

MÅLING AV EKVIVALENT ÅPNINGSVINKEL FOR ET 38 KHZ FISKERI EKKOLODD

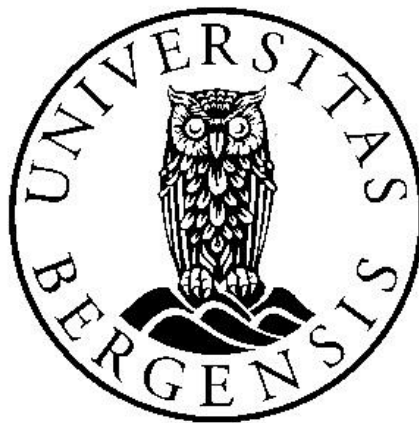
Kalibrering av ekkolodd ved bruk av flere svingere

Masteroppgave i fysikk

Fiskeri akustikk

Haiwa Pedersen

Vår 2020



Universitet i Bergen
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet
Institutt for fysikk og teknologi

FORORD

Under bachelorstudiet, har jeg alltid lurt på hvilken retning jeg skulle velge. En av mine hovedgrunner for å studere fysikk, er min fascinasjon av science fiction filmer og spill. Jeg har alltid vært nysgjerrig på hvordan de fantastiske maskinene fungerer eller om de kan skapes i virkeligheten. Men som tiden gikk, så ble jeg mer og mer interessert i akustikk, primær undervannsakustikk. For Norge har fiskeri alltid vært en viktig del av historien. Fra fiske til mat i vikingtiden, til forskning og mengdeestimering av fisk i moderne tid, har fiskeriet bidratt til den norske økonomien selv etter oppdagelsen av olje.

Et viktig instrument som blir brukt om bord moderne fiske- og forsknings fartøy, er ekkolodd. Prinsippet bak ekkolodd kan minnes veldig mye om radar, der en puls blir sendt ut i sjøen/vannet, treffer et mål, og sendes tilbake og bli registrert. Instrumentet er brukt til deteksjon av objekter som blant annet fisk, plankton, bunn og innkommende skip.

Ekkoloddet må kalibreres før bruk. En av variablene som inngår i ligningen er ekvivalent åpningsvinkel Ψ (ψ), som er viktig fordi den definerer det effektive samplingsvolumet for mengdemåling av fisk. Det inngår ikke i dagens kalibreringsprosedyre å måle Ψ , så verdien som brukes er den som er oppgitt av produsenten. I prinsippet skal ikke en parameter som inngår i kalibreringsligning måles med det systemet man skal kalibrere. Dersom man har tilgang på uavhengige men simultane målinger på samme kalibrerings kule, så kan kanskje Ψ måles under selve kalibreringsprosessen hvis denne utvides i forhold til dagens prosedyre. Det brukes ekkolodd som er bygget opp av flere delsystem, der hvert delsystem består av signalprosesseringselektronikk, svinger og programvare. Det har opptil 6 slike delsystem koblet til bredbåndssvingere med nominelle frekvenser 18, 38, 70, 120, 200 og 333 kHz. Disse delsystemene kontrolleres av en felles programvare som kobler delsystemene på en slik måte at de ikke forstyrrer hverandre. Å bestemme Ψ for et ekkolodd delsystem som opereres ved en frekvens ved hjelp av andre delsystem ved andre frekvenser er hovedtemaet for denne master oppgaven.

Helt til slutt, så vil jeg vil takke min far, Ronald Pedersen, for å være en inspirasjon for meg, bestevennene mine, Espen S. Simonsen og Fredrik Grende for å støtte meg gjennom tunge tider, og takker alle veilederne mine, Per Lunde, Egil Ona og Rolf Korneliussen som har hjulpet meg med å utføre denne oppgaven. Og spesiell takk til Marianne Solberg, Erling Pedersen, Mathias Sæther og Ruben Patel.

SAMMENDRAG

TITTEL:

MÅLING AV EKVIVALENT ÅPNINGSVINKEL FOR ET 38 KHZ FISKERI
EKKOLODD

Kalibrering av ekkolodd ved bruk av flere svingere

AV:

Haiwa Pedersen

EKSAMEN:

Masteroppgave i fysikk
Undervanns akustikk.

SEMESTER:

Vår 2020

STIKKORD:

Fiskeriakustikk

Kalibrering

Flerfrekvens-svingninger

Ekvivalent åpningsvinkel

INNHALDS FORTEGNELSE

SAMMENDRAG	3
INTRODUKSJON	6
1.TEORI	8
1.1 Lydforplanting	8
1.2 Ekkointegrasjon	12
1.3 Splittstråle og definisjon av langskips- og tverrskips vinkel	13
1.4 Kalibrering	15
1.5 Ekvivalent åpningsvinkel	18
1.6 Simrad Psi måling	19
1.7 Beregning av Psi i et forenklet system	20
1.7.1 Beregning av Psi ved bruk av svingers frekvens og dets effektive areal	20
1.7.1 Beregning av Psi ved bruk av Simrad sin forenklede formel	21
2.MATERIAL OG METODE	22
2.1 Svinger posisjon.....	22
2.1.1 Forskyvning av svinger posisjon	22
2.1.2 Beregning av svinger posisjon fra målingsdata	29
2.1.3 Effekten av skeiv strålings akse	33
2.2 Beregning av Psi med målingsdata.....	41
2.2.1 Beregning av Psi ved bruk av sortert målingsdata	41
3.RESULTAT	43
4.DISKUSJON	53
REFERANSER	56

APPENDIKS A	58
A1 Ekkoloddets posisjon geometri.....	58
A2 Langskips- og tverrskips vinkler	62
APPENDIKS B	63
B1 Beregning av Psi ved bruk av numerisk integrasjon	63
B2 Korreksjons faktor	71

INTRODUKSJON

Ekkolodd blir mye brukt av fiskere og fiskeriforskning til å estimere tettheten, størrelsen og plasseringen av fisken i vannsøylen, men kan også vise plankton, bunnhardhet og andre interessante måle parametere. En kraftig lydimpuls blir sendt ut fra en ekkoloddsvinger, montert under fartøyet. Lydimpulsen brer seg nedover i vannsøylen inne i en konsentrert lydkjegle, og ekko fra objekter mellom skip og bunn reflekteres tilbake til svingeren, som etter utsending står i lyttemodus. Ekkosignalet som svingeren mottar, blir videre behandlet av ekkoloddets programvare- slik at to faktorer blir kjent: målets avstand og ekkointensitet. Avstanden blir beregnet fra en tidsmåling som blir justert med lydfart i sjøvann. Mye av teorien bak mengdemåling av fisk med akustikk er beskrevet av Simmonds & MacLennan (2005).

Svingeren sender ut en konsentrert lydstråle, og hvor konsentrert den blir avhenger av svingerens fysiske dimensjon og akustisk frekvens. De vanligste fiskerisvingere gir en typisk strålebredde på 7–8 grader, og er derfor 10–30 cm i diameter, avhengig av operasjonsfrekvens.

Moderne ekkolodd har i tillegg en splittstråle funksjon, (Ehrenberg, 1979) som betyr at svingeren er oppdelt i 3 eller 4 separate elementer, og at ekkoloddet i mottak kan sammenligne tidspunktet for mottak av et ekko nøyaktig i tids-domenet. For ekko fra et enkeltmål der mottakstidspunktet ikke er identisk, kan posisjonen til målet inne i strålen bestemmes ved fase-sammenligninger mellom element-par.

Fisketetthet blir oftest estimert ved bruk en metode kalt ekkointegrering, (Dragesund & Olsen (1965), som betyr at ekkoenergien i et gitt dybdelag blir summert over dyp og midlet over flere loddskudd. Ekkointegrering krever ikke at individuelle mål kan skilles klart fra hverandre, men at målstyrken til et bestemt individ som skal estimeres, er kjent på forhånd. Målstyrken, eller middelmålstyrken er ofte en verdi fra tusenvis enkelt-ekkomålinger for en gitt individstørrelse (fisk, plankton osv.), målt i kontrollerte omgivelser som for eksempel i en stor merd, i en vanntank eller i et laboratorium. Ved hjelp av splittstråle metodikk kan en også måle middel TS direkte *in situ*, hvis tettheten er lav (Ona, 1999) Målets mengde blir estimert ved å integrere denne ekkoenergien inne i ekkoloddstrålens volum, midlet enten over distanse eller over tid.

Før enhver tokt der akustisk mengdemåling inngår i bestandsmålingene, må ekkoloddene kalibreres for å oppnå nøyaktighet til målingene slik at en kan sammenligne direkte med tidligere målinger. En viktig faktor som avgjør nøyaktigheten til ekkointegrasjon, og videre svingers målegenskaper, er en konstant som er betegnet som den ekvivalente åpningsvinkelen Ψ , ψ , (Simmonds & MacLennan, 2005). Denne verdien kan ikke måles direkte, men kan beregnes gjennom svingerens strålemønster, $b(\theta, \varphi)$. Dette gjøres ved å bruke et standard mål, dvs. en metallkule med kjent ekkostyrke, senkes slik at den henger i svingerens fjernfelt og deretter flytte kule på tvers av strålebunten slik at den dekker det meste av lydstrålens hovedlobe, ofte med målinger i 200 posisjoner. Alle signaler som ligger utenfor $-12dB$ punktene i direktivitetsdiagrammet vil være for svake for å kunne brukes til beregning. For mer detaljer omkring hvor stor del av lydstrålen som må dekkes er beskrevet av Reynisson (1998). For at målingen av den ekvivalente åpningsvinkelen skal være gyldig bør posisjonen til målet (kule) måles med annet utstyr enn svingeren selv, men dersom posisjonen til kule, bestemt med systemet selv kan kalibreres, kan de selvfølgelig brukes.

Produsentene av ekkolodd og svingere oppgir verdier for Ψ , men det er ikke alltid klart om dette er målt på en spesifikk svinger eller om det er gjennomsnittsverdier for svinger-typen. For svingere levert til forskning, blir strålingsmønsteret for en gitt svinger målt i tank, og følger

med dokumentene for denne svingeren. Det har også vært en del usikkerhet angående om svingerens strålingsmønster endrer seg etter at den er montert på skip i forhold til når produsenten målte den, uten kobling imot andre flater (Simmonds, 1984, a, b). Jeg vil vise til viktige referanser på dette i teoridelen av oppgaven. Med andre ord; omgivelsen og monteringen som produsenten har brukt under måling av Psi, gir ikke nødvendigvis en helt korrekt representasjon av reelt observasjonsvolum for strålen brukt i akustiske tokt. Videre har produsenten, hvis måledata eksisterer, målt svingeren i en ferskvanns-måletank i en gitt temperatur, mens den som regel blir brukt i sjøvann av en annen temperatur og tetthet. Siden både lydfart og bølgelengde endres med temperatur og saltholdighet vil også direktiviteten til lysstrålen endre seg mellom ferskvann og sjøvann.

Splittstråle svingeren brukes til å bestemme posisjonen til enkeltmål, men ettersom ekkoloddets evne til å måle nøyaktige vinkler bare er basert på enkle tankmålinger, er det ønskelig å undersøke om det finnes en målemetode som kan undersøke hvor nøyaktig vinkelmålingene egentlig er, og om mulig korrigerer disse til absolutte vinkler. Følgende metode foreslått:

1. Kalibrer et 38 kHz ekkoloddssystem ved å plassere et mål med kjente ekkoegenskaper, i dette tilfelle; en kalibrerings kule, i svingerens fjernfelt der 38 kHz svingeren er montert på senkekjøl.
2. I tillegg blir det brukt minst to andre ekkoloddssystem med svingere montert på samme senkekjøl, men med ulik plassering, til å måle posisjonen til samme kule. Disse ekkoloddssystemene bruker andre frekvenser enn 38 kHz, for eksempel 18- og 70 kHz. Alle ekkoloddssystemene sender ut pulsene samtidig.

Målet til denne masteroppgaven er å finne ut om det finnes en alternativ metode til å korrigerer vinkelmålingene i en splittstråle svinger, og videre å estimere ekvivalent åpningsvinkel med «kalibrerte vinkler».

Måling av ekvivalent åpningsvinkelen per 2018, ikke en del av standard kalibreringsprosedyre, og kan derfor introdusere en mulig målefeil i systemet.

Oppgaven er delt i tre deler; teori, metode og resultat.

Teori: En kort beskrivelse av lydforplantning (og ligninger som er involvert i den), som er det fundamentale prinsipp bak funksjonen til en svinger. I tillegg er det også beskrivelse av ekkointegral og formler som skal brukes for beregninger av Psi.

Metode: Beskrivelse av utførelsen av oppgaven.

Resultat: Resultat for problem stillingen til denne oppgaven.

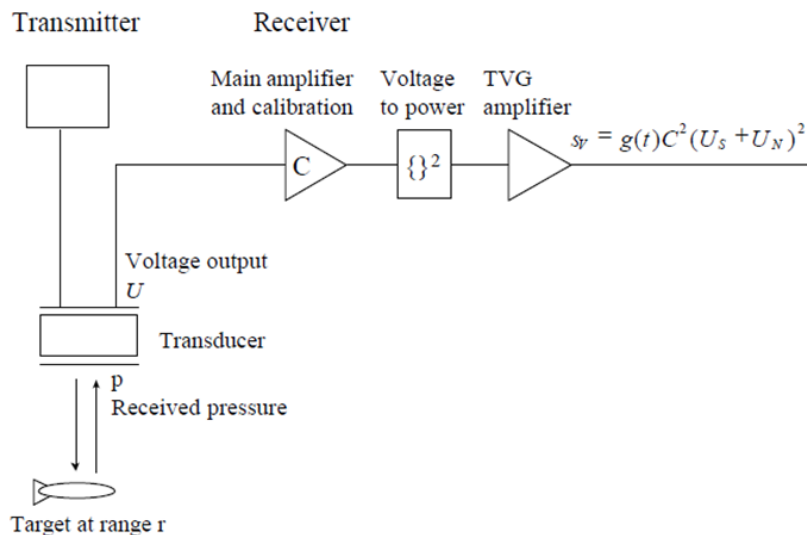
Appendiks: Delt opp i A og B. A delen er en veldig grunnleggende og forenklet forklaring av svingers posisjons geometri. B delen viser alternativ beregninger av Psi ved bruk av numerisk integrasjon, og korreksjons faktor som jeg ikke er sikker på om er helt korrekt.

Alle målingsdata som blir brukt i denne oppgaven er hentet fra EK80 målingsprogram målt med standard splittstråle svingere på forskningsfartøyet "G.O. Sars".

1. TEORI:

1.1 Lydforplantning

I et monostatisk akustisk system som er vanlig innen fiskeriakustikk, brukes det samme transduser som sender og mottaker. Svingeren mottar et elektrisk signal i form av spenningen U , som konverteres til lyd. Utsendt lyd har en ofte en kort varighet og kalles da en puls. Pulsen forplanter seg i vann og treffer et mål, for eksempel en fisk eller en kule. Målet reflekterer pulsen til den samme svingeren som konverterer mottatt lyd tilbake til spenningen U (se figur).



Figur 1. Signalforplantning i ekkolodd. Figuren er hentet fra Korneliussen (2002).

Lydtrykk er gitt ved realdelen av:

$$p(r, t) = \frac{p_0}{r} e^{-\beta_p r + i[2\pi f t - k r]} \quad (1)$$

$p_0 [Pa]$ er trykkamplituden, $r [m]$ er avstanden til målet, $\beta [Np/m]$ er absorpsjonskoeffisienten, $f [Hz]$ er den akustiske frekvensen, $k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$ er bølgetallet, og $\lambda [m]$ er bølgelengden.

Lyd intensitet er definert som mengde energi per sekund over enhetsområdet. For en lydbølge med periode $T = 1/f$, er intensiteten gitt som:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(r, t) u(r, t) dt \quad (2)$$

hvor $u(r, t)$ er partikkel hastighet.

For planbølger, er trykket ved avstanden r ved tidspunktet t gitt som:

$$p(r, t) = \rho_m c u(r, t) \quad (3)$$

der $\rho_m [kg/m^3]$ er tettheten til væsken, og $c [ms^{-1}]$ er lydfarten.

Anta at ikke-lineære effekter er neglisjert, er det effektive lydtrykket for en periodisk bølge definert som $p_{eff} = \sqrt{p^2}$, som gir følgende uttrykk for intensiteten:

$$I = \frac{p_{eff}^2}{\rho_m c} = \frac{I_0}{r^2} e^{-\beta r} \quad (4)$$

Definisjonen av intensitet absorpsjons koeffisienten α [dB/m] som er definert i MacLennan (2002) er:

$$\alpha = \frac{10 \log_{10} \left(\frac{I(r)}{I(r + \Delta r)} \right)}{\Delta r} \quad (5)$$

For $r = 1m$, vil $\Delta r \rightarrow 0m$ i ligningene (4) og (5), som gir $\alpha = 10\beta \log_{10}(e) = 20\beta_p \log_{10}(e) \approx 8.69\beta_p$, slik at intensiteten kan uttrykkes som:

$$I = \frac{I_0}{r^2} e^{-\beta r} = \frac{I_0}{r^2} 10^{-\frac{\alpha}{10}r} \quad (6)$$

der absorpsjons leddet $10^{-\frac{\alpha}{10}r}$ er uttrykt i logaritmisk form.

Effekt av utsendt og mottatt lyd er P_t og P_r . Intensitet er effekt P per areal A , og dette er proporsjonalt med energi E , effekten P , kvadrert lydtrykk p^2 , og kvadrert spenning U^2 over transduser (svinger):

$$I = \frac{P}{A} \propto E \propto p^2 \propto U^2 \quad (7)$$

Gain G er definert som intensitet observert i et fjernt punkt av en svinger. Dersom svingeren ikke er omni-retningsbestemt, dvs. strålings intensiteten er det samme i alle retningene, er Gain definert som:

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (8)$$

der θ, φ er retnings vinkler i polarkoordinat system, η er effektiviteten til svingeren, og D er direktiviteten. Svinger som er brukt innenfor fiskeri akustikk er ikke omni-retningsbestemt.

Det effektive mottatte arealet er gitt som:

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G \quad (9)$$

Når pulsen treffer enkeltmål i form av et punkt, vil den reflekterte pulsen (mottatt puls), i form av effekt, gitt ved:

$$P_r = P_t G \frac{10^{-\frac{\alpha}{10}r}}{4\pi r^2} \sigma \frac{10^{-\frac{\alpha}{10}r}}{4\pi r^2} \frac{\lambda^2}{4\pi} G \quad (10)$$

Ligningen (10) er også kjent som standard radar-ligningen, der σ er tverrsnitts tilbakespredning. Ved å snu litt om på (10), vil det gis et uttrykk for styrken for tilbake spredningen:

$$s_p = \frac{\sigma}{4\pi r_0^2} = \frac{P_r 16\pi^2}{P_t G^2 r_0^2 \lambda^2} r^4 10^{\frac{2\alpha}{10}r} \quad (11)$$

hvor $r_0 = 1m$ er referanse avstanden.

I logaritmisk form, blir ligningen (11) om til:

$$TS = 10 \log_{10}(s_p) = 10 \log_{10}(P_r) - 10 \log_{10}\left(\frac{P_t G^2 r_0^2 \lambda^2}{16\pi}\right) + 10 \log_{10}\left(r^4 10^{\frac{2\alpha}{10}r}\right) \quad (12)$$

Leddet $10 \log_{10}\left(r^4 10^{\frac{2\alpha}{10}r}\right)$ i ligningen (12) representerer Time Varied Gain, eller TVG. TVG er en funksjon som kompenserer for tap av signal styrke for økende avstand.

Det er viktig å legge merke til at tilbake sprednings tverrsnittet σ , har forskjellige beskrivelse avhengig av hvilken litteratur man finner dem i. Sammenhengen mellom de vanligste variantene er gitt som:

$$\sigma_{bs} = \sigma_b = \frac{\sigma}{4\pi} = s_p r_0^2 \quad (13)$$

Her er σ_{bs} anbefalt av MacLennan, σ ble brukt av Urick (1983), og σ_b av Clay and Medwin (1977) og Medwin and Clay (1998).

Som nevnt i **Motivasjon**, er fiskemengden ikke estimert ut ifra enkeltmål, men fra volumet av målene. Ved å utvide ligningen (10) fra punkt tilbake spredning til volum tilbake spredning, kan P_r uttrykkes som:

$$P_r = \int_V P_t G \frac{10^{-\frac{\alpha}{10}r}}{4\pi r^2} \frac{\partial \sigma}{\partial V} \frac{10^{-\frac{\alpha}{10}r}}{4\pi r^2} \frac{\lambda^2}{4\pi} G dV \quad (14)$$

der $\frac{\partial \sigma}{\partial V}$ er tilbakespredning per volum dV , og integrasjons tegnet summere alle volumene V som bidrar til det mottatte signalet.

