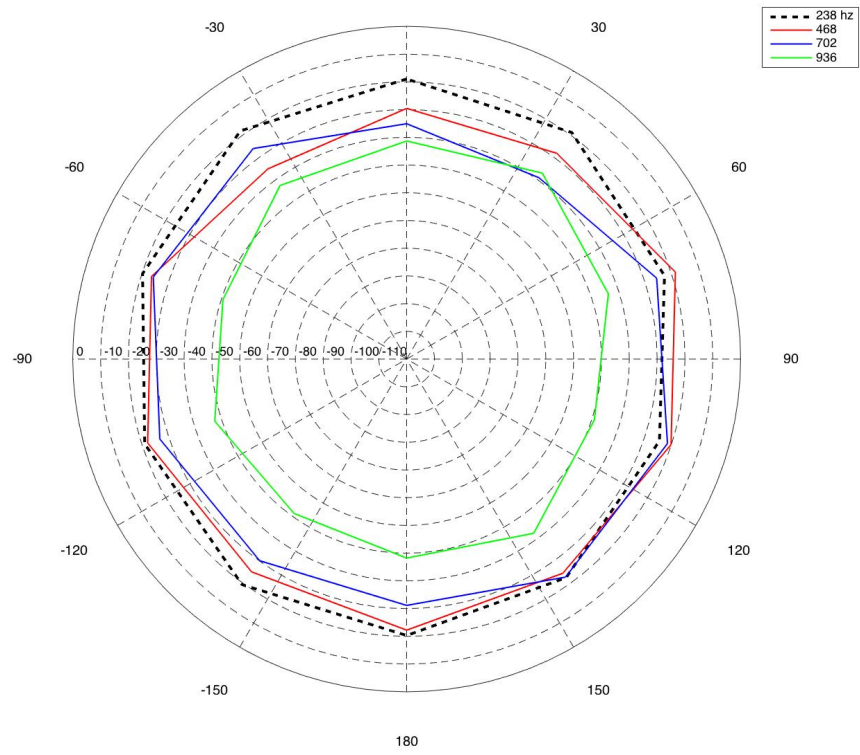
Polarplott av T1, sterkt



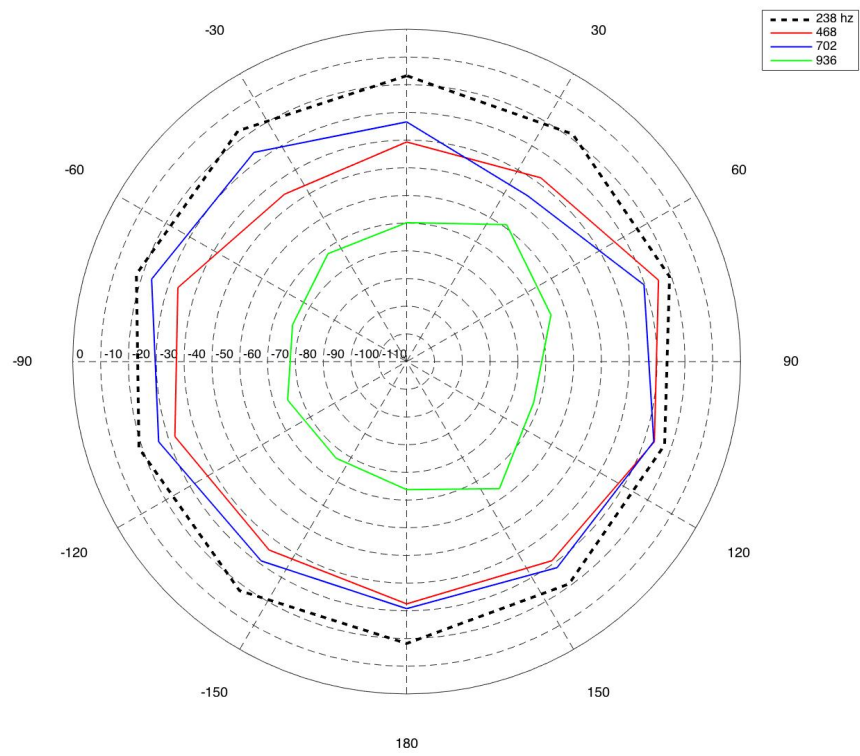
Polarplott av T1, svakt



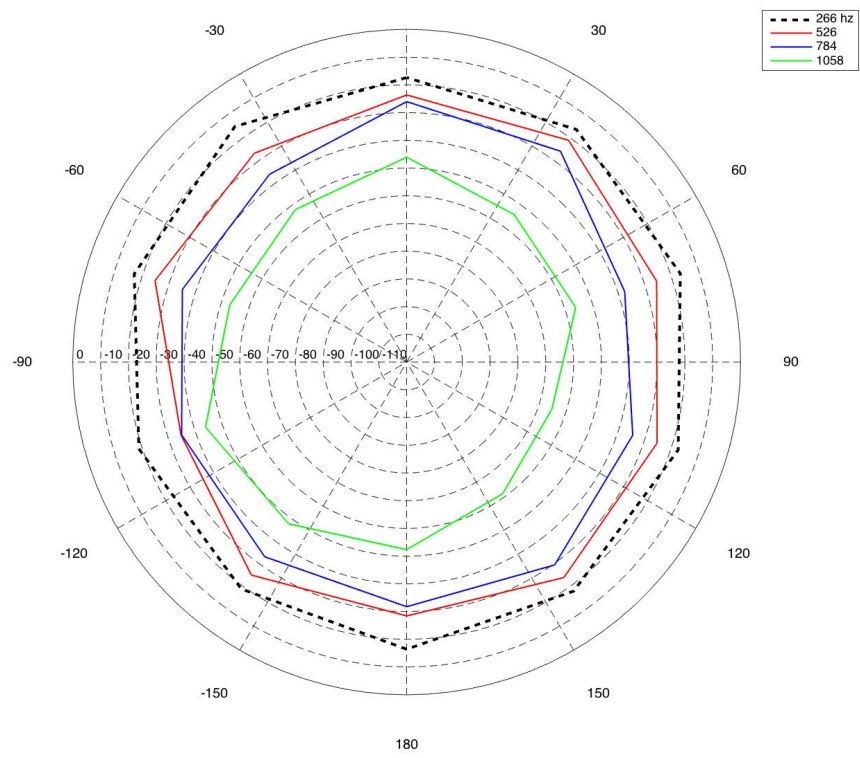
Polarplott av T2, sterkt



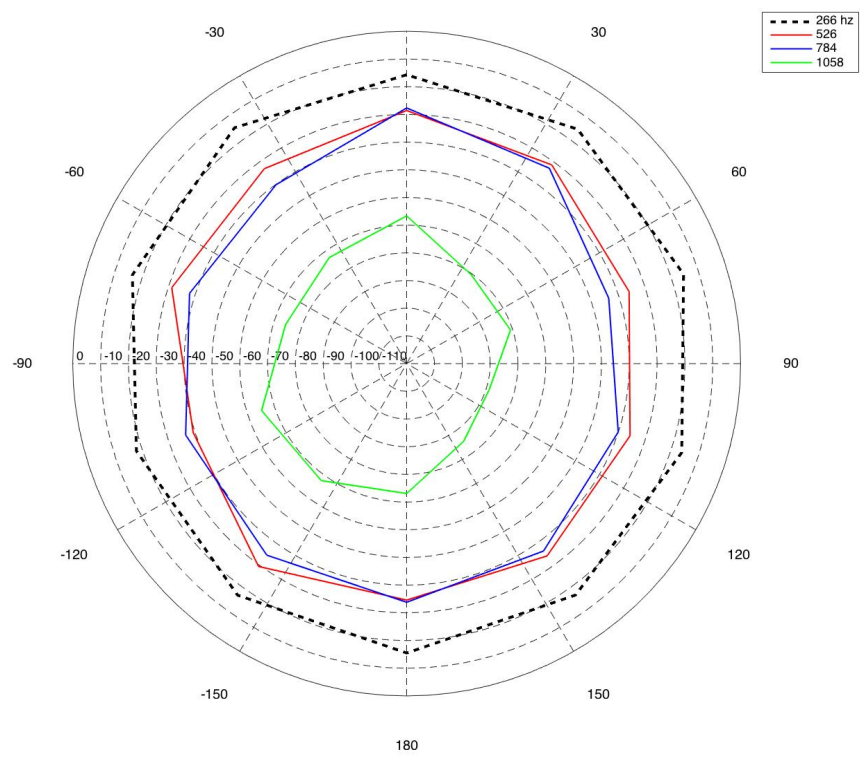
Polarplott av T2, svakt



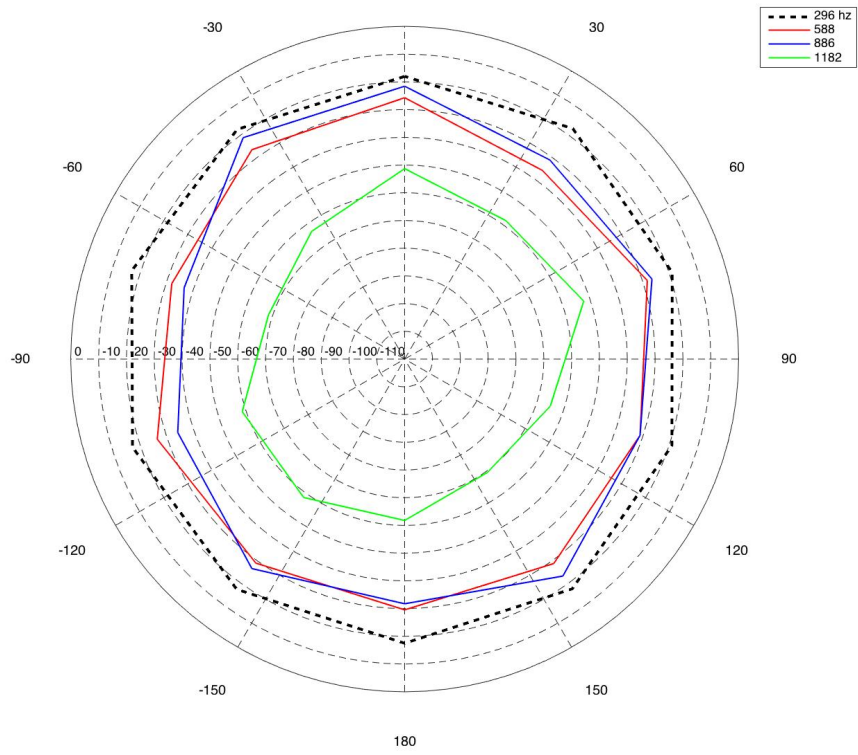
Polarplott av T3, sterkt



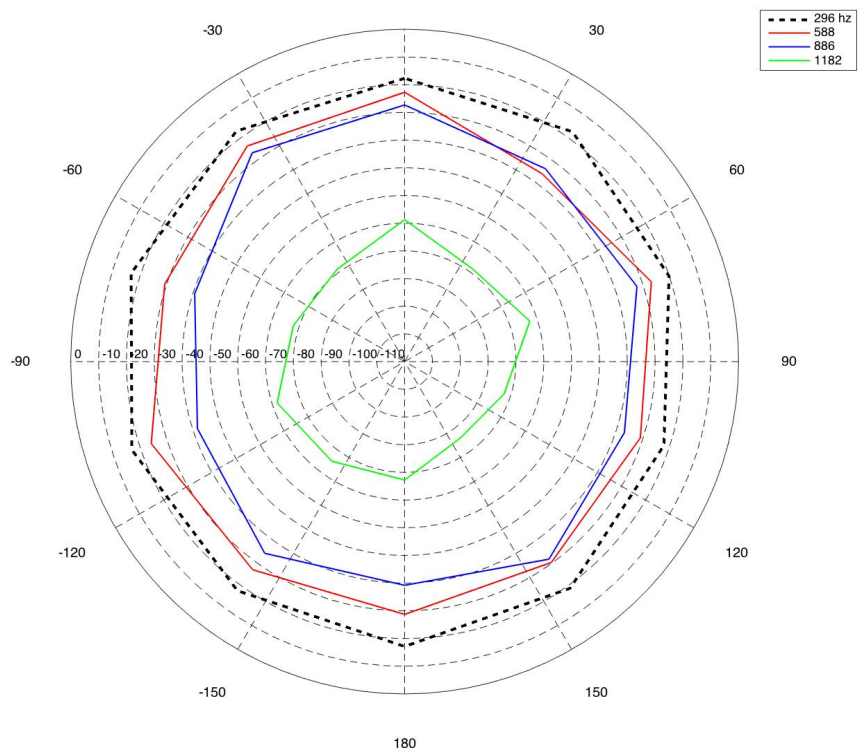
Polarplott av T3, svakt



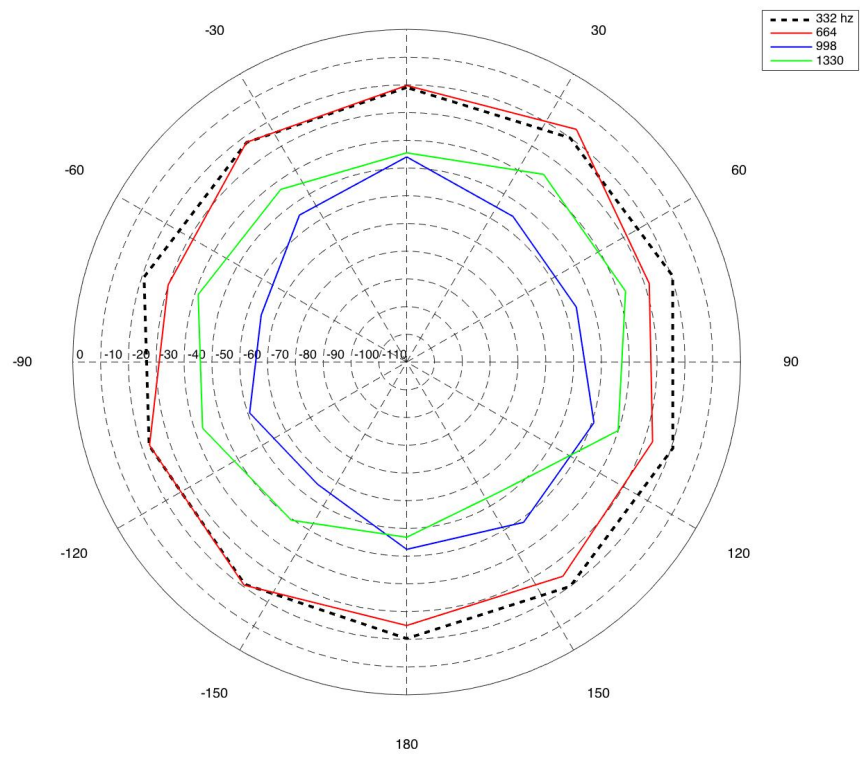
Polarplott av T4, sterkt



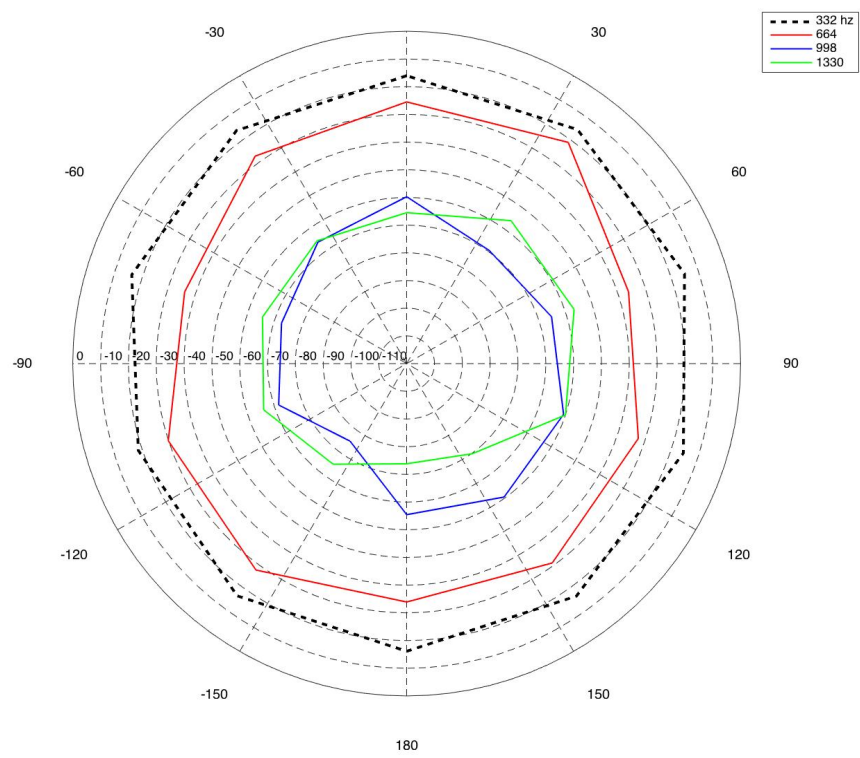
Polarplott av T4, svakt



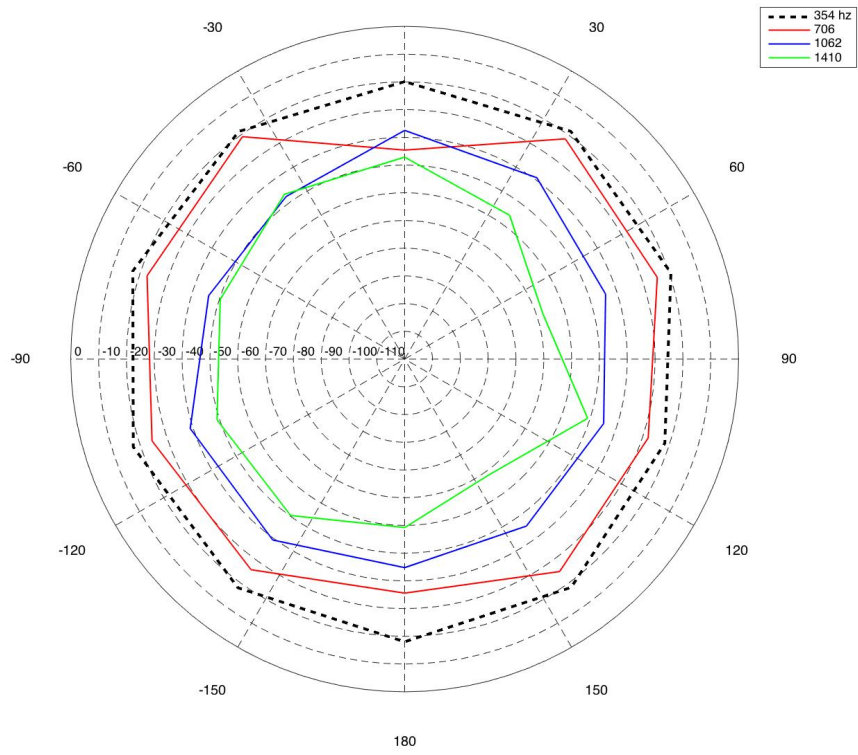
Polarplott av T5, sterkt