Svinger opererer i puls modus, som fører til at volumet V får formen av et sfærisk skall med tykkelsen $c\tau/2$, der c er lydfarten og τ er tidsvarighet til pulsen. Ved å sette $dV = \frac{1}{2} c\tau r^2 d\Omega$ in i (14) og integrerer over alle åpningsvinkler 4π (åpningsvinkler har enhet steradianer, og sfære har 4π steradianer), slik at ligningen (14) blir:

$$P_r = P_t \frac{10^{-\frac{\alpha}{10}r}}{4\pi r^2} \frac{\partial \sigma}{\partial V} \frac{10^{-\frac{\alpha}{10}r}}{4\pi r^2} \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{1}{2} c\tau r^2 \int_{4\pi} G^2 d\Omega \quad (14 *)$$

Integral leddet i (14) representerer to veis ekvivalent åpningsvinkelen ψ og kan skrives om som:

$$\int_{4\pi} G^2 d\Omega = G_0^2 \psi \quad (15)$$

der G_0 er det maksimale gain.

Ved å sette (15) in i (14) og snu litt på ligningen, vil det få volum tilbake sprednings koeffisient i lineær form:

$$s_v = \frac{\partial \sigma / \partial V}{4\pi r_0^2} = \frac{P_r 32\pi^2}{P_t G_0^2 r_0^2 \lambda^2 c\tau \psi} r^2 10^{\frac{2\alpha}{10}r} \quad (16)$$

I logaritmisk form blir det:

$$S_v = 10 \log_{10}(s_v) = 10 \log_{10}(P_r) - 10 \log_{10}\left(\frac{P_t G_0^2 r_0^2 \lambda^2 c \tau \psi}{32\pi}\right) + 10 \log_{10}\left(r^2 10^{\frac{2\alpha}{10}r}\right) \quad (17)$$

Det siste leddet i (17) representerer $20 \log(r)$ TVG som kompenserer volum tilbakespredning for absorpsjon ved økende avstand r .

Intensiteten I kan beskrives av (14) og (16):

$$I = I_0 \frac{c\tau}{2} 10^{-\frac{2\alpha}{10}r} \psi 1 \frac{1}{r^2} s_v \quad (18)$$

$$s_v = \frac{I}{I_0} \frac{2}{c\tau} r^2 10^{\frac{2\alpha}{10}r} = konst * I * r^2 10^{\frac{2\alpha}{10}r} \quad (19)$$

der $s_v \propto I$.

Volum tilbake sprednings koeffisient kan også uttrykkes i diskre form:

$$s_v = \sum \sigma_{bs}/V \quad (20)$$

$$s_v = N \langle \sigma_{bs} \rangle / V \quad (21)$$

hvor σ_{bs} er tverrsnitts tilbakespredning av individuelle mål, V er volumet som inneholder de individuelle målene, $\langle \sigma_{bs} \rangle$ er middelværdien av tverrsnitts tilbake spredning, og N er antall mål i volumet V .

Ved bruk av (19), er areal tilbake spredning definert som:

$$s_a = \int_{z_1}^{z_2} s_v dz \quad (22)$$

$$s_A = 4\pi 1852^2 \int_{z_1}^{z_2} s_v dz \quad (23)$$

$$s_A = 4\pi 1852^2 \sum_i s_{v,i} \Delta z \quad (24)$$

der z_1 og z_2 er nedre og øvre dybde grense, (23) og (24) er s_a per nautiske mil.

Ligningen (22) er det som blir brukt i praksis for å beregne s_A . Både s_A og ligningen (21) er brukt til å definere ekkointegrasjon.

Det er viktig å nevne at ligningene (16) og (17) er også kalt for sonar ligningen, hvor (16) er lineært og (17) er logaritmisk. I de litteraturene er sonar ligningen oftest uttrykt i formen:

$$SPL = SL - 2TL + TS \quad (25)$$

der SPL er lydtrykk nivå, SL er kilde nivå, TL er signal tap, og TS er målstyrken. Ved nærmere blikk, kan det sees at ligningene (17) og (25) beskriver de samme egenskapene, der $SPL = 10 \log_{10}(P_r)$, $TL = 10 \log_{10}\left(r^2 10^{\frac{2\alpha}{10}r}\right)$, $SL = 10 \log_{10}\left(\frac{P_t G_0^2 r_0^2 \lambda^2 c \tau \psi}{32\pi}\right)$, og TS er logaritmisk form av tilbake sprednings styrken for et punkt mål som er beskrevet i ligning (12).

1.2 Ekkointegrasjon

I mengde estimering av fisk, der antall fisk er veldig høy og de individuelle målene ligger veldig tett inntil hverandre, er det ofte vanskelig å skille enkel målene fra hverandre. For å løse dette problemet, blir ekkointegrasjon introdusert.

Som det var beskrevet under **Lydforplantning**, sendes svingeren ut en puls mot et mål, der pulsen treffer målet, reflekteres tilbake, og blir mottatt av det samme svingeren. Det mottatte pulsen er målt i form av P_r hvor det ble brukt til å beregne tverrsnitt tilbakespredningen σ_{bs} (13) og areal tilbake spredningen s_a .

Ekkointegrasjon er bygd på linearitets prinsippet, beskrevet og verifisert av Foote (1983). Prinsippet sier i en fiskemengde, vil gjennomsnitts verdien av det tilbakespredte intensiteten for hele mengden være det samme som for en individuell fisk:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{I_{tot}}{\sum_{i=1}^N I_i} = 1 \quad (26)$$

Ekkointegrasjons ligningen er basert forholdet $I \propto \rho$, der I er ekko intensiteten, og ρ er tettheten til spredene (målene). En enkelt måte å formulere dette forholdet på, er med ligningene (Dale og Nakken 1983):

$$s_a = \langle \sigma_{bs} \rangle \rho_a \quad (27)$$

$$s_a = \sum_i s_{v,i} \Delta z \quad (28)$$

der s_a er areal sprednings koeffisient, $\langle \sigma_{bs} \rangle$ er middelveiden av tverrsnitts tilbake spredning, og ρ_a er tettheten av målet/fisk per enhet areal. Ved å snu litt på ligningen (28), kan det uttrykkes som:

$$\rho_a = \frac{s_a}{\langle \sigma_{bs} \rangle} \quad (29)$$

som er det fundamentale ekko integral ligningen. For å få uttrykt ligningen (29) i nautiske mil per areal, erstatter s_a med s_A slik at ligningen (28) blir:

$$\rho_A = \frac{s_A}{\langle \sigma_{bs} \rangle} \quad (30)$$

Ligningen (29) og (30) er kun gyldig dersom linearitets prinsippet fra ligning (26) er gyldig.

I noen litteratur, vil ρ_A være uttrykt annerledes. I Urick (1983) og Clay and Medwin (1977), er tettheten uttrykt sånn som det er i (30). Mens i MacLennan et al., 2002; Fernandes (2002) og nyere litteratur, er det lagt en verdi på 4π i tillegg i nevneren.

1.3 Splittstråle og definisjon av langskips- og tverrskips vinkel

Svinger type som blir brukt i denne oppgaven er av splittstråle type. Har her brukt beskrivelsen gitt i Ona (1999). Splittstråle er brukt til å definere retningen til måleobjektet. En splittstråle svinger måler målets vinkler med følgende prinsipp; Antar nå at den utstrålte pulsen som treffer målet har formen av en plan bølge. Målet har en viss lengde og når bølgen treffer målet, vil bølgen treffe to punkter separert med tidspunktet Δt og avstanden d , se Figur 2. Vinkelen mellom målet og den inntreffende bølgen har da formen:

$$\sin\theta = \frac{c\Delta t}{d} \quad (31)$$

der c er forplantningshastighet til bølgen.

Avstanden $c\Delta t$ kan også uttrykkes i form av fase forskyvningen δ i området $(-\pi, \pi)$ og bølgelengden λ :

$$c\Delta t = \frac{\delta\lambda}{2\pi} = \frac{\delta}{k} \quad (32)$$

der $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ er bølgetallet, hvor f er frekvensen til bølgen. Sett in (32) in i (31) og får ligningen:

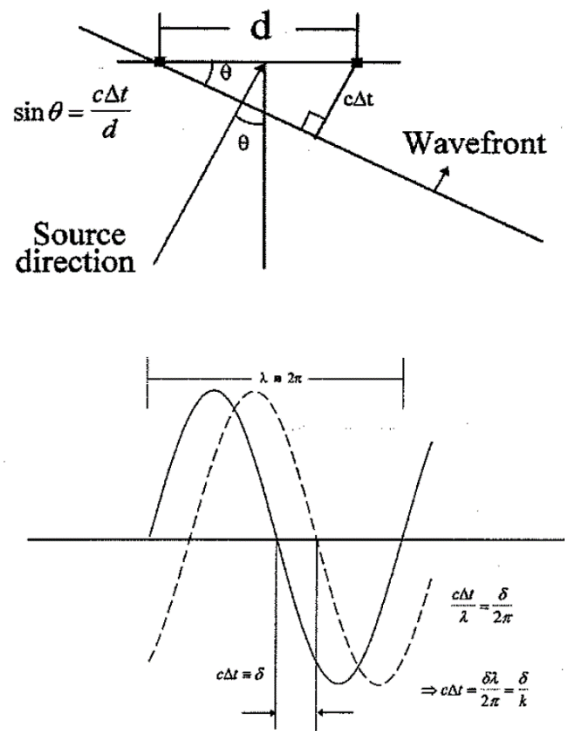
$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\delta}{kd}\right) \quad (33)$$

Her er $kd = \frac{\delta}{\sin\theta}$ en konstant som beskriver det geometriske elementet for gitt bølgelengde.

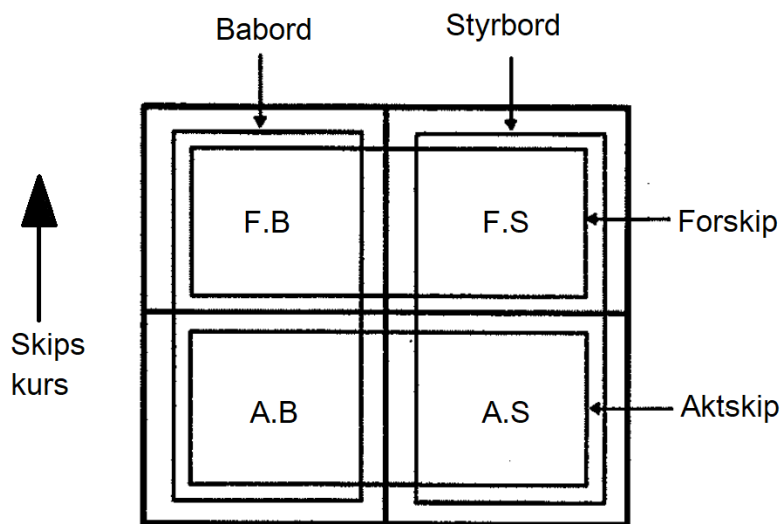
Verdien θ representerer den elektriske vinkelen. Denne vinkelen blir konvertert til mekanisk vinkel ved å multiplisert med en konstant Λ (Demer et al., 2015)), som er kalt vinkel sensitivitet (angle sensitivity).

Splittstråle svinger som er brukt innenfor fiskeri, er konstruert slik at selve svinger ligger i fire kvadranter. Under utsendingen av puls, er alle fire kvadranter aktivert samtidig. Men under mottak, så former hver kvadrant sin egen stråle (mottaksområde). De fire individuelle strålene sammen former en stråle med to splittstråle grupper.

Oppsett til en splittstråle sender/mottaker ekkoloddsystem er vist på Figur 3. For å bestemme målets langskips vinkelen relativt til den akustiske aksene, blir summen av signalet fra for-kvadrant (F.B + F.S) sammenlignet med summen av signalet fra akt-kvadrat (A.B + A.S). Tverrskips vinkelen blir bestemt på lignende metode (F.B + A.B) sammenlignet med (F.S + A.S).



Figur 2: Figur 5.1 hentet fra Ona 1999. Øvre delen beskriver plan bølge (wavefront) kommer in mot et målobjekt og treffer to punkter i en avstand d og ved tida Δt . Ved bruk av trigonometriske identitet, kan vinkelen θ beregnes dersom d og $c\Delta t$ er kjent. Denne vinkelen beskriver retningen til målobjektet i forhold til svinger. Den nedre figuren viser avstanden $c\Delta t$ kan beskrives med faseforskyvningen δ , og signalets bølge lengden λ (som kan også skrives som bølgetallet k).



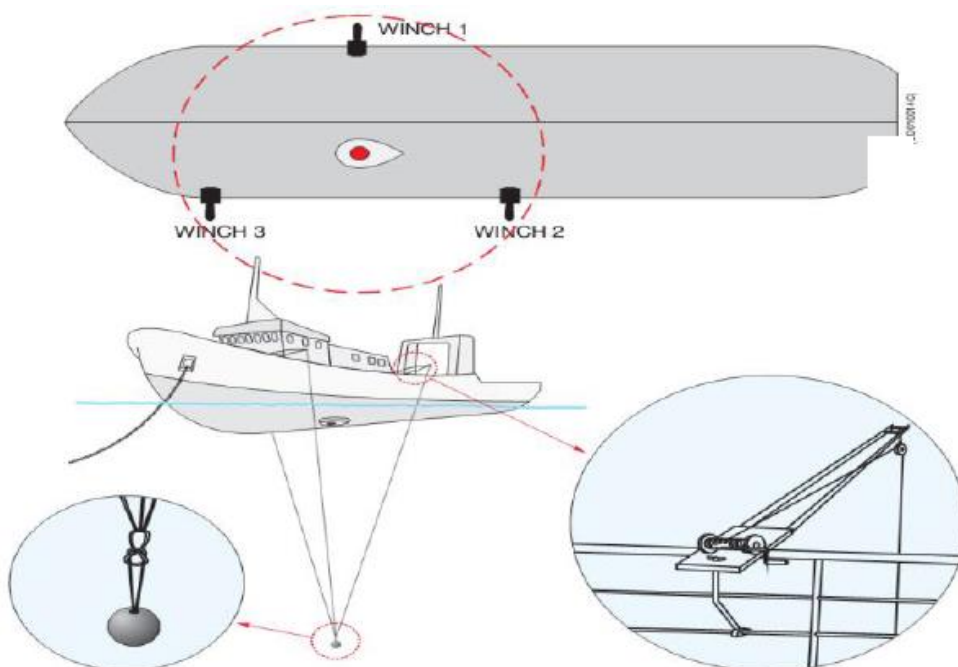
Figur 3: Figur 5.2 hentet fra Ona 1999. Oppsettet til splittstråle delt i fire kvadranter.

1.4 Kalibrering

Kalibrering av ekkolodd er viktig for nøyaktigheten til mengdeberegning av fisk. Ved feilkalibrering, vil den estimerte verdien av fiskemengden være veldig forskjellig fra den virkelige verdien. Prinsippet bak en kalibrering er å få korrekt avlesningsverdi for gitt skala-verdi fra et måleinstrument. Dette gjøres ved å sammenligne målingene fra instrumentet med et kjent standard (referanse verdi). I akustiske sammenheng, tilsvarer tverrsnittets tilbake spredning i den utstrålte strålen avlesningsverdien, og utsendingen fra svingeren tilsvarer skala-verdien. I denne oppgaven blir kalibreringen utført av en svinger med kjent frekvens, leses på en kjent standard i form av en kule, hvor kulens tilbakesprednings styrke S_v eller målstyrke, TS, blir sammenlignet med verdiene som er målt av ekkoloddet.

Før kalibreringen, må ekkoloddet som skal kalibreres, programmeres med riktige parameterverdier for; Sendereffekt, (power), pulsvarighet, strålebredde (langskip og tverrskip), offset (langskip og tverrskip), impedans, Gain og ekvivalent åpningsvinkel, slik at svingeren gir riktig avlesninger av målet. I tillegg må egenskapene til vannet som kula skal kalibreres i også måles. Egenskapene som lyd fart, salinitet, temperatur og trykk er viktig for nøyaktigheten på avlesning av målet. Ekkolodd som bruker samme svinger for utsending som mottak er i prinsippet et toveis system, der det er antatt at den utsendte strålemønsteret er likt strålemønsteret som er mottatt.

Kalibreringskula med kjent akustiske egenskaper (dimensjoner og målstyrken) er montert i et tre-vinsj system, hvor selve kula er festet til tre vinsjer gjennom nylon tråder. Vinsjene er montert i en deltaformasjon (se figuren under) slik at kula kan bli plassert i svingerens fjernfelt og kan beveger seg fritt i xy akse relativt til svingerens akustiske akse. Når kula er ferdig montert, blir svingeren aktivert og kjører i puls modus.



Figur 4: Vinsjenes posisjon er markert med rødt stiplede sirkel. Bildet er hentet fra *Calibrating an Echosounder System with Reference Target* i Simrad EK80 manual.

Pulsen fra svingeren treffer kalibrerings kula, og blir reflektert tilbake hvor den blir målt i form av effekt. Programvaren som styre svingeren vil deretter beregner målets tilbake sprednings koeffisienten og styrken med ligningene (Demer et al., 2015):

$$S_v = P_r + 20 \log_{10}(r) + 2\alpha r - 10 \log_{10} \left(\frac{P_t \lambda^2 G_0^2 c \tau \psi}{32\pi^2} \right) - 2s_{a,corr} \quad (37)$$

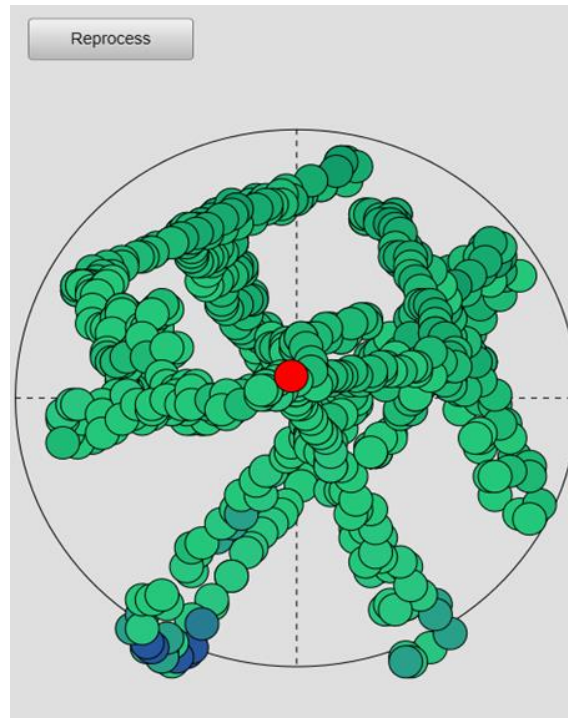
$$TS = P_r + 40 \log_{10}(r) + 2\alpha r - 10 \log_{10} \left(\frac{P_t \lambda^2 G_0^2}{16\pi^2} \right) - 20 \log_{10} \left(\frac{G}{G_0} \right) \quad (38)$$

Ligningen (37) er bare en alternativ versjon av sonar ligningen (17), der andre og tredje leddet i (37) representerer TVG, og $s_{a,corr}$ er en dempings korreksjons faktor. Under kalibreringen med kule.

Kulen flyttes tvers av hovedloben slik at den dekker hele $-3dB$ grensen som er lagt inn i svingerens programvare (se bildet under, Fig. 5)). TVG (Time Varied Gain) vil kompensere for toveis energitap, slik at kula produserer den samme intensiteten når den beveger seg i ulik avstand. Split beam funksjonen kompensere for målets posisjon når kula beveger seg vekk fra akustisk akse. Målstyrken som blir målt av ekkoloddet, blir sammenlignet med den kjente målstyrken til kula, og i en splittstråle kalibrering blir både senter forsterking, G_0 og åpningsvinkler estimert på nytt.

Hvis det kunne stole på at vinkelmålingen i splitbeam systemet målte helt nøyaktige vinkler, kunne disse dataene bli brukt til å måle Psi. Dette er derimot ikke et krav, og siden splittstråle vinklene vanligvis blir brukt til målstyrkemåling av fisk blir en riktig strålekompensasjon utført her, siden den samme som beregnet for kula blir brukt (den behøver ikke å være nøyaktig, siden den bare skal reprodusere strålemønsteret oppnådd under kalibrering).

Ekvivalent åpningsvinkelen Psi representerer ideelt strålemønster (les **1.5**), og det påvirker svingerens effektive målområde. Siden ligningen (37) også innebærer Psi, vil parameteren også påvirke programvarens egenskap til å beregne tilbake sprednings koeffisienten. På grunn av at Psi er en verdi som ikke er direkte målbar, er brukeren avhengig av verdien som er gitt av produsenten. Dersom den gitte Psi verdien ikke er helt korrekt, vil det effektive målevolumet være annerledes, som igjen påvirker beregningen av tilbake sprednings koeffisienten og nøyaktigheten av hele ekkolodd kalibreringen.



Figur 5: To veis -3dB grensen er representert av den svarte sirkelen, alle grønne punktene representerer kulens posisjon og banen som den har beveget seg i. Bildet er hentet fra EK80 programvare, der en 57.2 mm WC kule målt av en 18 kHz svinger.

Målingsdata som blir brukt i denne oppgaven er kalibrert med denne metoden. Fem svingere, 18 kHz, 38 kHz, 70 kHz, 120 kHz og 200 kHz er montert på en senkekjøll. I stedet for hver svinger kalibreres en og en, blir alle aktivert samtidig på samme tidspunkt. Kalibreringskule blir dermed beveget rundt slik at den dekker alle fire kvadrantene til splittstråle. Programvaren som blir brukt i kalibreringen er EK80.

1.5 Ekvivalent åpningsvinkel

Den utsendte strålebunten er formet av en hovedlobe, der sine primære intensiteten ligger, og sidelober. Ekvivalent åpningsvinkel er en «ideelt» system der strålebunten er formet som en kjegle hvor $b = 1$ inne i kjeglen, og $b = 0$ utenfor. Figuren nede viser ekte strålebunten, og ekvivalent åpningsvinkelen.

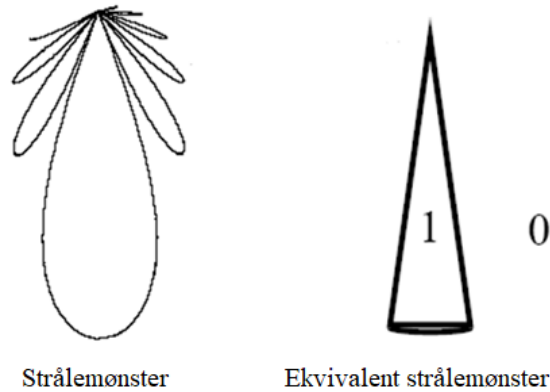
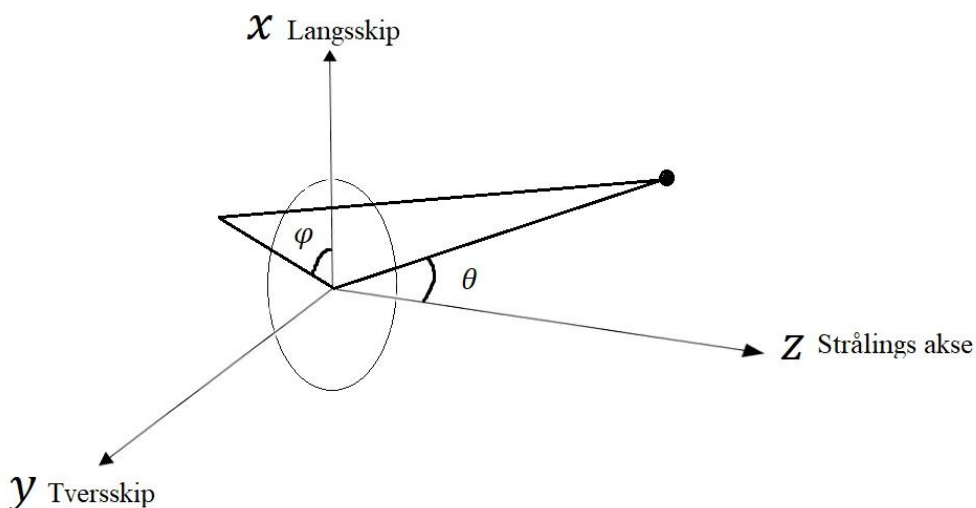


Figure 6a: Ekte strålebunt (til venstre), og ideell strålebunt (til høyre).

Ligning for ekvivalent åpnings vinkel er definert som (Foote 1990):

$$\int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{\varphi=0}^{\frac{\pi}{2}} b^2(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi \quad (39)$$

der b er strålebuntsmønster, θ og φ er vinkler i polar koordinat illustrert i figuren nede:



Figur 6b: Polar koordinat system som beskriver strålebuntens retning.

1.6 Simrad Psi måling

Alle svingere fra denne oppgaven bruker Psi verdi oppgitt av Simrad. Verdiene er målt i Simrads vanntank fylt med ferskvann ved kjent temperatur. Nøyaktige beskrivelse av målingen som blir utført av SIMRAD er ikke kjent, bortsett fra at hver svinger ble målt individuelt og ikke montert på et skip eller i senkekjøl.

Tabellen nede viser Psi verdiene Simrad har beregnet ut fra målingene sine:

Frekvens	Temperatur [°C]	Strålebredde langskip [°]	Strålebredde tverrskip [°]	Direktivets indeks [dB]	Psi [dB]
18 kHz	3.5	10.5	10.4	24.8	-17.3
38 kHz	25.6	7.9	7.6	27.4	-19.8
70 kHz	19	7.07	7.09	28.69	-20.6
120 kHz	18	6.8	6.8	28.5	-21
200 kHz	18	7.2	7.2	28	-20.5
333 kHz	18.5	6.6	6.6	28.8	-21.2

Tabell 1.1: Parameterne inkluderer Psi (ψ) målt av SIMRAD.

En forenklet versjon av formelen (Urick 1983) som Simrad brukte til å beregne Psi er gitt som:

$$\psi_0 = \frac{\theta_\alpha \theta_\beta}{5800} \quad (40)$$

der θ_α er strålebredde langskip, og θ_β er strålebredden tverrskip. Tallet 5800 er en konstant som Simrad har utledet selv, mens tilsvarende forenklede formler finnes i Urick (1983). Salinitet i vannet påvirker akustiske målinger (Bodholt, 2002), og siden Psi verdiene som var beregnet fra målinger som var tatt i ferskvann, må Psi korrigeres dersom svinger skal brukes i salt vann:

$$\psi = \psi_0 \frac{c^2}{c_0^2} \quad (41)$$

her er ψ_0 Psi verdien Simrad har beregnet, c_0 lydfarten som Simrad brukte i målingen sin, og c er lydfarten i saltvann (lokale lydfarten). Denne korrigerte verdien av Psi blir brukt i målingsprogrammet EK80.

Temperatur [°C]	Lydfart [m/s]
3.5	1419.27
25.6	1498.3
19	1479.25
18	1476.05
18	1476.05
18.5	1477.66

Tabell 1.2: Lydfarten i ferskvann for temperaturene Simrad brukte for sine målinger.

Tabell 1.2 viser lydfarten for de ulike temperaturene. Lydfarten er beregnet med Del Grosso kalkulator med 0 % salinitet fra internett siden <https://keisan.casio.com/exec/system/1258122391>.

1.7 Beregning av Psi i et forenklet system

1.7.1 Beregning av psi ved bruk av svinger frekvens og dets effektive areal

Ved å anta at det er en ideell sirkulær stempelkilde som svinger uniformt, kan verdier av psi beregnes ved bruk av ligningen (39), der $b(\theta, \varphi)$ inneholder Bessel funksjonen (Foote, 1990)

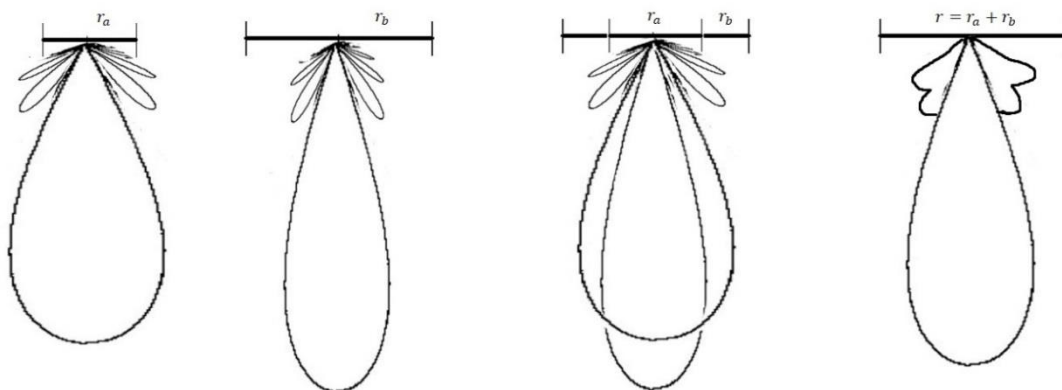
$$b(\theta, \varphi) = \left| \frac{2J_1(ka * \sin(\theta))}{ka * \sin(\theta)} \right|^2 \quad (42)$$

der $k = \frac{2\pi f}{c}$ er bølgenummer, a er svingerens effektive radius, θ er tverrskipsvinkelen, f er svingerens frekvens, og c er lydfart i vann.

Jeg har gjort noe antakelser i beregningen:

- Det er antatt at det er en ideell sirkulær stempelkilde som svinger uniformt.
- Direktiviteten til strålen oppfører seg som en kilde som har Bessel direktivitet.
- Lydfart i vann er for ferskvann og har verdien 1478 m/s .
- Den effektive radiusen er gitt av Simrad (for studieformål) er 100 % nøyaktig.

Det er viktig å nevne at intensiteten av effekten som er utstrålt fra svinger overflaten, er ikke uniform. Simrad har designet svingerne sine slik at sidelobene skal være svake i forhold til hovedloben: svingerflaten er delt opp i to sirkulære arealer; et indre aktivt areal med radiusen r_a som utstråler med 100 % effekt, og et ytre areal med radiusen r_b som utstråler ca. 70 % av svingerens maksimale effekt (Korneliussen et al., 2008). Figuren nede beskriver begge



arealene.

Figur 8: Figuren beskriver aktiv radius r_a og ytre radius r_b med deres respektive strålemønstre. Strålemønsteret helt til høyre er kombinasjon av begge radius. Det er denne mønsteret ekvivalent åpningsvinkelen er beregnet fra.

Følgende areal og dets radius er gitt av Simrad:

Tabell 2: Transduser med sine respektive aktive areal.

Transducer type	Areal (m^2)
ES18-11	0.1948
ES38-7	0.1075
ES70-7C	0.0315
ES120-7C	0.0104
ES200-7C	0.0041
ES333-7C	0.0013

1.7.2 Beregning av PSI ved bruk av Simrad sin forenklete formel

Ved bruk av formelen (40) – (41), kan Psi beregnes fra strålebredden fra målingsdata fra kalibreringen. Verdiene som er beregnet er vist i tabellen nede.

Tabell 3: Beregnet ekvivalent åpningsverdi sammenlignet med tilsvarende verdier beregnet av Simrad. Verdien for lydfarten i saltvann som ble brukt i ligning (41) er 1478m/s for alle frekvensene.

Frekvens [kHz]	Areal [m^2]	Psi beregnet av Simrad [dB]	Psi beregnet for uniformt svingende sirkulært stempel [dB]	Psi beregnet fra forenklet Simrad [dB]	Psi oppgitt i EK80 [dB]	Psi beregnet av Simrad korrigert med formel (41) [dB]
18	0.1948	-17.3	-17.97	-17.40	-17	-17.3
38	0.1075	-19.8	-21.89	-21.61	-20.7	-19.26
70	0.0315	-20.6	-21.86	-21.36	-20.7	-20.57
120	0.0104	-21	-21.73	-21.77	-20.7	-21.05
200	0.0041	-20.5	-22.11	-21.68	-20.7	-20.55

Tabell 3 viser stort avvik mellom PSI verdien som var beregnet fra Simrad (både før og etter korrigert med formel (41)) og verdien som var beregnet for et uniformt svingende sirkulært stempel. Dette skyldes at modellen for å beregne uniformt svingende stempel kilden var antatt å ha samme utstråling effekt over hele svinger overflaten, mens Simrad sin PSI-verdi tok hensyn til ulik utstrålings effekts områder på svinger overflaten.

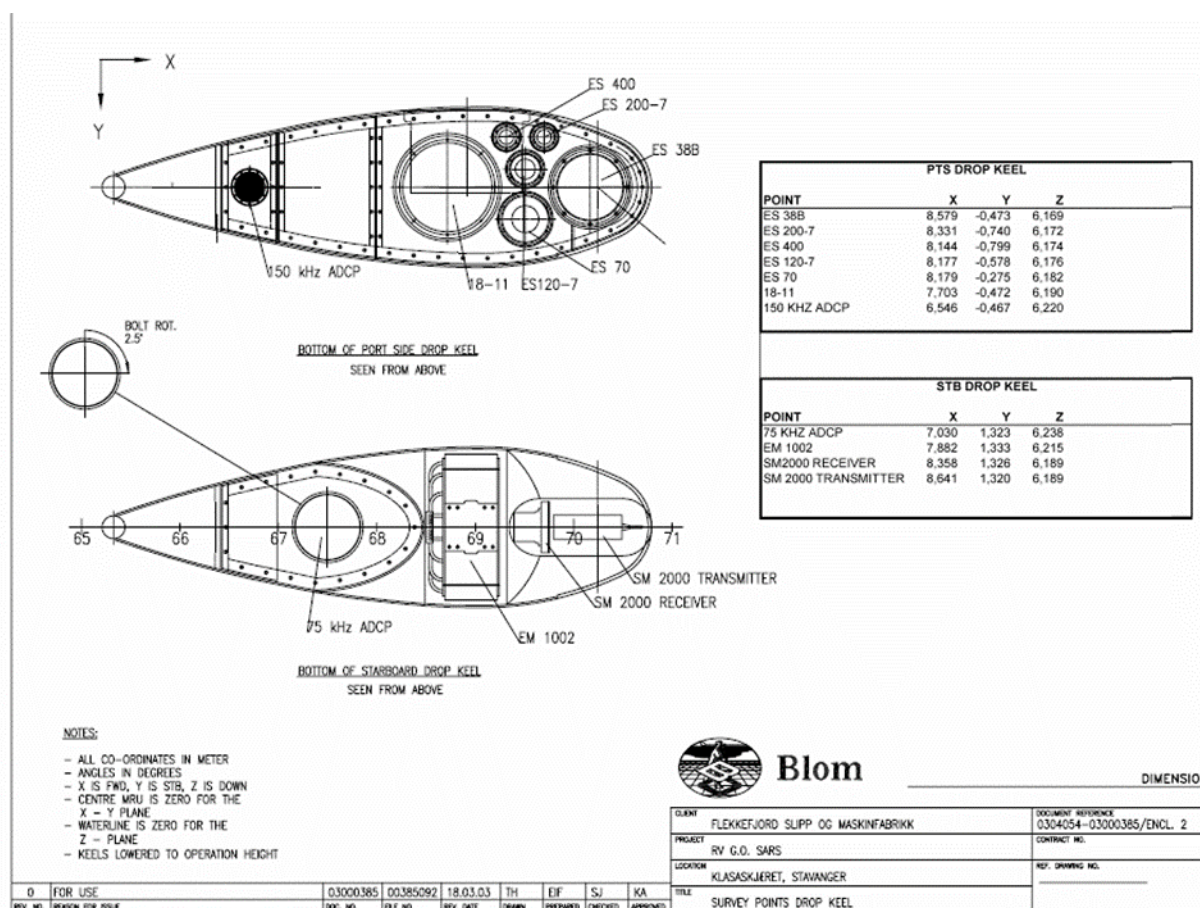
2. MATERIAL OG METODE:

2.1 Svinger posisjon

2.1.1 Forskyvning av svinger posisjon

Som det ble beskrevet under **Introduksjon**, blir alle svinger aktivert samtidig. 38 kHz (svinger vil bli referert til dets frekvens for bekvemmelighets skyld) vil være hovedsvinger for denne oppgaven og antas å ha riktig vinkelmål. Resten av svingere vil bli brukt for sammenligning. Kalibreringskulens posisjonering i strålen må korrigeres for svingerens posisjonering relativt til 38 kHz svingeren. Korrigeringen blir gjort med følgende metode:

- På grunn av forskjellige frekvens gir forskjellig antall treff, blir målingene til alle fire frekvensene sortert med tid, slik at alle målingene treffer med samme tid. Resten av målingsdata som ikke kan bidra til beregningen, blir slettet.



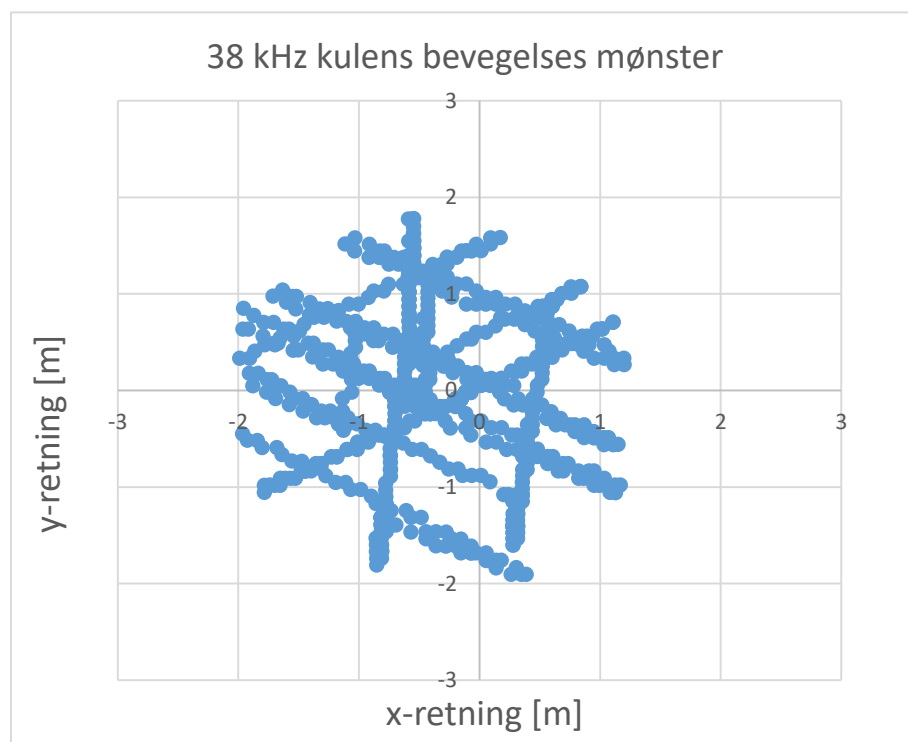
Figur 8: Senkekjøll tegning som beskriver svingers posisjon på senkekjøllen om bord forsknings fartøyet G.O Sars.

- Det er også viktig å påpeke at SIMRAD sine målingsdata har ikke tatt hensyn til draft dybde som er på 6 meter. Draft er dybden til selve senkekjøllen. For å kompensere for draft, ble alle range verdiene trekkes fra 6 m.

- Målinger for 18 kHz, 70 kHz, 120 kHz og 200 kHz fra senkekjøl tegningen blir brukt til å korrigere 38 kHz sin posisjon. Dette kan gjøres ved å beregne målets x og y avstand i forhold til svingers posisjon og deretter korrigere for avstandene som er gitt på tegningen. Avstanden er forskjellen til x, y, z verdiene mellom 38 kHz, og 18, 70, 120, 200 kHz (se tabellen nede). Deretter plottes x-retning med y-retning for alle frekvensene og sammenlignet med 38 kHz (se figur. 9 ad for ukorrigert, og figur 10 ad for korrigert for posisjons offset).