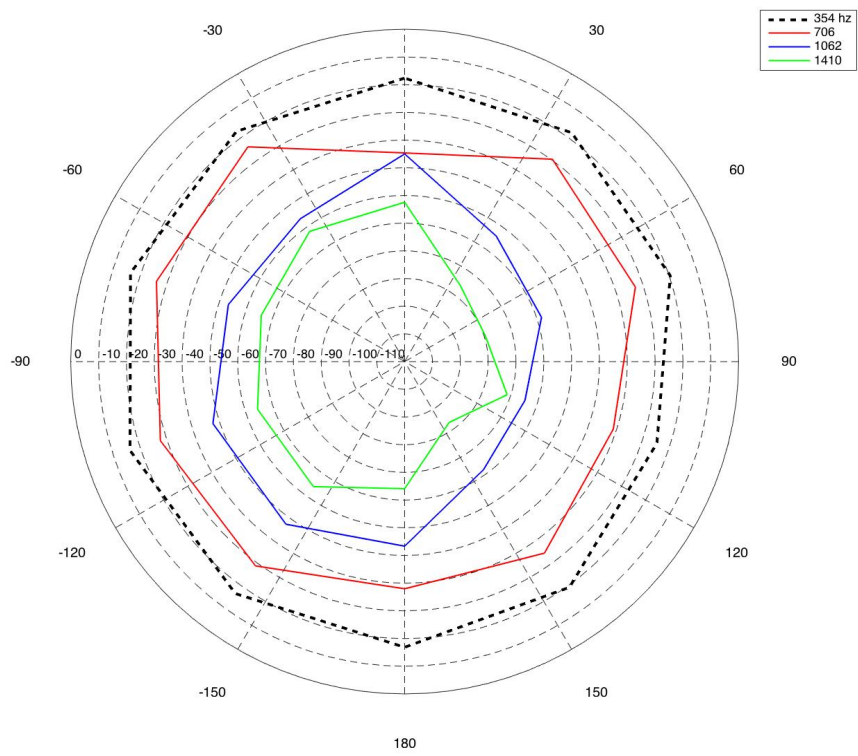
Polarplott av T5, svakt



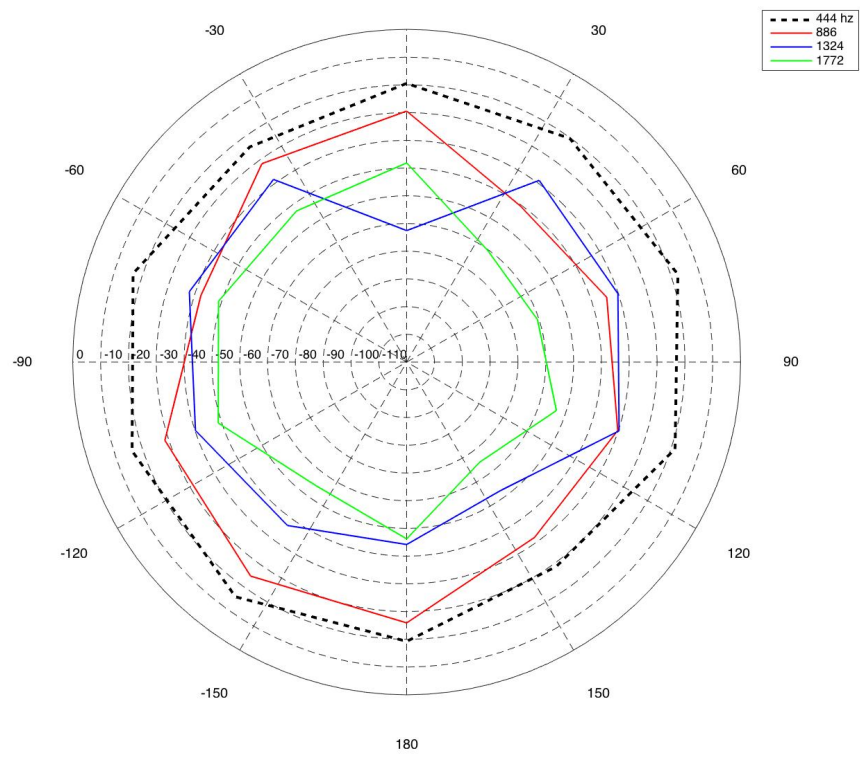
Polarplott av T6, sterkt



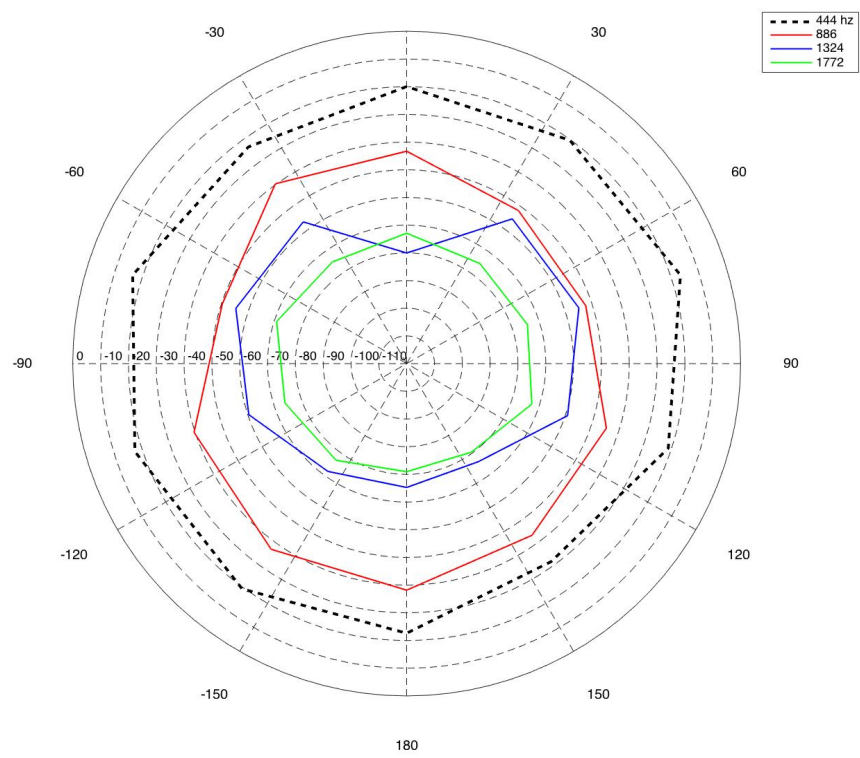
Polarplott av T6, svakt



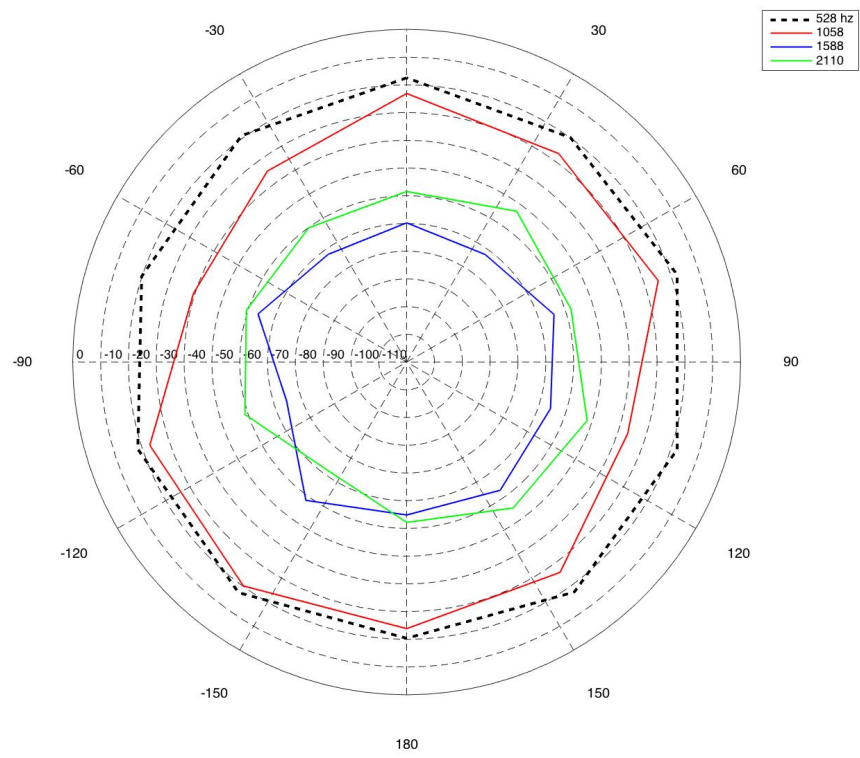
Polarplott av T7, sterkt



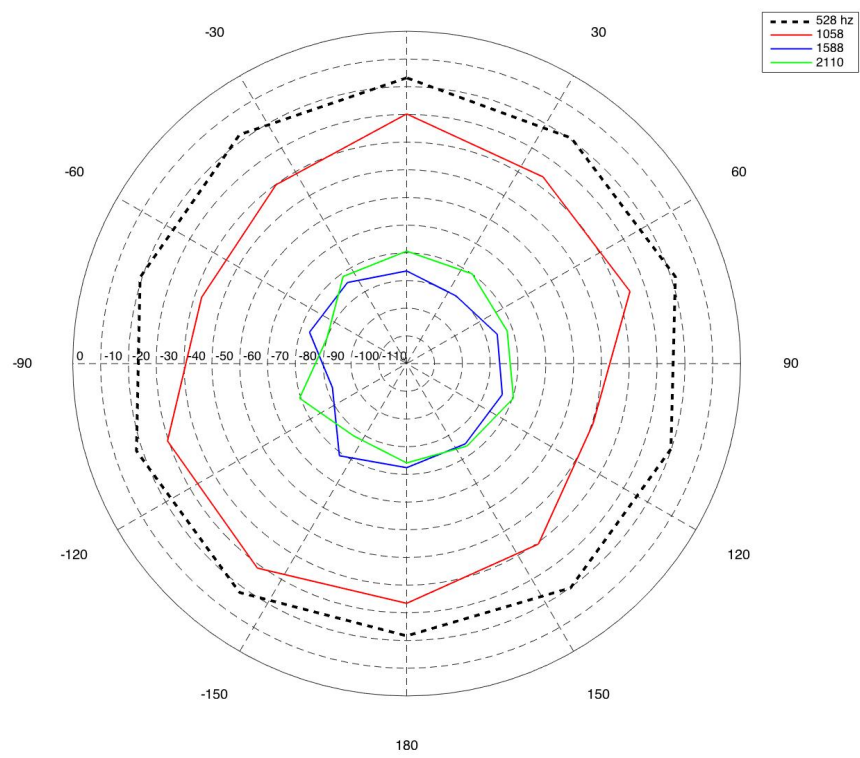
Polarplott av T7, svakt



Polarplott av T8, sterkt



Polarplott av T8, svakt



Appendix D – Matlab-koder

Sjekk_lengde.m

```
% test for lengde på audiofil, hvis ikke 0.5000 sek: si ifra og skriv fil

pat =
'/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Ekkofritt2_Toneutklipp/T0/sterkt'
;

% Check to make sure that folder actually exists. Warn user if it doesn't.
if ~isdir(pat)
    errorMessage = sprintf('Error: The following folder does not exist:\n%s', pat);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
end

mappe = [];
allfiles = getAllFiles(pat); % henter ut alle filer i en sti
for k=1:numel(allfiles)
    filename = allfiles(k);
    filename = char(filename);
    [filepath, name, ext] = fileparts(filename); % deler opp filnavnet
    if name(1) == '.' % hopp over filer som starter med
        continue
    end
    file = [name, ext]; % lager string av filnavn og
    filending
    info = audioinfo(filename);
    if info.Duration == 0.5000 || info.TotalSamples == 22050;
        continue
    else
        info.Duration < 0.5000 || info.Duration > 0.5000 ;
        x = [file, ' har feil lengde!'];
        if length(x) < 34
            x = [file, ' har feil lengde!']; % legg ekstra space for Å få lik
            lengde på alle x
        end
        mappe = [mappe; x];
    end
end
```

```
        disp(x)
    end
end

lengd = 'sjekklengde.txt';
fid = fopen(lengd, 'wt');

for i = 1:size(mappe)
    fprintf(fid, mappe(i,:));
    fprintf(fid, '\n');
end
```