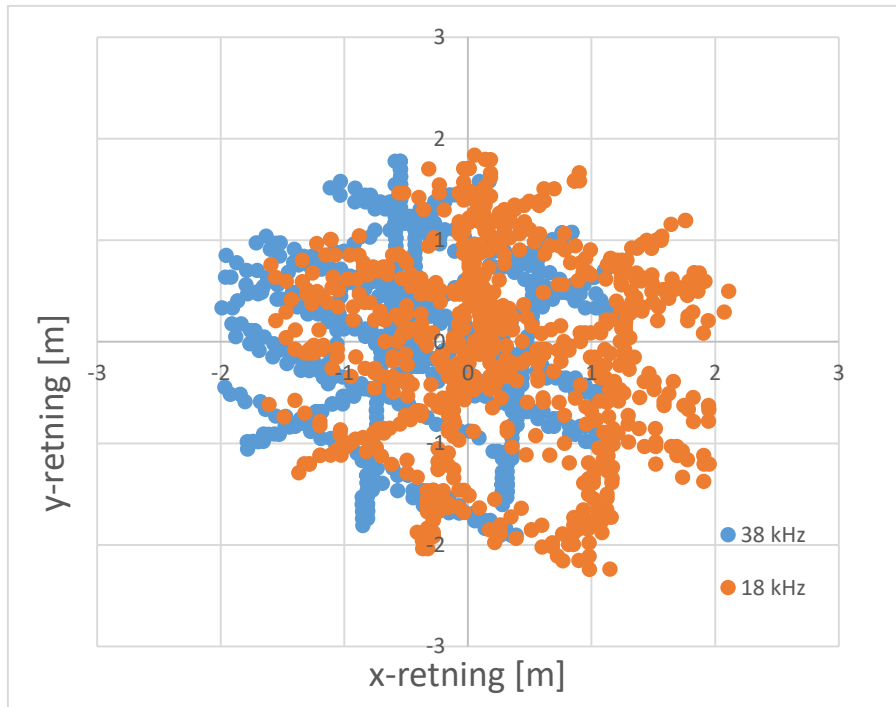
Tabell 4: Tabellen viser avstands forskjellen i x, y og z posisjonen mellom hver svinger.

	X	Y	Z		DIFFX	DIFFY	DIFFZ
ES38B	8,579	-0,473	6,169				
ES18-11	7,703	-0,472	6,19		0,876	-0,001	-0,021
ES70	8,179	-0,275	6,182		0,4	-0,198	-0,013
ES120	8,177	-0,578	6,176		0,402	0,105	-0,007
ES200-7	8,331	-0,74	6,172		0,248	0,267	-0,003

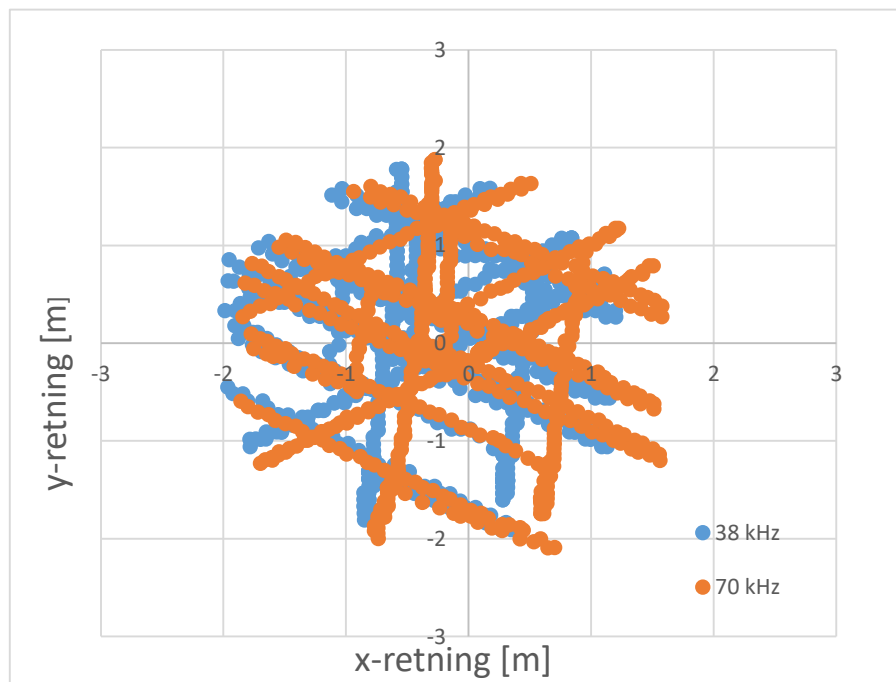


Figur 9: Kulens x-retning plottet med y-retning. Mønsteret viser hvordan kula har beveget seg under kalibrering på 27 meters avstand fra svingeren. Dette mønsteret er likt for alle frekvensene. Avstandene er målt i meter [m].

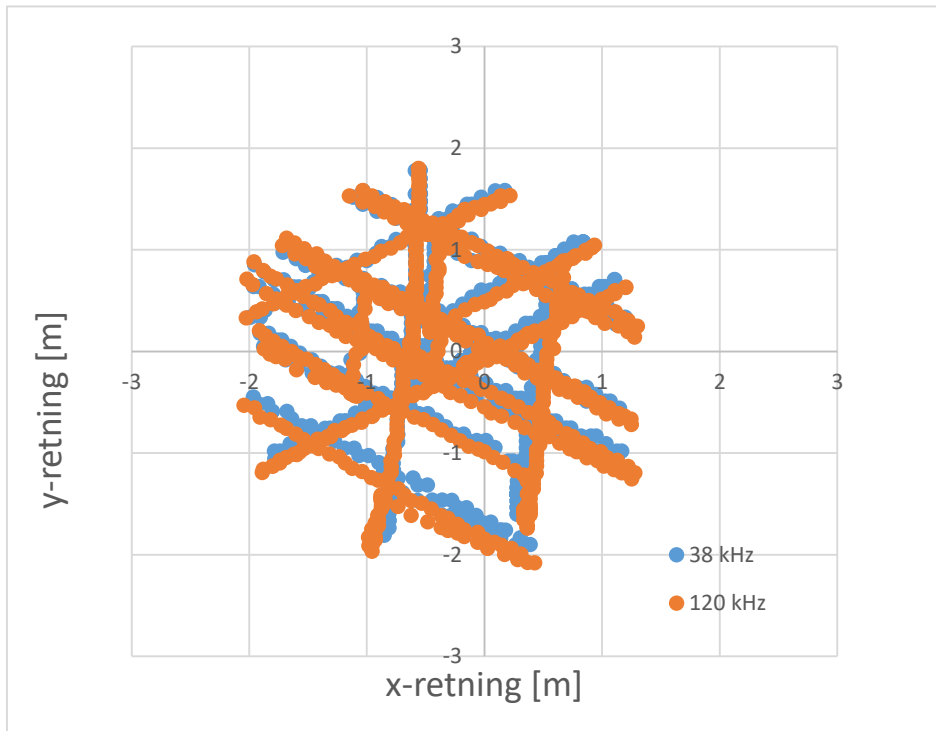
Følgende Figur 10a–d viser kulens bevegelses mønster målt av to svinger på samme tidspunkt uten korrigering for posisjons offset.



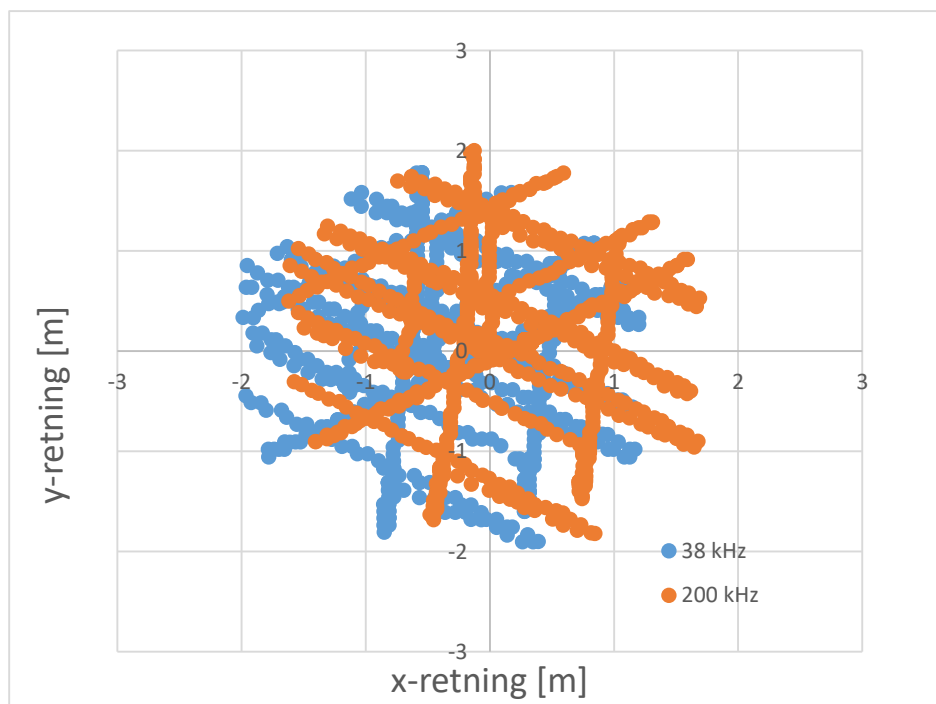
Figur 10a: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 18 kHz (oransje). Her representerer x-aksen langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. Ikke korrigert for posisjons offset.



Figur 10b: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 70 kHz (oransje). x-aksen representerer langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. Ikke korrigert for posisjons offset.

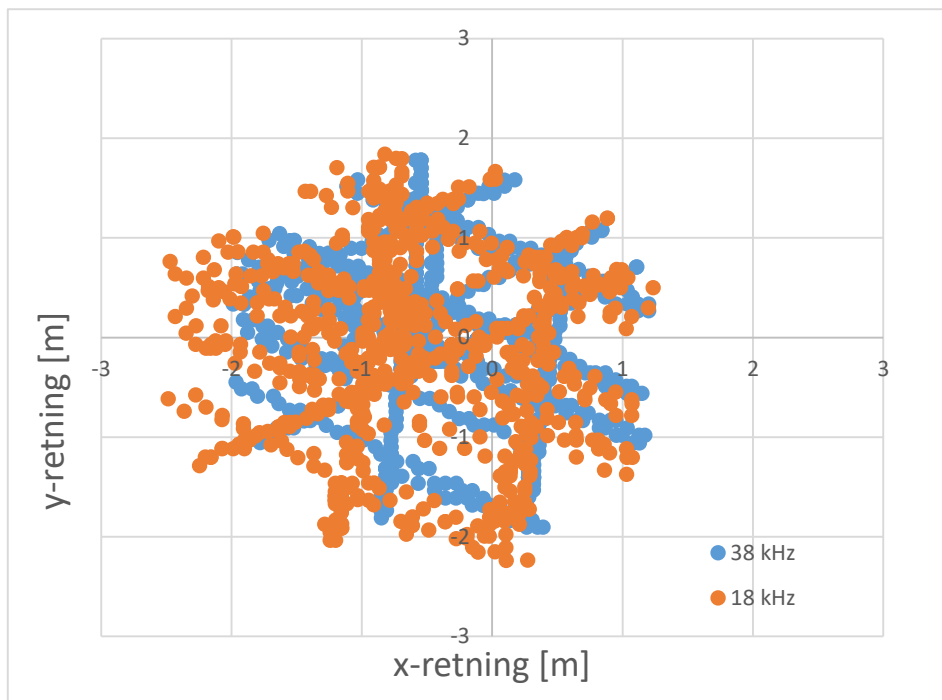


Figur 10c: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 120 kHz (oransje). x-aksen representerer langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. Ikke korrigeret for posisjons offset.

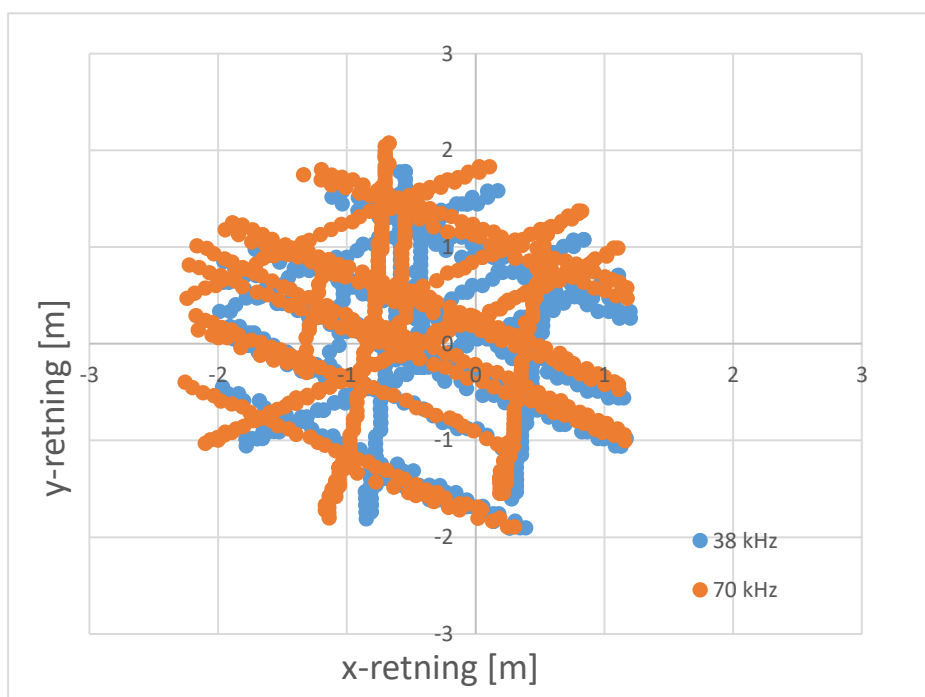


Figur 10d: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 200 kHz (oransje). x-aksen representerer langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. Ikke korrigeret for posisjons offset.

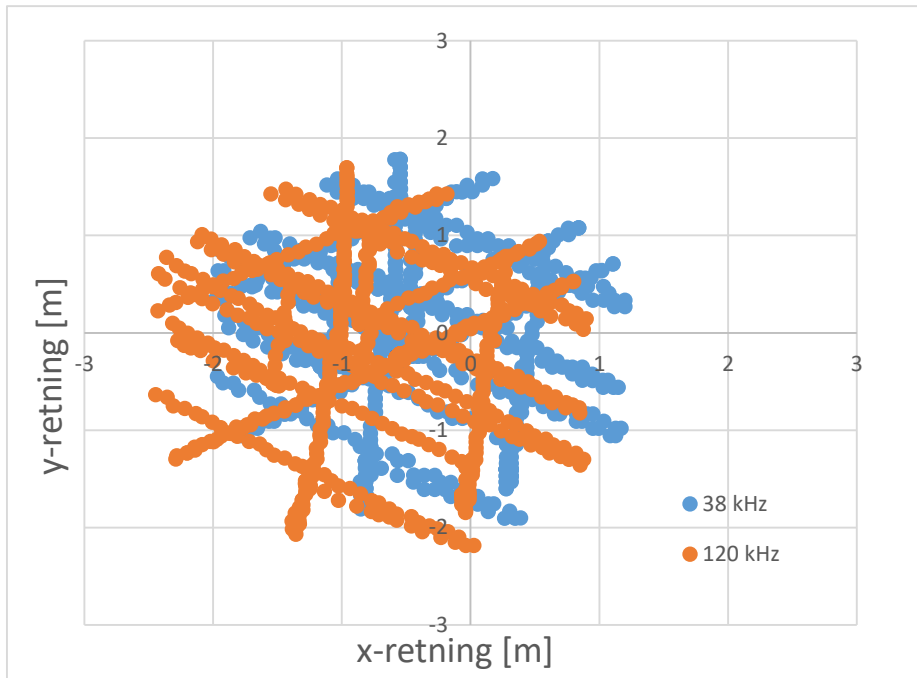
Følgende Figur 11a–d nede viser de samme målingene fra figur 9a–d, men med korrigering av posisjons offset av 18, 70, 120 og 200 kHz i forhold til 38 kHz. Korrigerings verdi som er brukt her er av DIFFX og DIFFY fra Tabell 4.



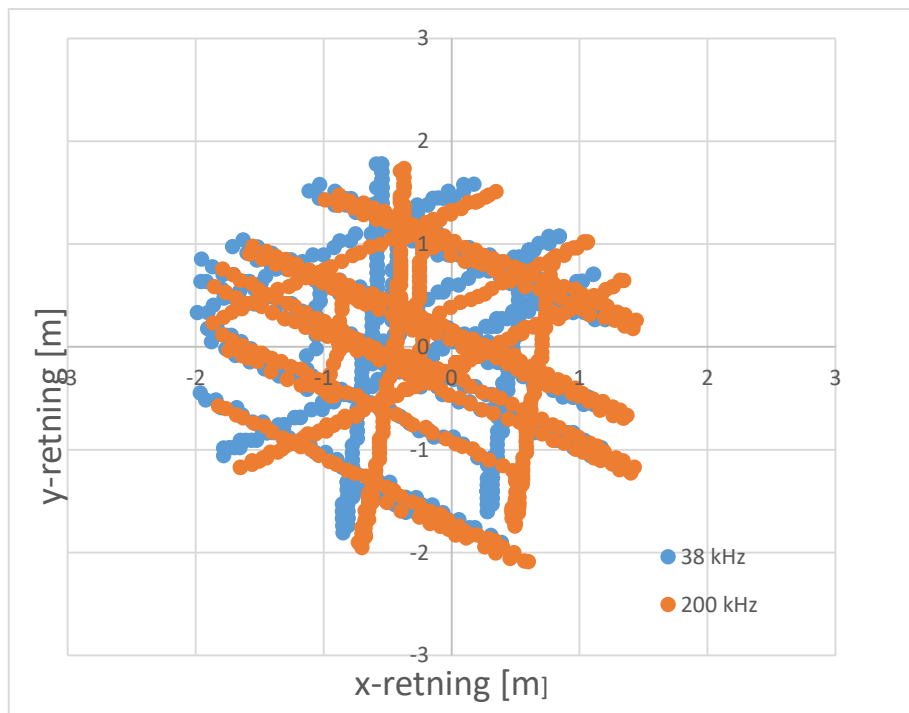
Figur 11a: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 18 kHz (oransje). Her representerer x-aksen langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. 18 kHz er korrigert for posisjons offset i forhold til 38 kHz ved bruk av DIFFX og DIFFY fra Tabell 4.



Figur 11b: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 70 kHz (oransje). x-aksen representerer langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. 70 kHz er korrigert for posisjons offset i forhold til 38 kHz ved bruk av DIFFX og DIFFY fra Tabell 4.



Figur 11c: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 120 kHz (oransje). x-aksen representerer langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. 120 kHz er korrigert for posisjons offset i forhold til 38 kHz ved bruk av DIFFX og DIFFY fra Tabell 4.



Figur 11d: Kulens bevegelses mønster målt med 38 kHz (blå) og 200 kHz (oransje). x-aksen representerer langs skips avstand [m], og y-aksen tvers skips avstand [m]. 200 kHz er korrigert for posisjons offset i forhold til 38 kHz ved bruk av DIFFX og DIFFY fra Tabell 4.

Som figurene viser, ligger svinger ikke på hverandre selv etter korrigering av posisjons offset ved bruk av DIFFX og DIFFY. I teorien så skal målingene gitt av senkekjøel tegningen (Figur. 8)

være god nok til å korrigere posisjons offset mellom svingere. Men siden posisjonen til bevegelses mønsteret passer ikke med hverandre etter korrigeringen (Figur. 10a–d), må det antas at målingene fra svingere kanskje ikke er 100 % korrekte. Skeiv montering av svinger der strålings aksene ligger fysisk skeivt, unøyaktig måling av vinkler fra EK80, som videre fører til feil beregning av langs skips og tvers skips avstand kan føre til dette.

Følgende undersøkelse blir nå gjort for å finne ut om hvorfor korrigerings for posisjons offset fra målingene fra senkekjøl tegningen ga så gale resultat:

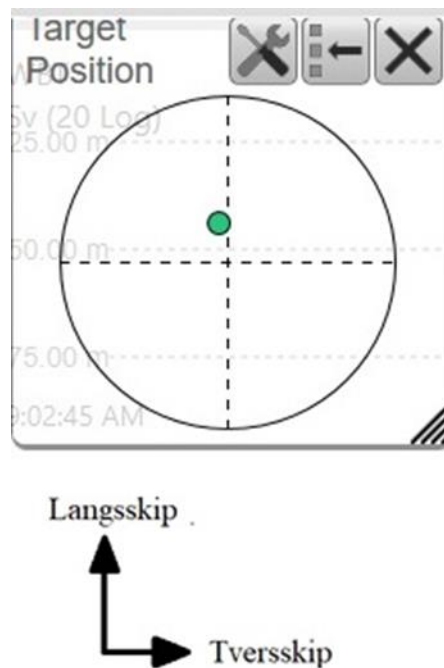
- Beregning av svinger posisjon fra målingsdata for å sjekker om svinger riktig plassert i forhold til senkekjøl tegningen.
- Effekten av skeiv strålings akse.
- Sjekker om ligningene som ble brukt er riktige.

Må nevne at det var ment å inkludere måldata til 333 kHz svinger. Men under kalibreringen så viste det seg at denne svinger var ødelagt. 333 kHz svinger som er montert på senkekjølen, er ekskludert for resten oppgaven.

2.1.2 Beregning av svinger posisjon fra målingsdata

Når senkekjølen er i bruk, er det ikke mulig å vite om svingers plassering uten å se på senkekjøl tegningen, men posisjonene deres i forhold til kulen kan beregnes ut av de målte vinkel verdiene (langs skip og tvers skip) til kulen.

Når kulens posisjon er målt ved et tidspunkt, blir kulens vinkel og dybde (range) kjent på det tidspunktet. På EK80 blir kulens posisjon relativt til svingers posisjon representert i et vindu (Figur 15).



Figur 12: Kulens posisjon (grønn) i forhold til svinger er vist i target window til EK80. Her er x akse tversskip, og y akse langskip. Målt i vinkel. Kulen er en WC (Wolfram Carbide) kule med 57.2mm radius målt i CW (small band) av en 18 kHz ES18 svinger i tidspunktet 09:03:08 i salt vann. Bildet tatt fra EK80 programmet. Dette bildet er en liten del av Figur. 16 på neste side.

Kulens avstand, både i langs skip og tvers skip, kan beregnes ved bruk av kulens vinkel verdi (konvertert til radianer) og dybde. Tvers skips (x) og langs skips (y) avstand kan beregnes ved bruk av formelen (Demer 2005):

$$x = \frac{r}{\sqrt{1 - \sin^2(\alpha) \sin^2(\beta)}} * \sin(\alpha) \cos(\beta) \quad (43)$$

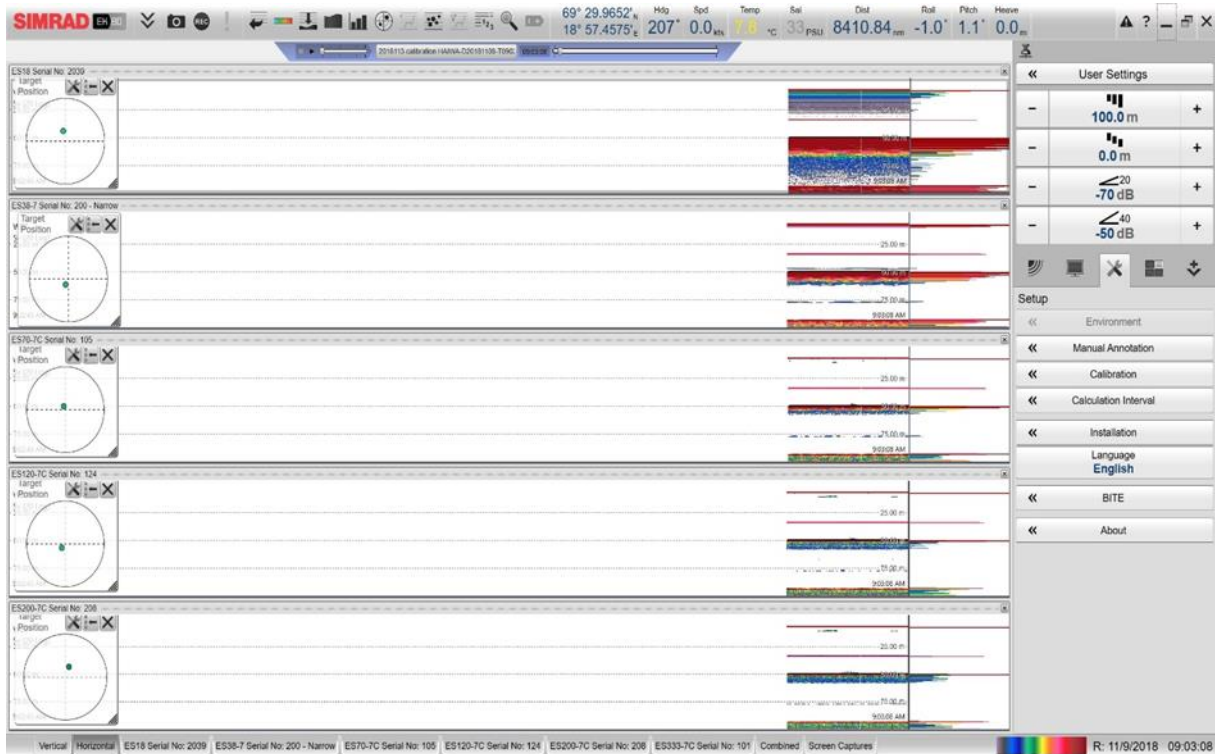
$$y = \frac{r}{\sqrt{1 - \sin^2(\alpha) \sin^2(\beta)}} * \cos(\alpha) \sin(\beta) \quad (44)$$

der r er range, α er langs skips vinkel i radianer, og β er tvers skips vinkel i radianer. Avstandene har enheten meter.

Svingers posisjon kan nå bestemmes ved å trekke ifra kulens avstand både i x og y retningen. F.eks. på Figur 12 over, ligger svinger i x-avstand bak (negativ langs skip), og y-avstand til høyre (positiv tvers skip) i forhold til kulen (grønne punkt).

Denne metoden kan også brukes til å bestemme posisjon til flere svingere dersom alle svingere måler den samme kulen på samme tidspunkt.

På Figur. 16 ser er det et skjermbilde tatt direkte fra EK80 som viser posisjonen til de fem svingere (18 kHz, 38 kHz, 70 kHz, 120 kHz og 200 kHz) fra denne oppgaven. Vinkel og dybde til kulen for hver av de fem svingere er beskrevet i Tabell. 7.



Figur 13: Skjermbildet tatt fra EK80 hvor Figur 15 er hentet ifra. Målingen er tatt ved tidspunktet 09:03:08. På venstre side ligger target window som viser hvor kulen (grønn) ligger i forhold til svingerens posisjon (origo). Fra øverst til nederst: 18 kHz, 38 kHz, 70 kHz, 120 kHz og 200 kHz.

Tabell 5: Kulens dybde (range), langs skips og tvers skips vinkel for hver av svingere.

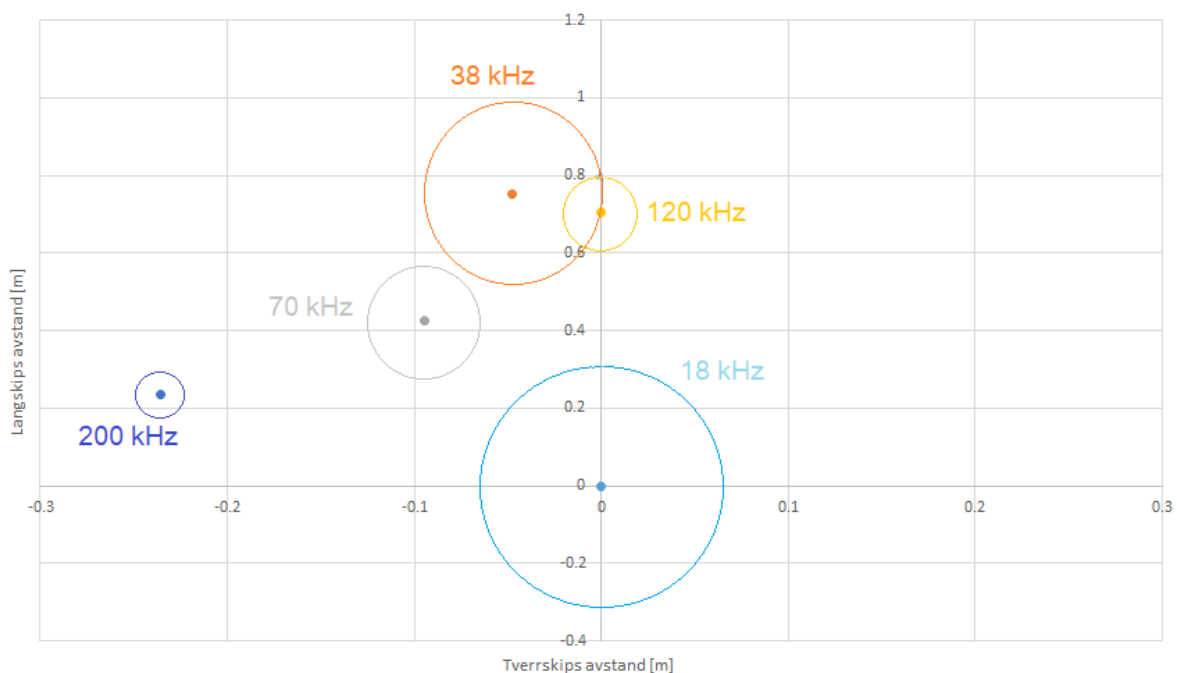
Frekvens	Range [m]	Langs skip vinkel [grader]	Tvers skip vinkel [grader]
18 kHz	27	1.2	-0.3
38 kHz	26.9	-0.4	-0.2
70 kHz	26.9	0.3	-0.1
120 kHz	27	-0.3	-0.3
200 kHz	27	0.7	0.2

Ved å konvertere vinklene til radianer og deretter bruker ligningene (43) og (44) kan svingers posisjon i forhold til kulen beregnes. Avstandene for både langskips og tverrskips retning er vist i tabellen under.

Tabell 6: Kulens langs skips og tvers skips avstand i forhold til sin respektive svinger beregnet fra formlene (35) og (36).

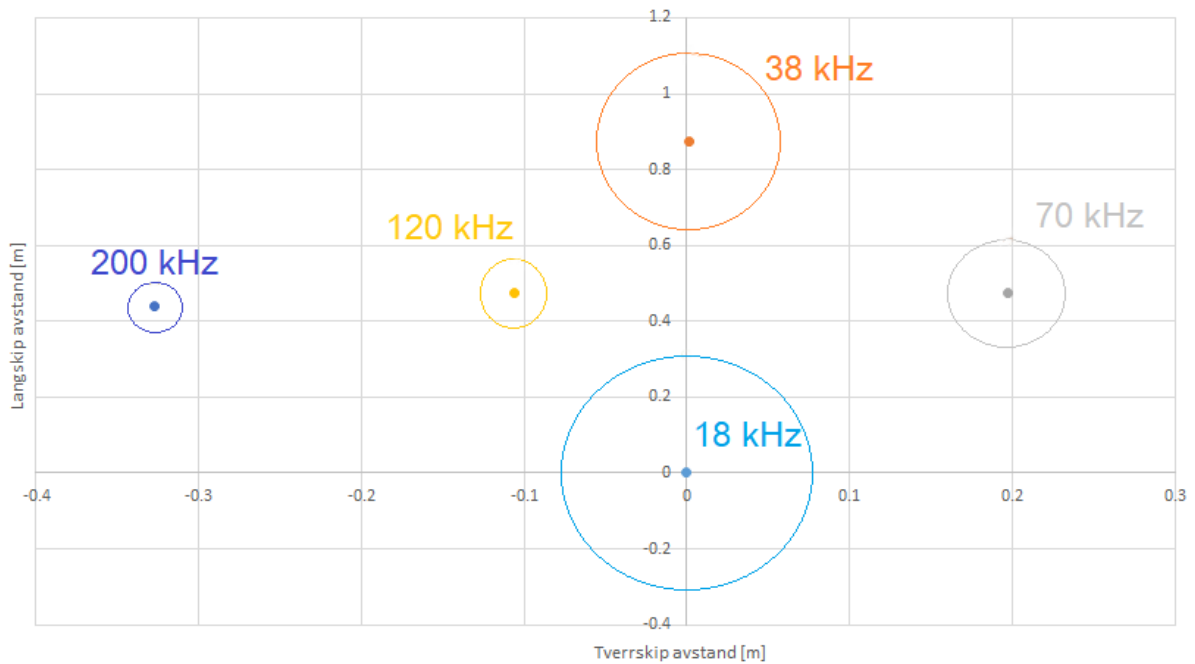
Frekvens	Langs skips avstand [m]	Tvers skips avstand [m]
18 kHz	0.5654	-0.1413
38 kHz	-0.1878	-0.0939
70 kHz	0.1409	-0.0470
120 kHz	-0.1414	-0.1414
200 kHz	0.3299	0.0942

For bekvemmelighets skyld er 18 kHz nå plassert i origo og blir brukt som referanse for posisjonering av andre svingere. Dette blir gjort ved å trekke fra 18 kHz sin egen langs skips (x) og tvers skips (y) avstands verdi. Resten av svingere sin posisjon blir korrigert ved å trekke hver sin x y verdier med 18 kHz sin x y verdier. Tvers skips avstand y er plassert i x-aksen, og langs skips avstand x er plassert i y-aksen. Alle posisjonene er plottet i Excel.

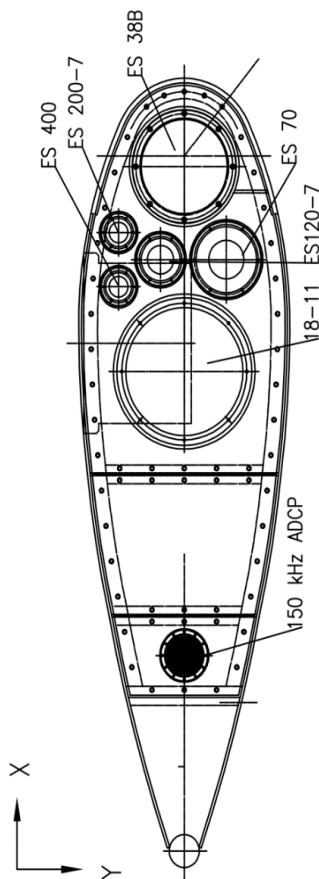


Figur 14: Posisjon til alle svingere beregnet fra målingsdata fra EK80 (sett oven ifra). Her representerer x-aksen tvers skips avstand, og y-aksen representerer langs skips avstand målt i meter. På høyre siden av grafen står hvilken farge tilsvarer hvilket svinger. Punktet representerer svingers sentrum. Sirkelen representerer skallen rundt svingeren.

Figur. 15 neste side viser posisjonen til alle svingere ved å bruke målinger fra senkekjøll tegningen (Figur. 8). Avstandene som ble brukt er DIFFX (langs skips avstand) og DIFFY (tvers skips avstand) fra Tabell. 4. Akkurat som på Figur. 14, er 18 kHz plassert i origo og blir brukt som referanse. Korrigering av posisjonene i forhold til 18 kHz blir gjort på samme måte som på Figur. 14



Figur 15: Posisjon til alle svingere som er beskrevet på senkekjøl tegningen (sett oven ifra). x-aksen representerer tvers skips avstand, og y-aksen representerer langskips avstand. Punkt representerer svingers sentrum, og sirkelen representerer skallen rundt svingeren. Målt i meter.



Figur. 16 til venstre viser plasseringen til alle svingere på senkekjølen sett oven ifra. Her er det viktig å legge merke til 200 kHz ligger på posisjonen til 400 kHz (som ikke er med i denne oppgaven) pga. ny oppdatering av monteringen (ikke med på bildet).

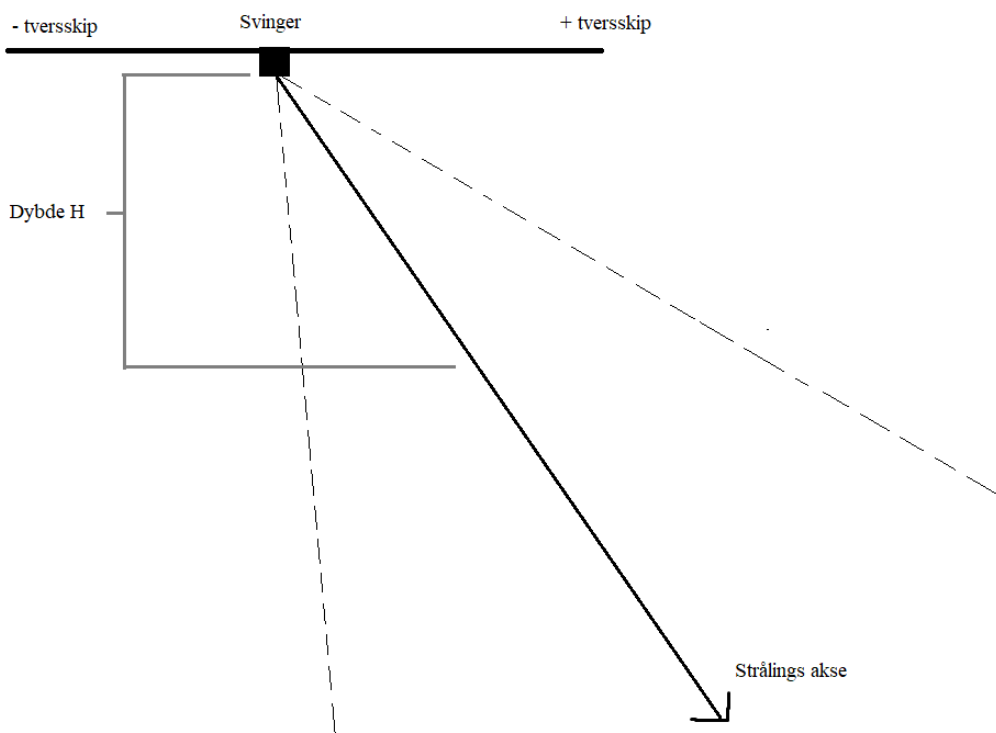
Figur 16: Svinger posisjon (top view) som det vises på senkekjølen. Top view betyr at svingerne er sett ovenifra og ned, dvs. at svingerplasseringen vist her er fra sett fra baksiden av svingerne.

Som Figur. 14 og Figur. 16 vises, er det veldig stor forskjell mellom posisjonene som var beregnet fra EK80 måledata, og posisjonen hentet fra senkekjøl tegningen. I tillegg til skeiv vridning (Figur 15) og store avstandsforskjell, så ligger 120 kHz på helt feil side av tvers skips akse. Dette er en god indikator på hvorfor korrigering av posisjons offset (Figur 10a–d) ved bruk av avstandene gitt på senkekjøl tegningen (Figur 8) ikke passet i det hele tatt.

Hvorfor er det så stor forskjell mellom posisjonene som var beregnet og posisjonene som var gitt på tegningen? En mulig forklaring kan være at vinklene som EK80 målte, ikke er helt korrekte. Når EK80 måler vinkel mellom svingers posisjon og kulens posisjon, måler den elektriske forskyvninger. Ved å multiplisere det elektriske forskyvningen med en konstant kalt for vinkel sensitivitet (angle sensitivity på engelsk), blir forskyvningen konvertert til mekanisk vinkel målt i grader. Vinklene som er gitt på målingsdataene fra EK80 er mekaniske vinkler. Hver svinger har sin vinkelsensitivitet. Hvis vinkelsensitivitet ikke er nøyaktig, vil det påvirke mekanisk vinkel. Hittil har det antatt at alle svingere har målt sine vinkler riktig.

2.1.3 Effekten av skeiv strålings akse

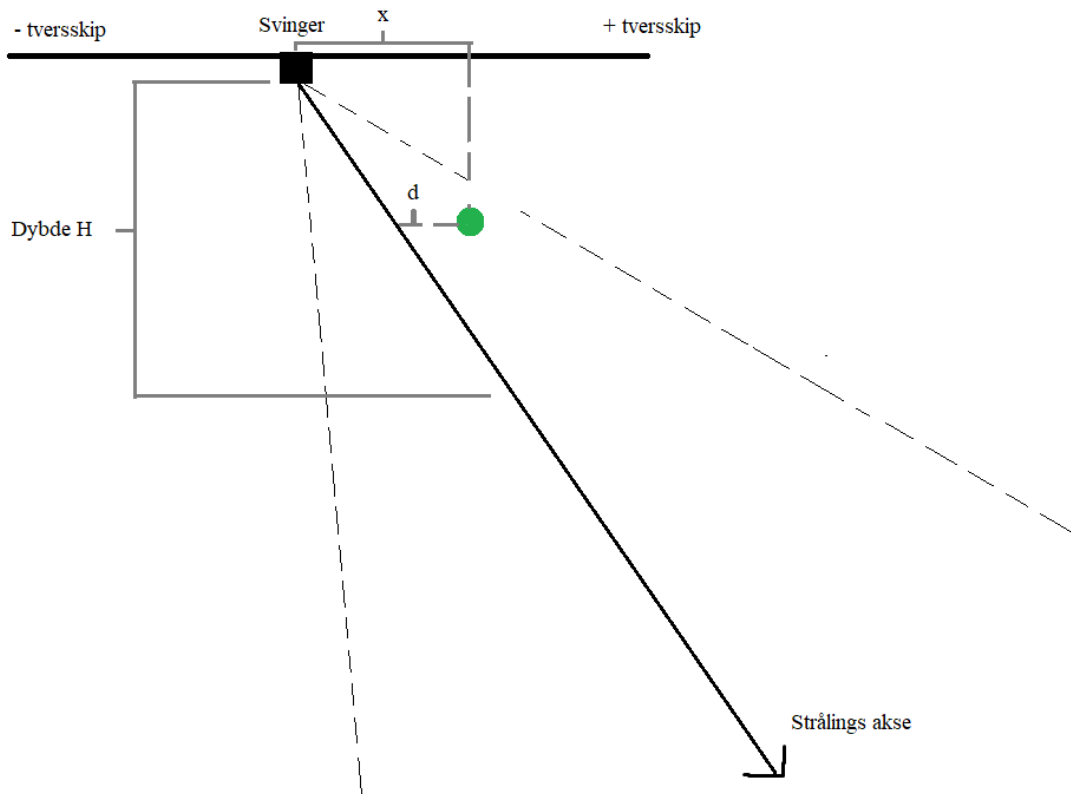
Dersom svinger svingere ligger skeivt, i forhold til hverandre, vil posisjonen til kulen endre seg. Figuren nede beskriver retningen til strålings akse under skeiv plassering. Beskrivelsen er overdrevet for bekvemmelighetsskyld.