peaklist.m

```
function peaklist(fil)

% Analyserer en lyd med FFT og findpeaks()
% Skriver ut en .txt-fil med frekvens og amplitude på peaks/overtoner
%
% fil = navn paa lydfil og txtfil, f.eks 'test_1'
% filending settes paa i koden
% (kladd i peaks_test.m)

file = [fil, '.wav']; % get audio file from function
[x, fs] = audioread(file);
x = x(:,1); % get the first channel
xmax = max(abs(x)); % find the maximum value
x = x/xmax; % scalling the signal

% time & discretisation parameters
N = length(x);

% spectral analysis
win = hanning(N); % window
K = sum(win)/N; % coherent amplification of the window
X = abs(fft(x.*win))/N; % FFT of the windowed signal
NUP = ceil((N+1)/2); % calculate the number of unique points
X = X(1:NUP); % FFT is symmetric, throw away second half
if rem(N, 2) % odd nfft excludes Nyquist point
    X(2:end) = X(2:end)*2;
else % even nfft includes Nyquist point
    X(2:end-1) = X(2:end-1)*2;
end
f = (0:NUP-1)*fs/N; % frequency vector
X = 20*log10(X); % spectrum magnitude

% find the peaks in the spectrum

indx=f >= 70 & f <= 3500; % how much of spectrum to analyze (<70 = noise, 3500> =
ingen overtoner)

fsub=f(indx); % Frequency
```

```

Ssub=X(indx);    % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 5);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 100 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([100, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend'); % liste over posisjonene, sortert fra
lavest til hoyest

fStabl = [fsub(Loc).', Ssub(Loc)];    % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% lag tekstfil
txtfil = [fil, '.txt'];
fid = fopen(txtfil, 'wt'); % Open for writing
for i=1:size(fStabl,1)
    fprintf(fid, '%4i    %2.3f\n', fStabl(i,:));
end
fclose(fid);

```

peaklist2.m

```
function peaklist2(fil)

% Analyserer en lydfil med FFT, skriver ut en liste med amplituder ut fra
% definert frekvensvektor. Delt inn i 500hz bins for fordeling mellom
% peaks i alle frekvensomraader
%
% fil = navn på lydfil og txtfil som str

file = [fil, '.wav'];
[x, fs] = audioread(file);
x = x(:,1);           % get the first channel
xmax = max(abs(x));   % find the maximum value
x = x/xmax;          % scaling the signal

% time & discretisation parameters
N = length(x);
t = (0:N-1)/fs;

% spectral analysis
win = hanning(N);    % window
K = sum(win)/N;      % coherent amplification of the window
X = abs(fft(x.*win))/N; % FFT of the windowed signal
NUP = ceil((N+1)/2); % calculate the number of unique points
X = X(1:NUP);        % FFT is symmetric, throw away second half
if rem(N, 2)         % odd nfft excludes Nyquist point
    X(2:end) = X(2:end)*2;
else                 % even nfft includes Nyquist point
    X(2:end-1) = X(2:end-1)*2;
end

f = (0:NUP-1)*fs/N;  % frequency vector
X = 20*log10(X);     % spectrum magnitude

% find the peaks in the spectrum

% 1
indx=f >= 75 & f <= 500; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);       % Frequency
```

```

Ssub=X(indx);    % Magnitude

% Fjern frekvenser med st-y, 100, 200, 300 og rundt
for i = 1:length(fsub)
    if (fsub(i)==98) || ...
        (fsub(i)==100) || ...
        (fsub(i)==102) || ...
        (fsub(i)==198) || ...
        (fsub(i)==200) || ...
        (fsub(i)==202) || ...
        (fsub(i)==300);
        Ssub(i) = -120;
    continue
end
end

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 5, 'MinPeakHeight',
-80);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 12 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([11, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStabl = [fsub(Loc).', Ssub(Loc)];    % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% 2
indx=f >= 500 & f <= 1000; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);    % Frequency
Ssub=X(indx);    % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 3, 'MinPeakHeight',
-80);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 10 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([10, length(sortedValues)])
end

```



```

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStab2 = [fsub(Loc).', Ssub(Loc)];      % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% 3

indx=f >= 1000 & f <= 1500; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);    % Frequency
Ssub=X(indx);    % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 3);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 10 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([9, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStab3 = [fsub(Loc).', Ssub(Loc)];      % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% 4

indx=f >= 1500 & f <= 2000; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);    % Frequency
Ssub=X(indx);    % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 2, 'MinPeakHeight',
-100);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 10 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([8, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStab4 = [fsub(Loc).', Ssub(Loc)];      % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% 5

indx=f >= 2000 & f <= 2500; % how much of spectrum to analyze

```

```

fsub=f(indx);    % Frequency
Ssub=X(indx);   % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 1);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 10 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([3, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStab5 = [fsub(Loc).' , Ssub(Loc)];    % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% 6
indx=f >= 2500 & f <= 3000; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);    % Frequency
Ssub=X(indx);   % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 1);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

% Print the 10 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([5, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStab6 = [fsub(Loc).' , Ssub(Loc)];    % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% 7

indx=f >= 3000 & f <= 3500; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);    % Frequency
Ssub=X(indx);   % Magnitude

[peakValues, peakLocations] = findpeaks(Ssub,'MinPeakDistance', 0);
[sortedValues, sortedIndexes] = sort(peakValues, 'descend');
originalLocations = peakLocations(sortedIndexes);

```

```

% Print the 10 largest peak values and their locations
for k = 1 : min([2, length(sortedValues)])
end

Loc = sort(originalLocations(1:k),'ascend');
fStab7 = [fsub(Loc).', Ssub(Loc)]; % matrise med frekvens og amplitudeverdier

% lag tekstfil
txtfil = [fil, '.txt'];
fid = fopen(txtfil, 'wt'); % Open for writing
for i=1:size(fStab1,1)
    fprintf(fid, '%4i      %2.3f\n', fStab1(i,:));
end

fprintf(fid, '\n');
for i=1:size(fStab2,1)
    fprintf(fid, '%4i      %2.3f\n', fStab2(i,:));
end

fprintf(fid, '\n');
for i=1:size(fStab3,1)
    fprintf(fid, '%4i      %2.3f\n', fStab3(i,:));
end

fprintf(fid, '\n');
for i=1:size(fStab4,1)
    fprintf(fid, '%4i      %2.3f\n', fStab4(i,:));
end

fprintf(fid, '\n');
for i=1:size(fStab5,1)
    fprintf(fid, '%4i      %2.3f\n', fStab5(i,:));
end

fprintf(fid, '\n');
for i=1:size(fStab6,1)
    fprintf(fid, '%4i      %2.3f\n', fStab6(i,:));
end

fprintf(fid, '\n');

```

```
for i=1:size(fStab7,1)
    fprintf(fid, '%4i    %2.3f\n', fStab7(i,:));
end

fclose(fid);
```

findamp.m

```
function mat = findamp(file, freq)

% Analyserer en lydfile med FFT, skriver ut en liste med amplituder ut fra
% definert frekvensvektor
%
% file = navn på lydfile som str
% freq = vektor med frekvenser som skal analyseres

[x, fs] = audioread(file);
x = x(:,1);           % get the first channel
xmax = max(abs(x));   % find the maximum value
x = x/xmax;          % scaling the signal

% time & discretisation parameters
N = length(x);

% spectral analysis
win = hanning(N);     % window
X = abs(fft(x.*win))/N; % FFT of the windowed signal
NUP = ceil((N+1)/2);  % calculate the number of unique points
X = X(1:NUP);         % FFT is symmetric, throw away second half
if rem(N, 2)          % odd nfft excludes Nyquist point
    X(2:end) = X(2:end)*2;
else                  % even nfft includes Nyquist point
    X(2:end-1) = X(2:end-1)*2;
end
f = (0:NUP-1)*fs/N;   % frequency vector
X = 20*log10(X);      % spectrum magnitude

% find the peaks in the spectrum

indx=f >= 70 & f <= 3500; % how much of spectrum to analyze

fsub=f(indx);        % Frequency
Ssub=X(indx);        % Magnitude

frekvek = [fsub];    % frekvensvektor
```

```

ampvek = [Ssub.']; % amplitudevektor

frek = freq;
pos = [];          % vektor med plasseringer
amp = [];          % vektor med amplituder

% henter ut posisjonene til bestemte frekvenser
for c = frek
    x = find(frekvek==c);
    pos = [pos x];
end

% henter ut amplitudene til posisjonene
for i = pos
    b = ampvek(i);
    amp = [amp, b];
end

mat = amp

```

spektrum.m

```
function spektrum(fil)
% Analyserer lydfil med FFT, lagrer spekteret som .jpg-fil
% fil = navn på lydfil og jpgfil som str

% get a section of the sound file
file = [fil, '.wav'];
[x,fs] = audioread(file);
xmax = max(abs(x));      % find the maximum value
x = x/xmax;              % scaling the signal

% time & discretisation parameters
N = length(x);

% spectral analysis
win = hanning(N);        % window
K = sum(win)/N;          % coherent amplification of the window
X = abs(fft(x.*win))/N;  % FFT of the windowed signal
NUP = ceil((N+1)/2);     % calculate the number of unique points
X = X(1:NUP);            % FFT is symmetric, throw away second half
if rem(N, 2)             % odd nfft excludes Nyquist point
    X(2:end) = X(2:end)*2;
else                      % even nfft includes Nyquist point
    X(2:end-1) = X(2:end-1)*2;
end
f = (0:NUP-1)*fs/N;      % frequency vector
X = 20*log10(X);         % spectrum magnitude

% plotting of the spectrum
figure(1)
y = plot(f,X);
%y=semilogx(f, X);
xlim([0, 3500])
ylim([-130, 0])
grid on
set(gca, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 14)
title(['Amplitudespektrum av ', file])
xlabel('Frekvens, Hz')
ylabel('Magnitude, dB')
pic = [fil, '.jpg'];
saveas(y, pic)
```

polardb.m

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% polardb.m
% modified from Matlab's polar.m by K. Bell
% Last updated 8/30/00 by K. Bell
% downloaed from http://gunston.gmu.edu/demt/oap/contents.htm
% changed 2/17/2012 by Bo Peng
% updated 2/25/2012 by bo peng
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function hpol=polardb(theta,rho,lim,NN,line_style)
% polardb(theta,rho,lim,linestyle)
% Polardb is a modified version of the regular 'polar' function.
% Plotting range is -180 to 180 deg with zero at top.
% Theta increases in clockwise manner.
% Inputs:
%   theta - angles in degrees ( axes labeled in degrees)
%   rho   - plot value in dB
%   lim   - lower limit for plot in dB (e.g. -10)
%   NN    - resolution in magnitude (unit dB)
%   line_style - string indicating line style, e.g. '-g' (optional)
% Example polardb(theta,beampatt,-40,'-r')
%
%POLAR Polar coordinate plot.
% POLAR(THETA, RHO) makes a plot using polar coordinates of
% the angle THETA, in radians, versus the radius RHO.
% POLAR(THETA,RHO,S) uses the linestyle specified in string S.
% See PLOT for a description of legal linestyles.
%
% See also PLOT, LOGLOG, SEMILOGX, SEMILOGY.

% Copyright (c) 1984-94 by The MathWorks, Inc.

const=1;
theta=theta/180*pi;
if nargin < 4
    error('Requires 4 or 5 input arguments.')
elseif nargin == 4
    [n,n1]=size(theta);
    if isstr(rho)
        line_style = rho;
```



```

        rho = theta;
        [mr,nr] = size(rho);
        if mr == 1
            theta = 1:nr;
        else
            th = (1:mr)';
            theta = th(:,ones(1,nr));
        end
    else
        line_style = 'auto';
    end
elseif nargin == 3
    line_style = 'auto';
    rho = theta;
    [mr,nr] = size(rho);
    if mr == 1
        theta = 1:nr;
    else
        th = (1:mr)';
        theta = th(:,ones(1,nr));
    end
end
end
if isstr(theta) | isstr(rho)
    error('Input arguments must be numeric.');
```

```

end
if any(size(theta) ~= size(rho))
    error('THETA and RHO must be the same size.');
```

```

end
% NN=1;
nr = size(rho,2);
tck = -floor(lim/NN);
lim = -tck*NN;
I=find(rho<lim);
ni=size(I,2);
rho(I)=lim*ones(1,ni);
rho = rho/NN+tck*ones(1,nr);

% get hold state
cax = newplot;
next = lower(get(cax,'NextPlot'));
hold_state = ishold;

% get x-axis text color so grid is in same color
```

```

tc = get(cax,'xcolor');

% Hold on to current Text defaults, reset them to the
% Axes' font attributes so tick marks use them.
fAngle = get(cax, 'DefaultTextFontAngle');
fName   = get(cax, 'DefaultTextFontName');
fSize   = get(cax, 'DefaultTextFontSize');
fWeight = get(cax, 'DefaultTextFontWeight');
set(cax, 'DefaultTextFontAngle', get(cax, 'FontAngle'), ...
    'DefaultTextFontName',    get(cax, 'FontName'), ...
    'DefaultTextFontSize',    get(cax, 'FontSize'), ...
    'DefaultTextFontWeight',  get(cax, 'FontWeight') )

% only do grids if hold is off
if ~hold_state

% make a radial grid
    hold on;
    hhh=plot([0 max(theta(:))],[0 max(abs(rho(:)))]);
    v = [get(cax,'xlim') get(cax,'ylim')];
    ticks = length(get(cax,'ytick'));
    delete(hhh);

% check radial limits and ticks
    rmin = 0; rmax = v(4); rticks = ticks-1;
    if rticks > 5 % see if we can reduce the number
        if rem(rticks,2) == 0
            rticks = rticks/2;
        elseif rem(rticks,3) == 0
            rticks = rticks/3;
        end
    end

% define a circle
    th = 0:pi/50:2*pi;
    xunit = cos(th);
    yunit = sin(th);

% now really force points on x/y axes to lie on them exactly
    inds = [1:(length(th)-1)/4:length(th)];
    xunits(inds(2:2:4)) = zeros(2,1);
    yunits(inds(1:2:5)) = zeros(3,1);
    if ~isstr(get(cax,'color')),
        patch('xdata',xunit*rmax,'ydata',yunit*rmax, ...
            'edgecolor',tc,'facecolor',get(gca,'color'),...

```