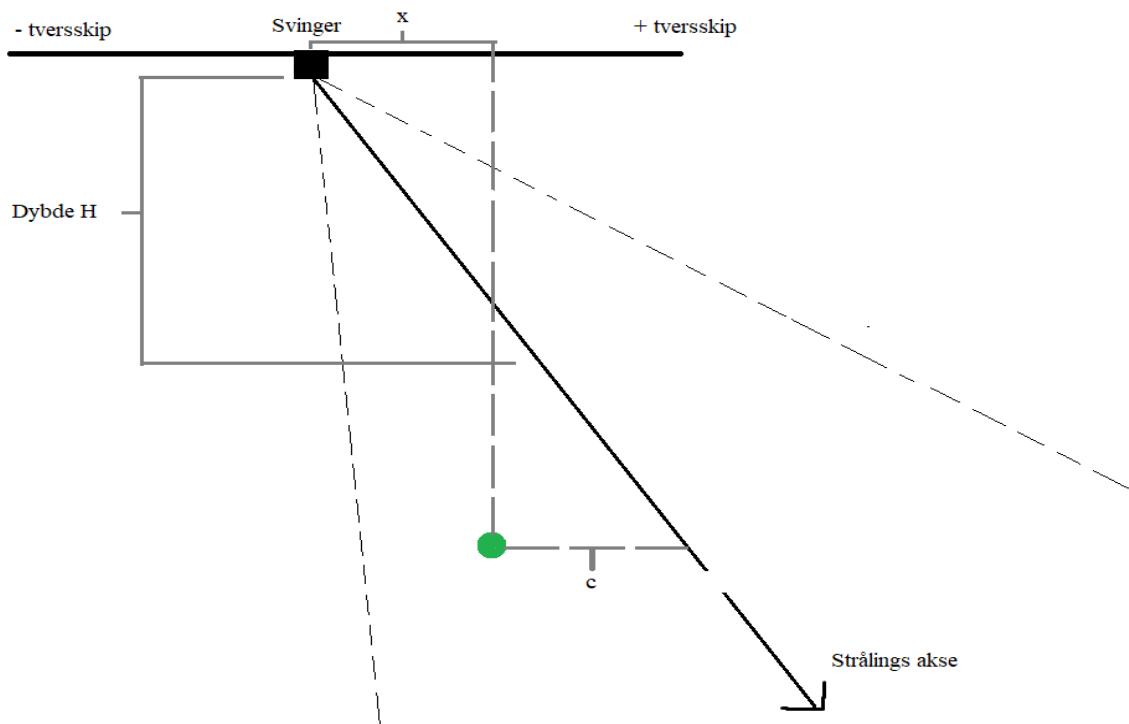
Figur 17: En svinger sett fra tvers skips side. Hel trukket linje representerer svingers strålings akse, og stiplede linje representerer strålebredden.

Antar nå at kulen ligger på et punkt i avstanden x fra svinger og innenfor dybden H (Figur 18). Her vil svinger registrere at kulen ligger på positiv tvers skip akse i en avstand d i forhold til sin strålings akse (posisjon). Men dersom kulen ligger i samme avstanden x , men i en dybde

utenfor H (Figur 20), vil svingeren registrere at kulen ligger på negativ tvers skips akse i forhold til sin strålings akse. Hva betyr dette for svingers posisjon? Siden det er ingen måte vite på forhånd om strålings akse er skeiv, er det vanlig å anta målingen som er vist på EK80 er korrekt. Dersom verdier som ble brukt for å beregne svingers posisjon er fra kulen som ligger under dybden H , vil beregningen plassere svinger på motsatt side av sin egentlige posisjon.

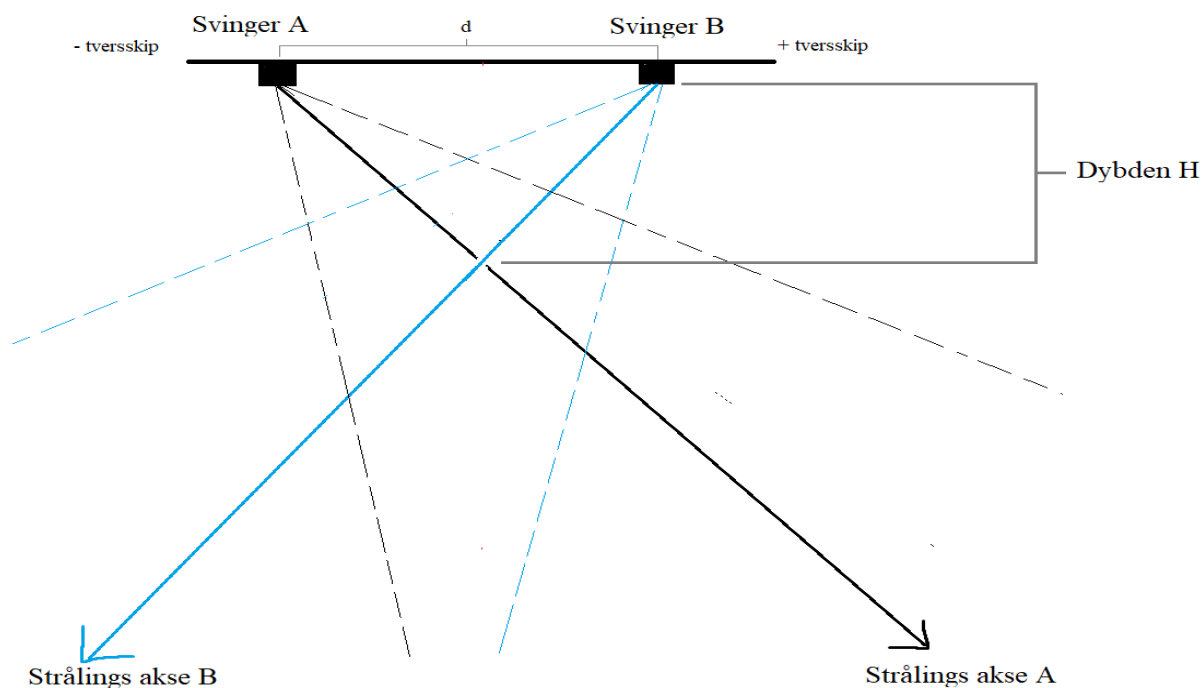


Figur 18: Her er kulen (grønn) i en avstand x fra en svinger og ligger innenfor dybden H . På EK80 vil kulens posisjon (sett oven ifra, som det viser i eksemplet på Figur 12) være i en avstand d på høyre siden av svingers origo, som er definert av strålings aksens.

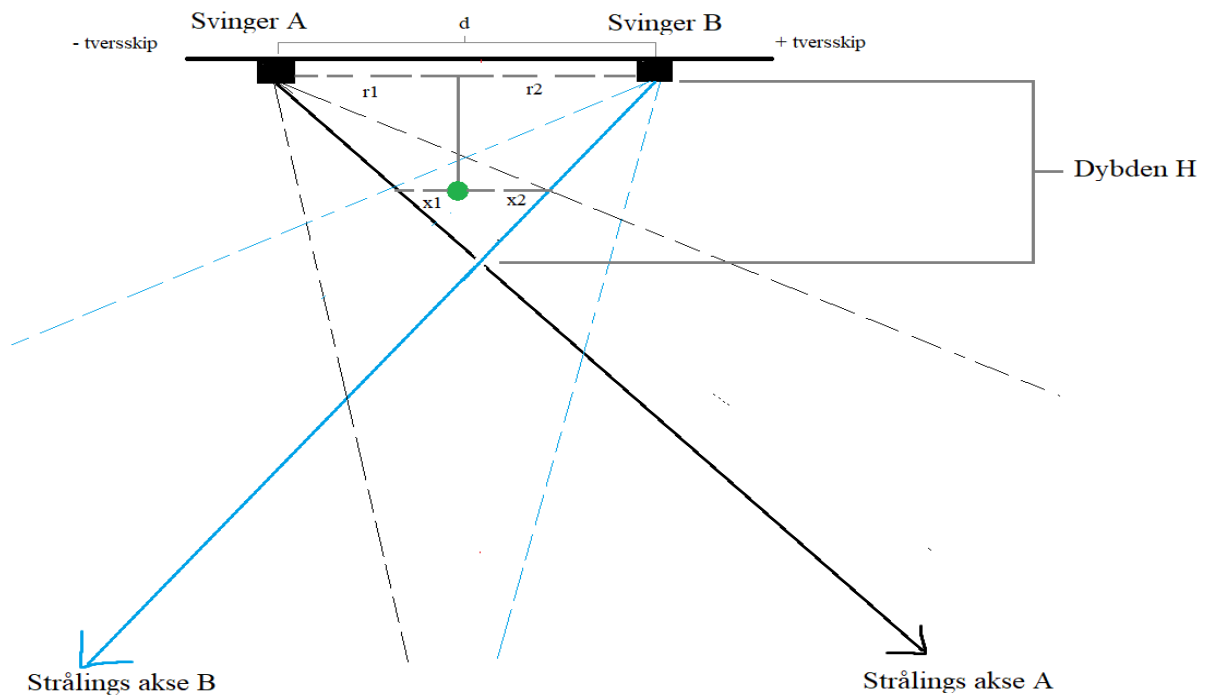


Figur 19: Her er den samme kula (grønn) i samme avstand x fra den samme svinger. Men denne gangen ligger kula utenfor dybden H . Dette fører til EK80 viser kulens posisjon (sett oven ifra) ligger i en avstand c på venstre side av svingers origo, som er definert av strålingsaksen.

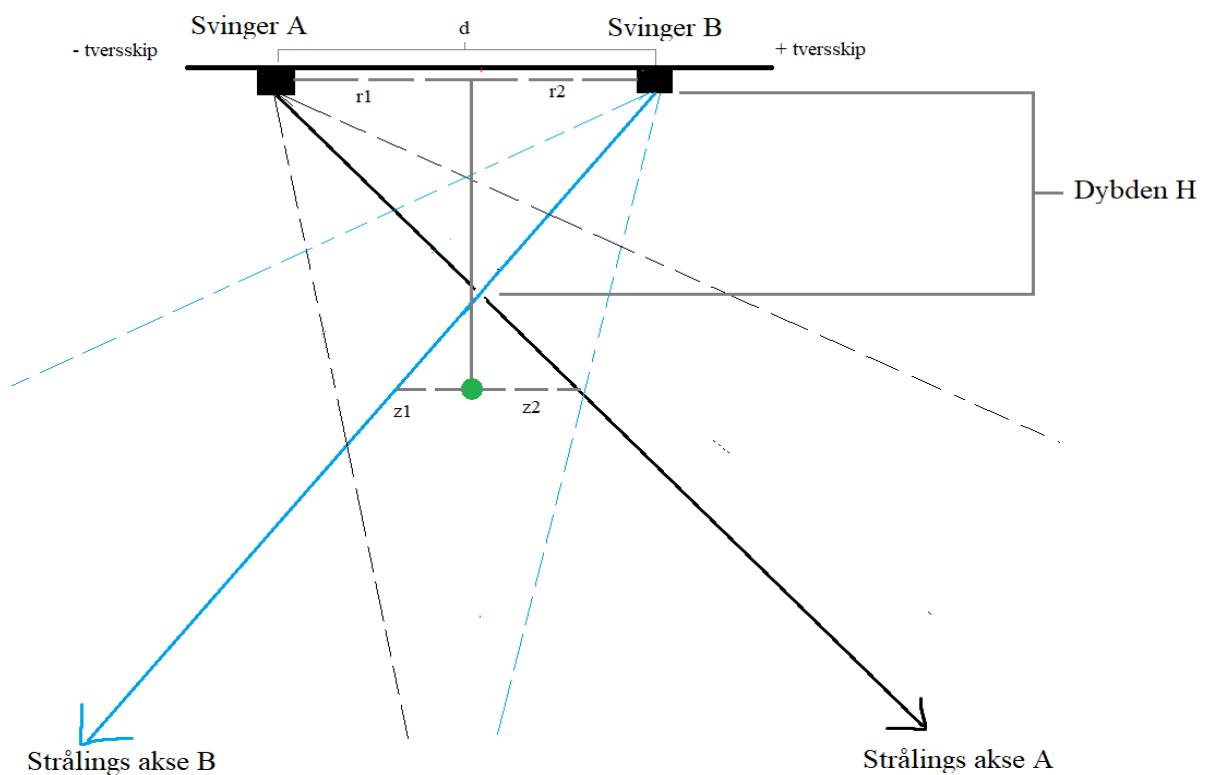
Figur. 20–22 beskriver det samme fenomenet dersom det er to svinger med skeiv strålingsakse som peker mot hverandre.



Figur 20: To svingere sett fra tverrskip. Svinger A og svinger B ligger i avstand d fra hverandre. Svart linje og svart stiplede linje representerer strålingsakse og strålingsbredde til svinger A, mens blå representerer svinger B.

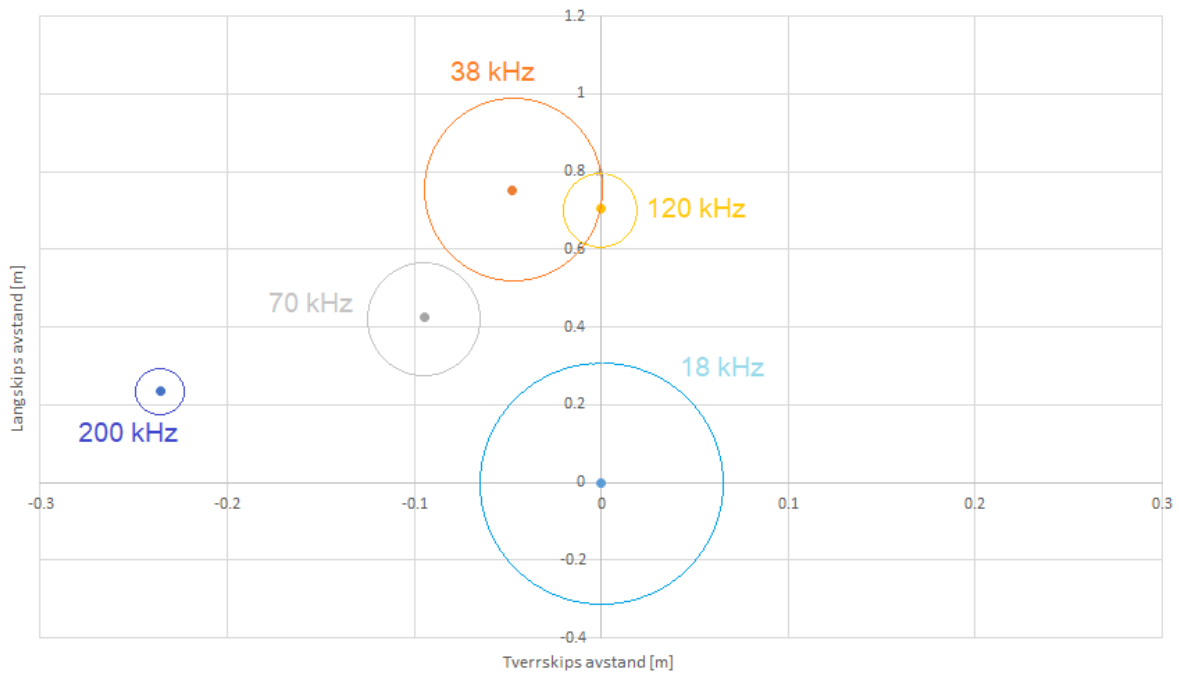


Figur 21: Kulen (grønn) ligger i en avstand r_1 fra svinger A, r_2 fra svinger B, og innenfor dybden H . Den har avstanden x_1 fra stråling aksen til A og x_2 fra B. På EK80 vil svinger B viser kulen (sett oven ifra) ligger avstand x_2 til venstre for sin origo (strålings akse), og svinger A vil viser kulen ligger avstand x_1 til høyre for sin origo (strålings akse).

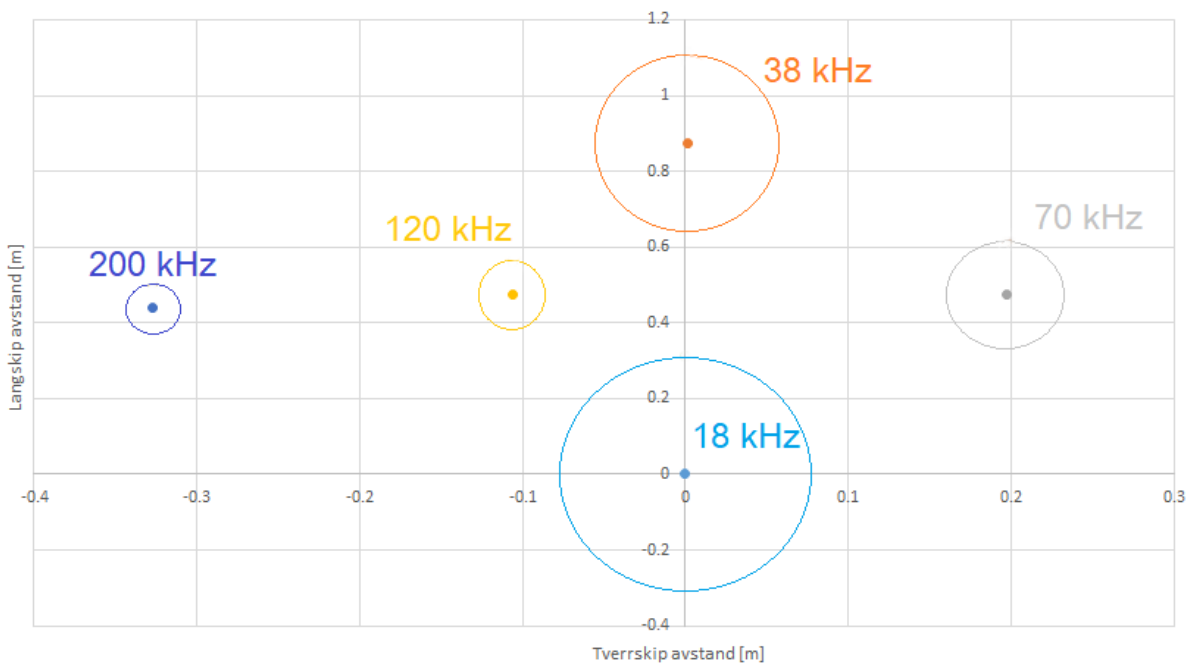


Figur 22: Kulen (grønn) ligger i samme avstand (r_1 fra svinger A og r_2 fra svinger B), men ligger nå under dybden H . Dette fører til kulen ligger nå i en avstand z_2 fra strålings aksen til svinger A, og z_1 fra strålings aksen til svinger B. På EK80 vil svinger A viser at kulen ligger z_2 til venstre siden av sin origo, og svinger B vil viser kulen ligger z_2 til høyre siden av sin origo.

Figur 17 og 18 blir nå plassert ovenfor hverandre for sammenligning.