```

        'handlevisibility','off');
    end
%   rinc = (rmax-rmin)/rticks;
        rinc = const;
%   for i=(rmin+rinc):rinc:rmax
        for i=[1:1:tck-1]
%   for i=rmax:rmax
            plot(const*xunit*i,const*yunit*i,'--
', 'color',tc,'linewidth',0.5,'handlevisibility','off');
%       text(0,i+rinc/20,[' ' num2str(10*(i-tck))],'verticalalignment','bottom' );
            text(const*(-i+rinc/(1000)),0,[' ' num2str(NN*(i-
tck))],'verticalalignment','bottom','fontsize',9 );
        end
plot(const*xunit*tck,const*yunit*tck,'-
', 'color',tc,'linewidth',0.5,'handlevisibility','off');
text(const*(-tck+rinc/(1000)),0,[' ' num2str(NN*(tck-
tck))],'verticalalignment','bottom' ,'fontsize',9);
% plot spokes
        th = (1:6)*2*pi/12;
%   th = (1:2)*2*pi/4;
        cst = cos(th); snt = sin(th);
        cs = [-cst; cst];
        sn = [-snt; snt];
        plot(const*rmax*cs,const*rmax*sn,'--','color',tc,'linewidth',0.5);

% annotate spokes in degrees
%   rt = 1.1*rmax;
        rt = 1.15*rmax;
        for i = 1:max(size(th))

text(const*rt*snt(i),const*rt*cst(i),int2str(i*30),'horizontalalignment','center'
);

        loc = int2str(i*30-180);
%       if i == max(size(th))
%           loc = int2str(0);
%       end
        text(-const*rt*snt(i),-const*rt*cst(i),loc,'horizontalalignment','center'
);
    end

% set viewto 2-D
        view(0,90);
% set axis limits
        axis(rmax*[-1 1 -1.1 1.1]);
end

```

```

% Reset defaults.
set(cax, 'DefaultTextFontAngle', fAngle , ...
    'DefaultTextFontName', fName , ...
    'DefaultTextFontSize', fSize, ...
    'DefaultTextFontWeight', fWeight );

% transform data to Cartesian coordinates.
yy = const*rho.*cos(theta);
xx = const*rho.*sin(theta);

% plot data on top of grid
if strcmp(line_style,'auto')
    q = plot(xx,yy);
else
    q = plot(xx,yy,line_style);
end
set(q,'LineWidth',1.0);
if nargin > 0
    hpol = q;
end
if ~hold_state
    axis('equal');axis('off');
end

% reset hold state
if ~hold_state, set(cax,'NextPlot',next); end

```

sjekklengde.m

```
% test for lengde på audiofil, hvis ikke 0.5000 sek: si ifra og skriv fil

pat =
'/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Ekkofritt2_Toneutklipp/T0/sterkt'
;

% Check to make sure that folder actually exists. Warn user if it doesn't.
if ~isdir(pat)
    errorMessage = sprintf('Error: The following folder does not exist:\n%s', pat);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
end

mappe = [];
allfiles = getAllFiles(pat); % henter ut alle filer i en sti
for k=1:numel(allfiles)
    filename = allfiles(k);
    filename = char(filename);
    [filepath, name, ext] = fileparts(filename); % deler opp filnavnet
    if name(1) == '.' % hopp over filer som starter med
        continue
    end
    file = [name, ext]; % lager string av filnavn og
    filending
    info = audioinfo(filename);
    if info.Duration == 0.5000 || info.TotalSamples == 22050;
        continue
    else
        info.Duration < 0.5000 || info.Duration > 0.5000 ;
        x = [file, ' har feil lengde!'];
        if length(x) < 34
            x = [file, ' har feil lengde!']; % legg ekstra space for å få lik
lengde på alle x
        end
        mappe = [mappe; x];
        disp(x)
    end
end
end
```

```
lengd = 'sjekklengde.txt';  
fid = fopen(lengd, 'wt');  
  
for i = 1:size(mappe)  
    fprintf(fid, mappe(i,:));  
    fprintf(fid, '\n');  
end
```

Kontrlkode_findamp2.m

```
% Kontrollkode gj.snitt på findamp.m
% Inneholder frekvensvektorer som skal analyseres, gjør iterasjon fra
% mapper på ekstern harddisk. Navn på elementer i listen endres manuelt underveis
% etter hvilke toner og vinkler som skal analyseres

%{
% Vektorer med alle frekvenser
T0 = [148, 292, 446, 590, 886, 936, 1030, 1192, 1484, 1518, 1552, 2226, 2954];
T0u = [148, 292, 446, 588, 666, 784, 936, 1030, 1192, 1258, 1476, 1516, 1624, 1776,
1922, 2210, 2226, 2668, 2834, 3202 ];
T1 = [226, 442, 666, 702, 1182, 1330, 1486, 1556, 1942, 2226, 2560, 2914, 3024];
T2 = [238, 468, 702, 936, 1030, 1176, 1194, 1290, 1484, 1556, 1786, 1944, 2252];
T3 = [266, 440, 526, 774, 784, 1058, 1290, 1460, 1486, 1514, 1558, 1946, 2252];
T4 = [296, 354, 588, 702, 886, 1182, 1258, 1558, 1722, 1772, 1856, 1946, 2256];
T5 = [332, 444, 526, 664, 886, 998, 1330, 1560, 1720, 1948, 1978, 2226, 2318];
T6 = [354, 488, 664, 706, 886, 1062, 1258, 1410, 1560, 1764, 1948, 2118, 2822];
T7 = [444, 702, 776, 886, 900, 1058, 1324, 1560, 1772, 1948, 2124, 2258, 3216];
T8 = [528, 702, 900, 1058, 1288, 1462, 1588, 1948, 2110, 2260, 2644, 3168, 3218];
%}

% Vektorer med frekvenser, for plott med bare harmoniske overtoner
T0 = [92, 148, 292, 446, 590]; % har med helmholz-frekvens på T0 og T0u
T0u = [92, 148, 292, 446, 590];
T1 = [226, 442, 666, 702]; % 702 egentlig ikke harmonisk, men viktig for
spekteret...
T2 = [238, 468, 702, 936];
T3 = [266, 526, 784, 1058];
T4 = [296, 588, 886, 1182];
T5 = [332, 664, 998, 1330];
T6 = [354, 706, 1062, 1410];
T7 = [444, 886, 1324, 1772];
T8 = [528, 1058, 1588, 2110];

%%% Hente amplitudene ut med findamp %%%

% Bruker spesifikke stier til ekstern harddisk
pat =
'/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Ekkofritt2_Toneutklipp/T8/svakt';
% hente lydfile herfra, endres underveis
```

```

savepat =
'/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Data/Amplitudelister3/T8/'; %
lagre amplot her

% Check to make sure that folder actually exists. Warn user if it doesn't.
if ~isdir(pat)
    errorMessage = sprintf('Error: The following folder does not exist:\n%s', pat);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
end

fil=fullfile(pat,'*v10*.wav'); % velg her hva filnavnet skal inneholde, endres på
underveis for Å fÅ med alle vinkler
d=dir(fil); % mappe med filer
vek = T8.%; % frekvensvektoren, gjør om til kolonne
for k=1:numel(d)
    filename=fullfile(pat,d(k).name); % lager fullstendige filnavn, k stykker av
innholdet til d
    [filepath, name, ext] = fileparts(filename); % deler opp filnavnet
    if name(1) == '.' % hopp over skjulte filer som starter med '.'
        continue
    end

    mat = findamp(filename, T8).%; % henter ut amp fra lydfile, lagrer som kolonne
    vek = [vek, mat]; % amp legges til i matrise