Figur 23a

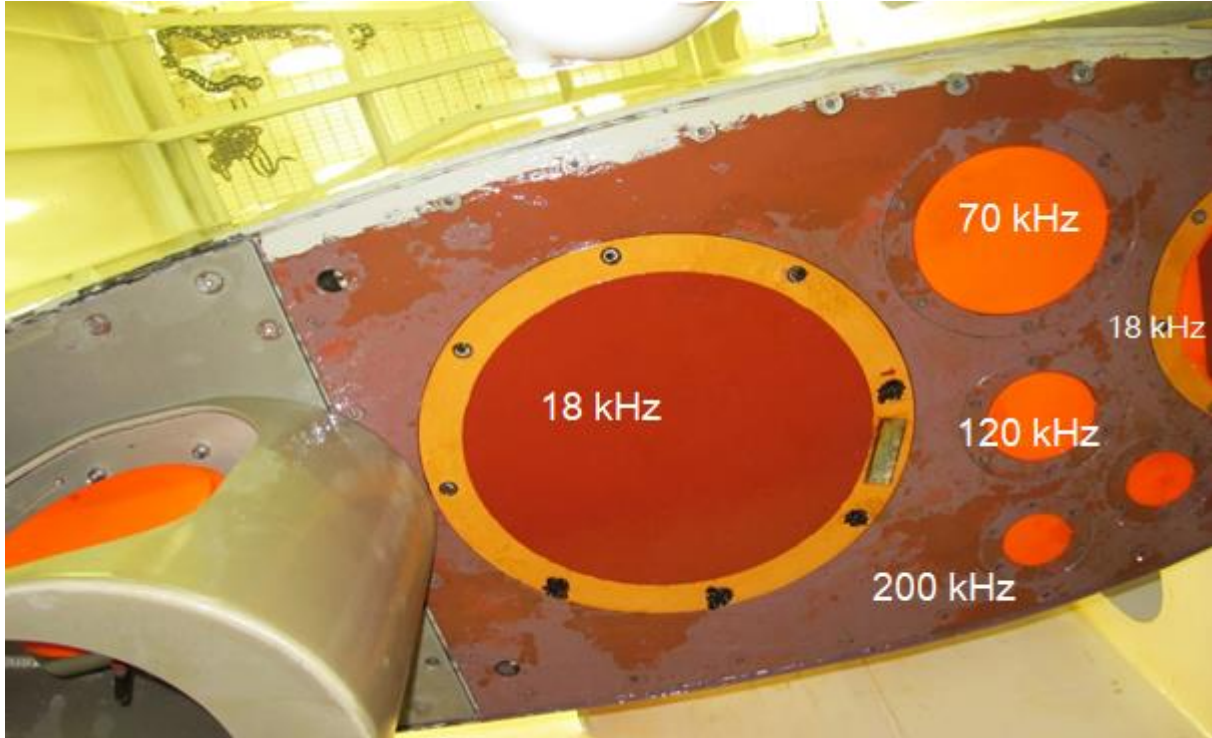


Figur 23b

Figur 23: Skipets svingerplasseringer (top view). Sirklene representerer fysisk størrelse på den aktive (keramiske) delen av svingerne. a) Beregnet plassering basert på målinger med EK80 for verifisering av svingerplassering (forutsatt vertikale, parallelle akustiske akser). b) Fysisk innmålt under montering av svingerne.

Ut ifra Figur. 23, og som det var nevnt under siste delen av under kapitlet **2.1.2**, har posisjonen til 70 kHz og 120 kHz ligget visuelt på feil plass. Dersom både 70 kHz og 120 kHz sin strålingsakse er skeivt og peker mot hverandre i tvers skip retning, og at kalibrerings kulens dybde ligger under dybden H, kan dette forklarer hvorfor de to svinger har byttet plass.

Bildet under (Figur 24) viser selve senkekjølen tatt fra forsknings fartøyet G.O Sars.



Figur 24: Bildet viser svingers plassering på senkekjølen sett under ifra (bottom view). Retningen mellom 18 kHz og 38 kHz er langskip, og avstanden mellom 70 kHz og 120 kHz er tverrskip. På grunn av at bildet er sett under ifra, så er posisjonene flippet om langskips sammenlignet med Figur 14–15.

Figur 24 bekrefter plasseringene av svingerne vist i Figur 23b. Merk at Figur 24 viser svingerne sett nedenfra (bottom view) mens Figur 23b viser svingerne sett ovenfra (top view). Dette viser også svingerplassering fra EK80 data ikke samsvarer med virkelig svingerplassering (Figur 23a-b og Figur 24). Dette kan forklares med at de akustiske aksene ved de forskjellige frekvensene ikke er parallelle. Dette har betydning for kombinerer av data mellom frekvensene (Korneliussen et al, 2008), men det har ikke betydning for målinger av ekvivalent åpningsvinkel, Psi.

Som det vises på Figur. 24, er størrelsen til 70 kHz stor, og er derfor fysisk umulig for posisjonen mellom den og 120 kHz å ha snudd om på senkekjølen. Og siden parameterne var programmert riktig på EK80, kunne ikke det har vært påvirket posisjons endring på Figur. 14.

Hvor stor skeivhets vinkel må til for å kunne gi dette fenomenet? Fra tabell. 4, er tverrskips avstanden (DIFFY) mellom 70 kHz og 120 kHz er 0.303m (ut i fra beregning). Kulen har en normal dybde på omtrent 27 meter, og velger en lavt tverrskips vinkel på 0.8 grader. Omgjøre vinkel til radianer og bruker grunnleggende trigonometri, finner den skeive tverrskips avstand i forhold til svingers normale sentrum er 0.377m, som er lengre enn 0.303m. Dette viser at med en så små vinkel som 0.8 grader, kan det gi stor skeivhet i dybden som kulen ligger.

For å dobbeltsjekke denne teorien, ble det tatt et nytt sett med måling med fire svingere; 70 kHz, 120 kHz, 333 kHz og 200 kHz montert på en TS probe (Figur. 25).



Figur 25 a

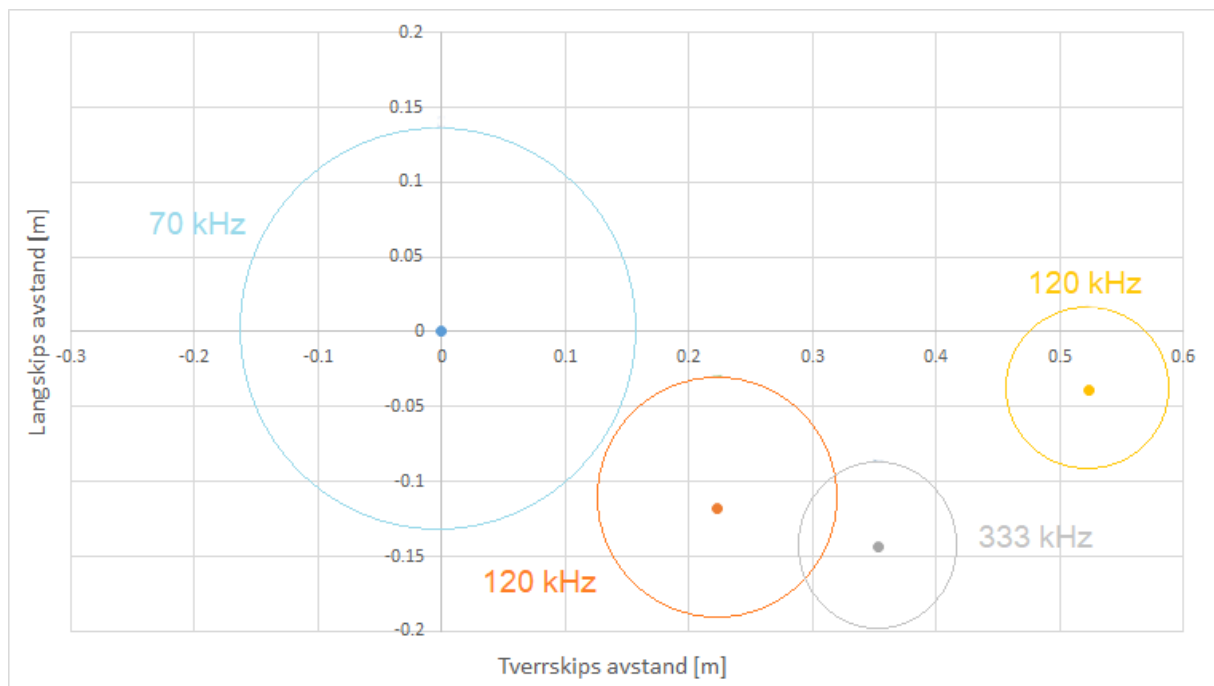


Figur 25b

Figur 25: TS probe. Den største svingeren (med monterings ring) er 38 kHz som er ikke aktivert i denne målingen. Fra venstre til høyre: 70 kHz, 120 kHz, 333 kHz og 200 kHz. Proben er bygget av Ronald Pedersen, senior ingeniør av HI. **Figur 25a** viser proben som det er fotografert, d.v.s. «bottom view». **Figur 25b** viser proben speilvendt, d.v.s. tilsvarende «top view» som er sett oven ifra.

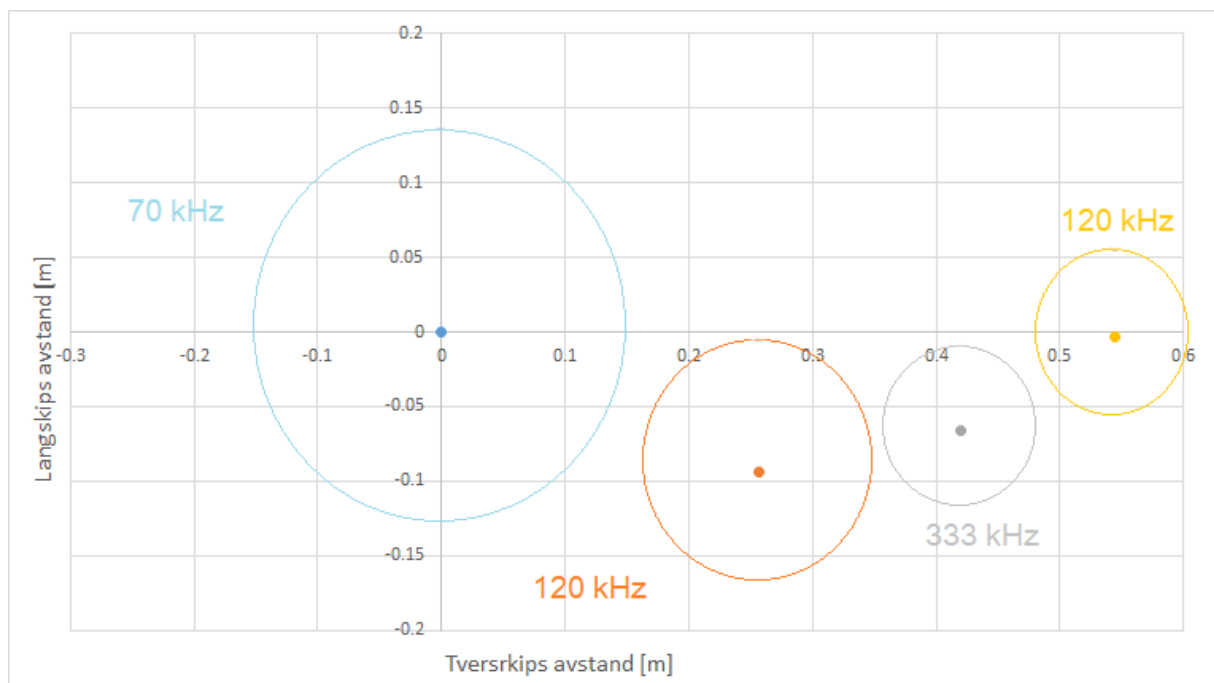
Proben blir lagt ut i sjøvann (nær overflaten) ved Nykirkekaaien utenfor HI. Kulen som blir brukt for denne målingen er det samme som ble brukt tidligere; Wolfram Karbid kule (WC 57.2mm). Kalibreringsmetoden er det samme som ble gjort før; der alle fire svinger blir aktivert samtidig slik at de måler kulen ved samme tidspunkt. Kulen blir deretter beveget rundt slik at den dekker alle hovedloben til alle fire svingere. Kulens ligger i en dybde på 7.5m.

Figurene nede viser posisjonen til svingere.



Figur 26: Svinger posisjon beregnet fra målingsdata. 70 kHz er plassert i origo og blir brukt som referanse. Posisjonene er sett oven ifra. Punktene representerer svinger sentrum, og sirkelen representerer skallen rundt.

Figur. 28 viser de egentlige svinger posisjon.



Figur 27: Svinger posisjon slik de egentlig ser ut. Sett oven ifra. Punktene representerer svinger sentrum, og sirkelene representerer skallen rundt.

Bortsett fra litt avstands forskjell og overlapp mellom 120 kHz og 333 kHz, så svingere ligger noenlunde riktig i forhold til hverandre. Disse avvikene kan skyldes tilleggs bevegelse fra proben og kulen på grunn av bølger.

Forskjellen på posisjonene til svingere mellom senkekjølen og TS proben kan komme fra monteringsringen (gule ringen på Figur 24). Her må svingeren skrues inn i på svinger platen, og videre sveises inn på senkekjølen. Hvis dette ikke gjøres helt nøyaktig med måleinstrumenter, er det lett at svinger-ringer med liten diameter får en skjev innsveising. Som det var nevnt tidligere; en skjevhet på 0.8 grader er nok til å gi store skeivheter på strålingsaksen ved kulens dybde. I tillegg er det vanskelig for en sveiser å bedømme skeivheten. På TS proben derimot, er svingere skrudd imot en felles plate, og avvikene er mye mindre. I tillegg så ligger kulen mye nærmere svingere på TS proben, og kan dermed befinne seg innenfor dybde H som det var beskrevet på Figur. 20–22. Med dette, kommer jeg fram til det eneste mulige årsaken til posisjon endringene er skeiv strålingsasse, som resultat av skeivmontering av svinger på senkekjølen.

2.2 Beregning av Psi med målingsdata

2.2.1 Beregning av Psi (ψ) ved bruk av sortert målingsdata

Psi beregnes ved bruk av de sorterte målingene fra kapitlet 2.1. Det er nå antatt at alle svingere har riktig vinkelmål.

Ved å anta at svinger er symmetrisk, kan svingers strålebredde beregnes ved plottet ukompenserte målstyrkene (target strength uncompensated, TSU) mot absolutt vinkel til måledataene kompensert for vinkel offset (Figur 29a – 29e under RESULTAT). Absolutt vinkel A_i har formen

$$A_i = \sqrt{(\alpha_i - \Delta\alpha)^2 - (\beta_i - \Delta\beta)^2} \quad (45)$$

her er α_i og β_i langskips- og tverrskips vinkel for måling nummer i i radianer, $\Delta\alpha$ og $\Delta\beta$ er langskips- og tverrskips vinkel offset, dvs. vinkelen som gir den største TSU verdien.

Plottet vil vise formen av en halv parabel. Deretter blir en linje tilpasset for alle punkt slik at det viser en halv kurve. Strålebredde som normalt oppgis som -3 dB punktene i sendediagrammet, blir nå bestemt ved å ta TSU verdien som ligger -6 dB under den maksimale verdien på grunn av to veis måling. Setter denne verdien lik ligningen til den tilpassede linjen og løser for x , og multiplisere løsningen med 2 (siden det er en halv kurve). Siden det er antatt at svinger er symmetrisk, dvs. langskips- og tverrskips strålebredde er like, kan Psi beregnes med ligning (40). For å sjekke om Psi verdien til 38 kHz svinger er korrekt, blir det gjennomført to kontroll beregninger:

- Metoden fra 2.2.1 blir brukt, men nå plottes absolutt vinklene til 18 kHz, 70 kHz, 120 kHz og 200 kHz med TSU fra 38 kHz (Figur 30a – 30d under RESULTAT).
- Alle svingers geometrisk posisjon er korrigeret for 38 kHz svinger sin geometriske posisjon ved bruk av målingene fra senkekjøle tegningen. Dette vil føre til at svingere som er korrigeret, vil få nye vinkelmål. Ved å beregne absolutt vinkel fra disse nye vinkelmålene, og plottet de med TSU til 38 kHz (Figur 31a – 31d under RESULTAT), kan Psi beregnes.

Grader på polynom er avgjort ved øyemål. Følgende polynomer ble brukt for å tilpasse kurvene til svingere. Polynomene er estimert av Excel sin «curve fitting» program:

Alle svinger i sin initiale posisjon og med sin egen TSU:

$$18 \text{ kHz}; y = -1017.1x^2 + 22.859x - 37.57 \quad (46a)$$

$$38 \text{ kHz}; y = -2505.1x^2 + 29.179x - 36.881 \quad (46b)$$

$$70 \text{ kHz}; y = -1640.2x^2 + 3.1902x - 36.327 \quad (46c)$$

$$120 \text{ kHz}; y = -1746.5x^2 + 16.596x - 37.036 \quad (46d)$$

$$200 \text{ kHz}; y = -1443.6x^2 - 22.373x - 35.665 \quad (46e)$$

Alle svinger i sin initiale posisjon med 38 kHz TSU:

$$18 \text{ kHz}; y = -2828.5x^3 - 1396.7x^2 + 1.3407x - 36.803 \quad (47a)$$

$$70 \text{ kHz}; y = -21398x^3 + 153.71x^2 - 32.057x - 36.769 \quad (47b)$$

$$120 \text{ kHz}; y = -17346x^3 - 418.21x^2 - 20.032x - 36.795 \quad (47c)$$

$$200 \text{ kHz}; y = -15047x^3 - 762.58x^2 - 12.99x - 36.794 \quad (47d)$$

Alle svinger i 38 kHz sin posisjon med 38 kHz TSU:

$$18 \text{ kHz}; y = -2341.1x^3 - 1442.9x^2 + 3.147x - 36.803 \quad (48a)$$

$$70 \text{ kHz}; y = -19268x^3 - 73.785x^2 - 25.785x - 36.778 \quad (48b)$$

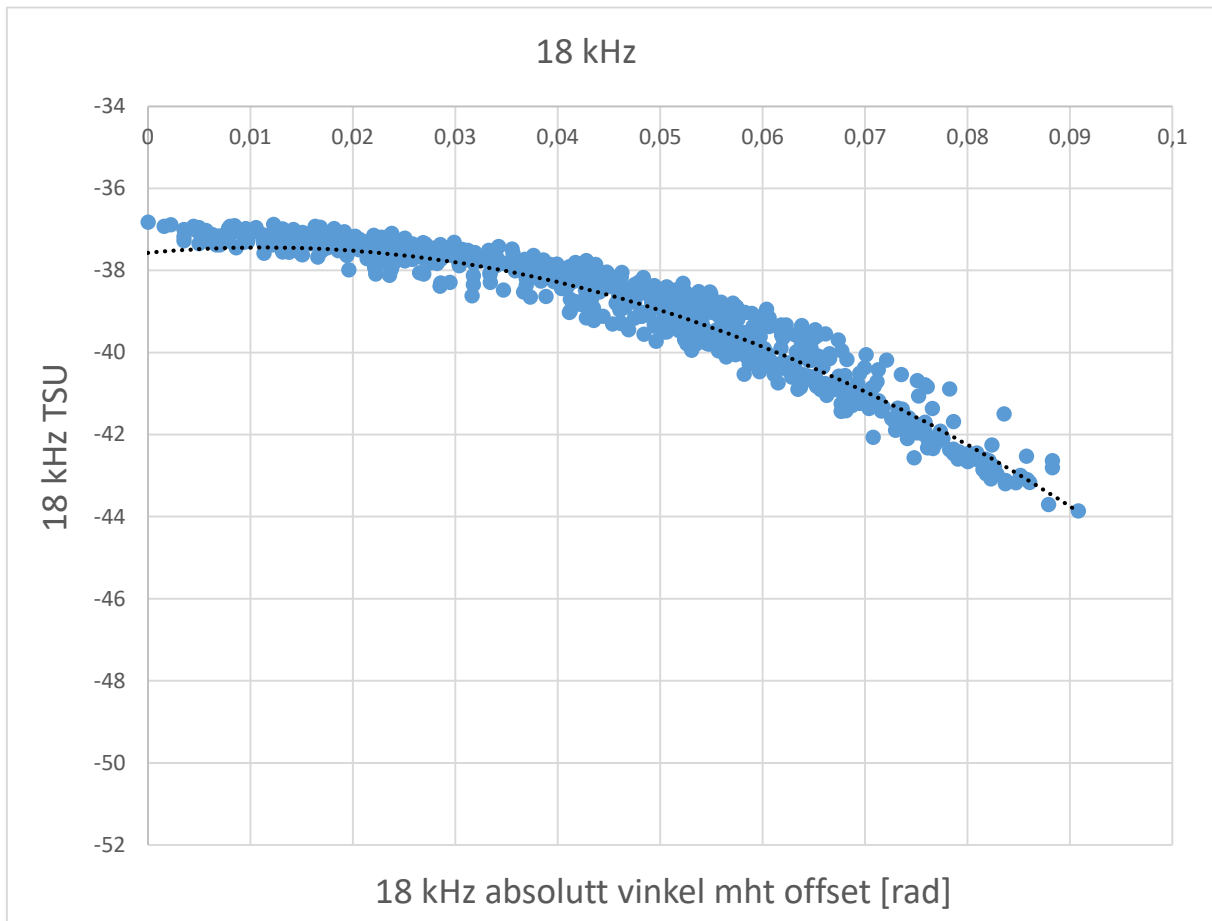
$$120 \text{ kHz}; y = -15231x^3 - 622.73x^2 - 14.98x - 36.8 \quad (48c)$$