    % skriv fil, velg lagringssti
    txtfil = 'T8_v10_sv.txt'; % navn på fil som skal lagres
    savefile = [savepat, txtfil]; % legger filnavn inn i lagringspath
    fid = fopen(savefile, 'wt'); % Åpner fil, lager en ID til filen
    for i = 1:size(vek, 1);
        fprintf(fid, '%4i %3.3f %3.3f %3.3f %3.3f %3.3f %3.3f %3.3f
%3.3f ', vek(i,:));
        fprintf(fid, '\n');
    end

    fclose(fid);

end
end

```


Kontrlkode_gjsnitt.m

```
% Regne ut gjennomsnitt av hvert element i hver vinkel i en matrise

pat = '/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Data/Amplitudelister3/T8';
% hente txtfiler fra her

savepat =
'/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Data/Gjennomsnittslister3/'; %
lagre gjsnittsfiler her

% Check to make sure that folder actually exists. Warn user if it doesn't.
if ~isdir(pat)
    errorMessage = sprintf('Error: The following folder does not exist:\n%s', pat);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
end

% Legge verdier til i lister og regne ut gjennomsnitt
fil=fullfile(pat,'*sv.txt'); % sett inn ønsket mønster på filnavn, endres
underveis
d=dir(fil);
vek3 = [];
for k=1:numel(d)
    filename=fullfile(pat,d(k).name);
    [filepath, name, ext] = fileparts(filename); % deler opp filnavnet
    if name(1) == '.' % hopp over filer som starter med
        continue
    end
    file = [name, ext]; % lager string av filnavn og filending
    vek1 = load(file); % laster inn txtfil som matrise
    b = vek1(:,1); % trekker ut første kolonne, altså
    frekvenskolonnen
    vek2 = vek1(:,2:end); % lager ny matrise / kolonne uten frekvensverdier
    x = mean(vek2, 2); % regner ut gjennomsnitt av alle rader (dim 2)
    vek3 = [vek3, x]; % legger gjsnittsverdiene i matrisen vek3
end
    vek3 = [b, vek3]; % setter frekvensene foran gjennomsnittsverdiene,
    som kolonne 1

% print txtfil til spesifikk path/sti
txtfil = 'Gjsn_T8_sv.txt'; % navn på fil som skal lagres
savefile = [savepat, txtfil]; % filnavn med lagringssti
fid = fopen(savefile, 'wt'); % Åpner fil, lager en ID til filen
```

```
for ii = 1:size(vek3, 1);
    fprintf(fid, '%4i    %2.3f    %2.3f    %2.3f    %2.3f    %2.3f    %2.3f
%2.3f    %2.3f    %2.3f    %2.3f', vek3(ii,:));
    fprintf(fid, '\n');
end
fclose(fid);
```

Kontrlkode_polarplott.m

```
% kode som lager polarplott med polardb.m
% Koden er litt rotete, med mye som er kommentert vekk. Dette er fordi den
% har blitt brukt til mange forskjellige plott med ulikt antall grafer, her
% opp til 20 i ett plott.

% stier for henting og evt lagring
pat = '/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Data/Gjennomsnittslister3';
% hente gjsnittsfiler fra her
savepat = '/Volumes/VALBJORG_HD/MASTER_MUSTEK/MASTEROPPGAVE/Data/Polarplott/'; %
lagre polarplott her

% Check to make sure that folder actually exists. Warn user if it doesn't.
if ~isdir(pat)
    errorMessage = sprintf('Error: The following folder does not exist:\n%s', pat);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
end

% Vinklene i polardiagrammet
thet = [-0, -36, -72, -108, -144, 180, 144, 108, 72, 36, -0];

filename = 'Gjsn_T8_sv.txt';
x = load(filename); % lager .txt-fil til en matrise

% hver linje i x uten frekvenskolonne, legger til f_rste element bakerst for A
slutte sirkelen.
x01 = x(1,2:end); x01 = [x01, x01(1)];
x02 = x(2,2:end); x02 = [x02, x02(1)];
x03 = x(3,2:end); x03 = [x03, x03(1)];
x04 = x(4,2:end); x04 = [x04, x04(1)];
%x05 = x(5,2:end); x05 = [x05, x05(1)];
%{
x06 = x(6,2:end); x06 = [x06, x06(1)];
x07 = x(7,2:end); x07 = [x07, x07(1)];
x08 = x(8,2:end); x08 = [x08, x08(1)];
x09 = x(9,2:end); x09 = [x09, x09(1)];
x10 = x(10,2:end); x10 = [x10, x10(1)];
x11 = x(11,2:end); x11 = [x11, x11(1)];
x12 = x(12,2:end); x12 = [x12, x12(1)];
```

```

x13 = x(13,2:end); x13 = [x13, x13(1)];

x14 = x(14,2:end); x14 = [x14, x14(1)];
x15 = x(15,2:end); x15 = [x15, x15(1)];
x16 = x(16,2:end); x16 = [x16, x16(1)];
x17 = x(17,2:end); x17 = [x17, x17(1)];
x18 = x(18,2:end); x18 = [x18, x18(1)];
x19 = x(19,2:end); x19 = [x19, x19(1)];
x20 = x(20,2:end); x20 = [x20, x20(1)];
%}

figure (1)
n1 = polardb(thet, x01, -120, 10, '--k');
hold on
n2 = polardb(thet, x02, -120, 10, 'r');
hold on
n3 = polardb(thet, x03, -120, 10, 'b');
hold on
n4 = polardb(thet, x04, -120, 10, 'g');
%hold on
%n5 = polardb(thet, x01, -120, 10, 'm');
%{
hold on
n6 = polardb(thet, x06, -120, 10, '--g');
hold on
n7 = polardb(thet, x07, -120, 10, '--k');
hold on
n8 = polardb(thet, x08, -120, 10, '--r');
hold on
n9 = polardb(thet, x09, -120, 10, '--m');
hold on
n10 = polardb(thet, x10, -120, 10, '--b');
hold on
n11 = polardb(thet, x11, -120, 10, '--c');
hold on
n12 = polardb(thet, x12, -120, 10);
hold on
n13 = polardb(thet, x13, -120, 10);

hold on
n14 = polardb(thet, x14, -120, 10);
hold on
n15 = polardb(thet, x15, -120, 10);

```

```

hold on
n16 = polardb(thet, x16, -120, 10);
hold on
n17 = polardb(thet, x17, -120, 10);
hold on
n18 = polardb(thet, x18, -120, 10);
hold on
n19 = polardb(thet, x19, -120, 10);
hold on
n20 = polardb(thet, x20, -120, 10);
%}

% Lage legend og tittel. Tom linje under tittel for Å unngÅ at den ligger
% oppÅ polardiagrammet.
legend([n1, n2, n3, n4], '528 hz', '1058', '1588', '2110');
titl = 'Polarplott av T8, svakt';
n = length(titl);
title([titl; blanks(n)]) % tom str like mange karakterer som den foerste, tom linje
under

```


Vedlegg: Lyd-CD

CD'en består av opptak gjort i ekkofritt rom på Gløshaugen (spor 1), innspillingsrommet på studio i Fjordgata (spor 2-7) og studio i kjelleren på Olavskvartalet (spor 8-20). Opptakene er ikke mastret og ikke normaliserte.

Innhold på CD:

1. Forskjell mellom vinkel 1 og 2 på tone 7
2. AKG c480 stereo
3. AKG c480 mono nært
4. AKG c480 mono fjernt
5. AKG c414 nært
6. AKG c414 fjernt
7. Neumann U87 nært
8. Ehrlund EHR-M foran
9. Ehrlund EHR-M bak
10. DPA bak
11. DPA foran høyt
12. DPA foran lavt
13. DPA foran mellomposisjon
14. AKG c414
15. Ehrlund EHR-M bak + AKG c414 over
16. DPA foran mellomposisjon + AKG c414 over
17. Neumann TLM 49
18. Neumann USM 69 blumlein
19. Ehrlund EHR-M bak + AKG c414 over, med klang
20. DPA foran mellomposisjon + AKG c414 over, med klang