$$200 \text{ kHz}; y = -13328x^3 - 918.71x^2 - 9.1905x - 36.799 \quad (48d)$$

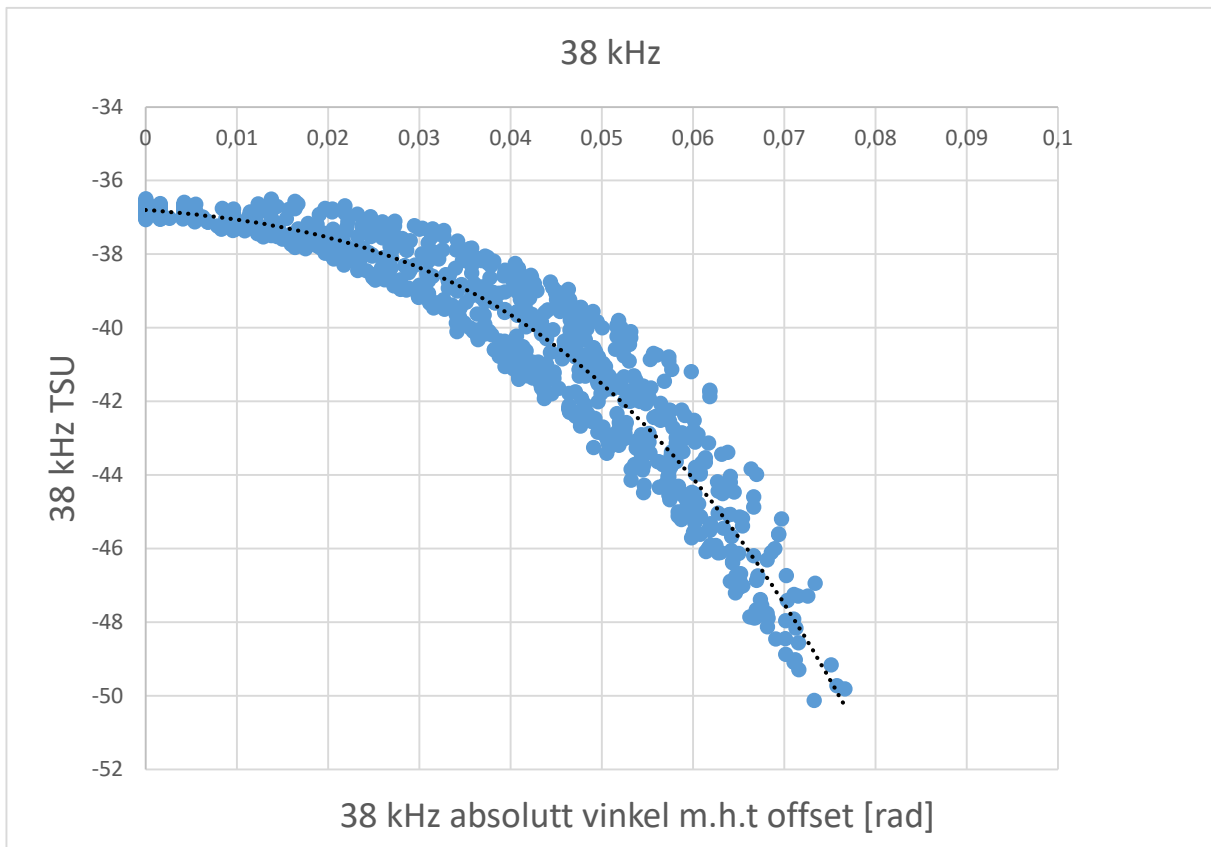
3. RESULTAT

Gjennom sammenligninger og målinger i denne oppgaven har det kommet frem ulike tall for ekvivalent åpningsvinkel for svingeren, avhengig av hvilket formelverk som er brukt.

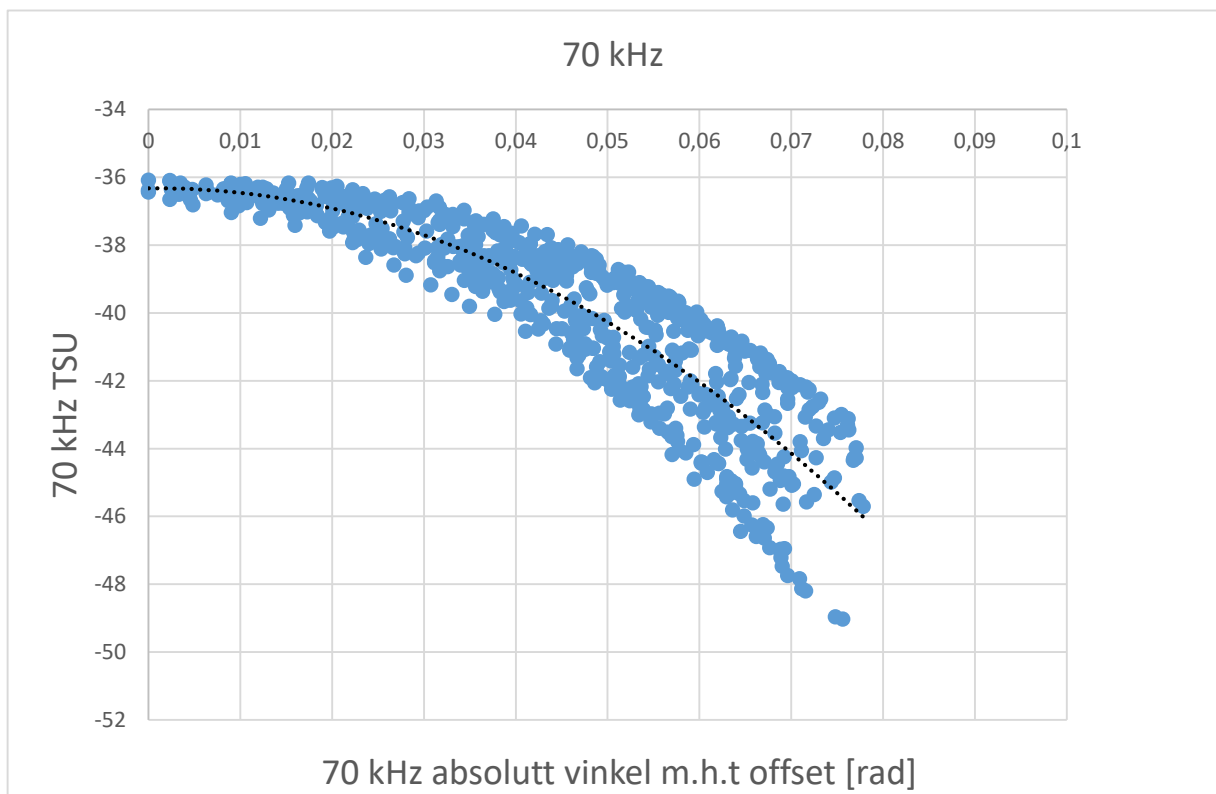
Plottene som ble beskrevet under 2.2.1 er vist nede:



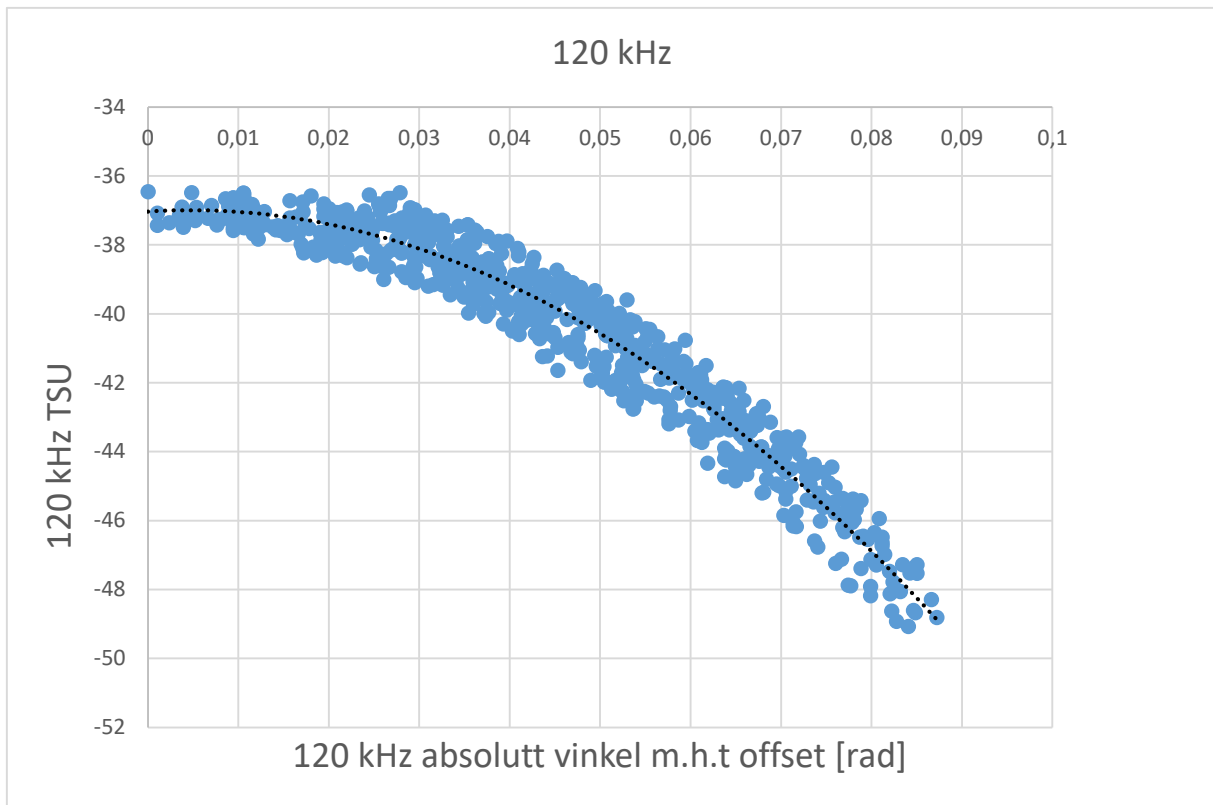
Figur 29a: 18 kHz sin TSU plottet mot sin absolutt vinkel m.h.t offset. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av andre grads polynom. Ligningen som beskriver kurven er (46a)



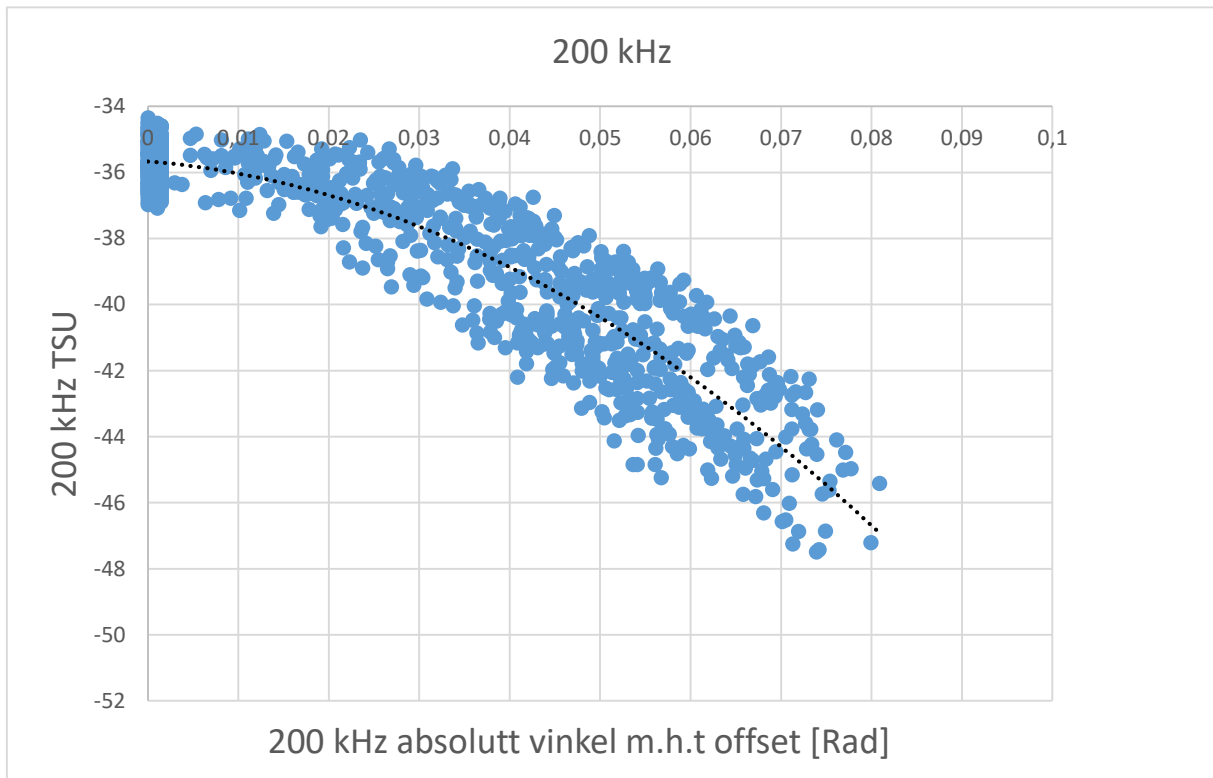
Figur 29b: 38 kHz sin TSU plottet mot sin absolutt vinkel m.h.t offset. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av andregrads polynom. Ligningen som beskriver kurven er (46b).



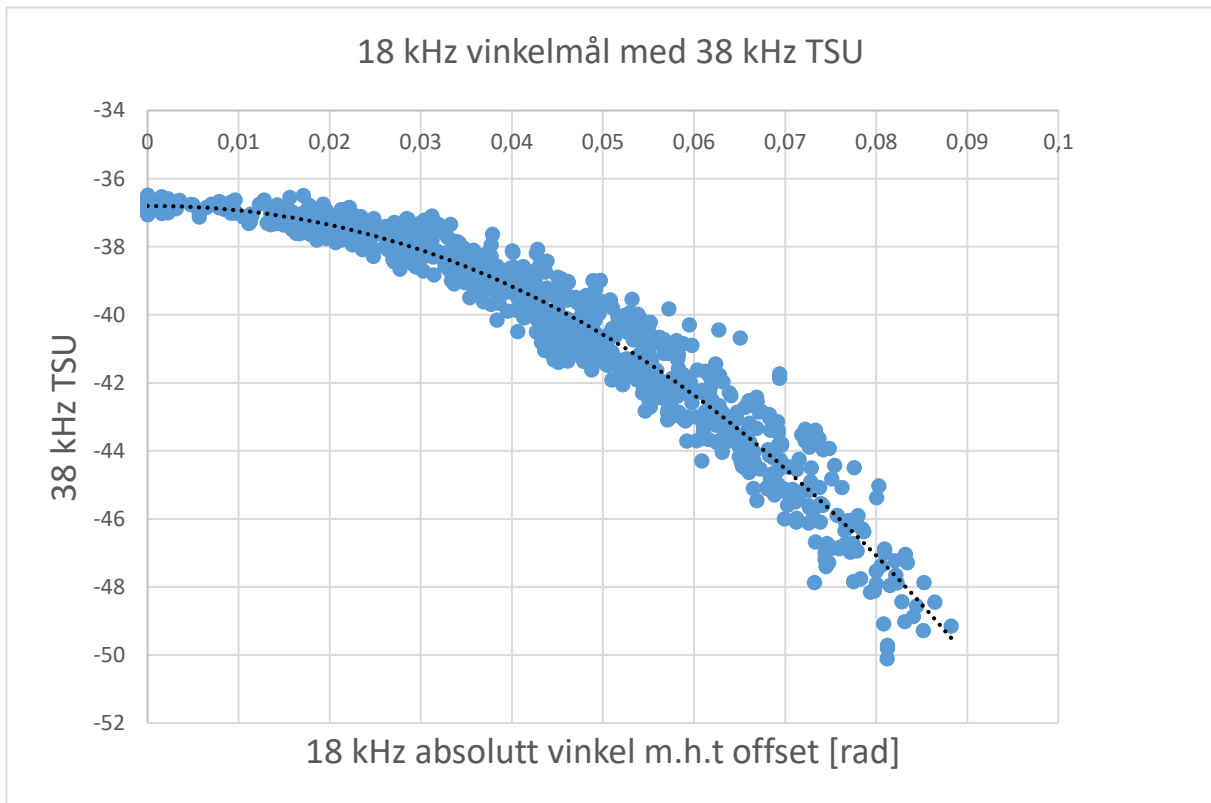
Figur 29c: 70 kHz sin TSU plottet mot sin absolutt vinkel m.h.t offset. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av andregrads polynom. Ligningen som beskriver kurven er (46c)



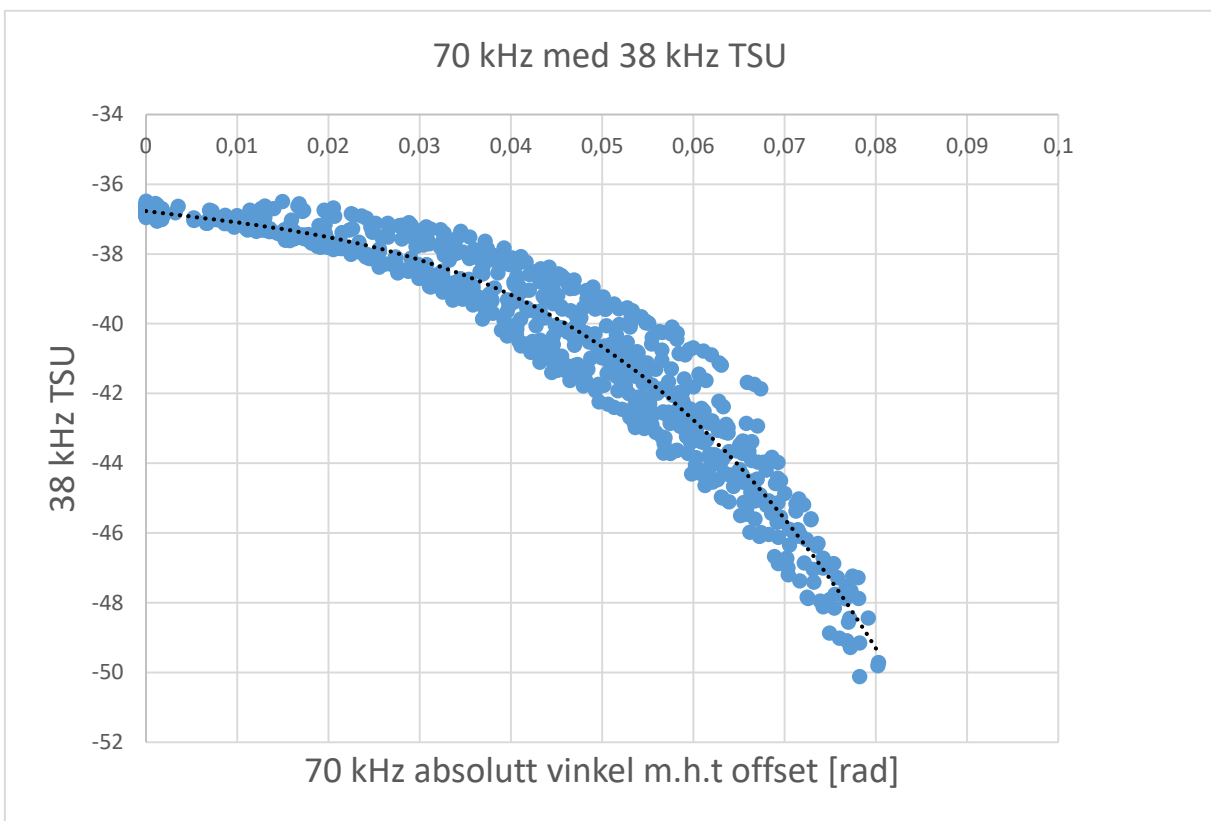
Figur 29d: 120 kHz sin TSU plottet mot sin absolutt vinkel m.h.t offset. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av andregrads polynom. Ligningen som beskriver kurven er (46d)



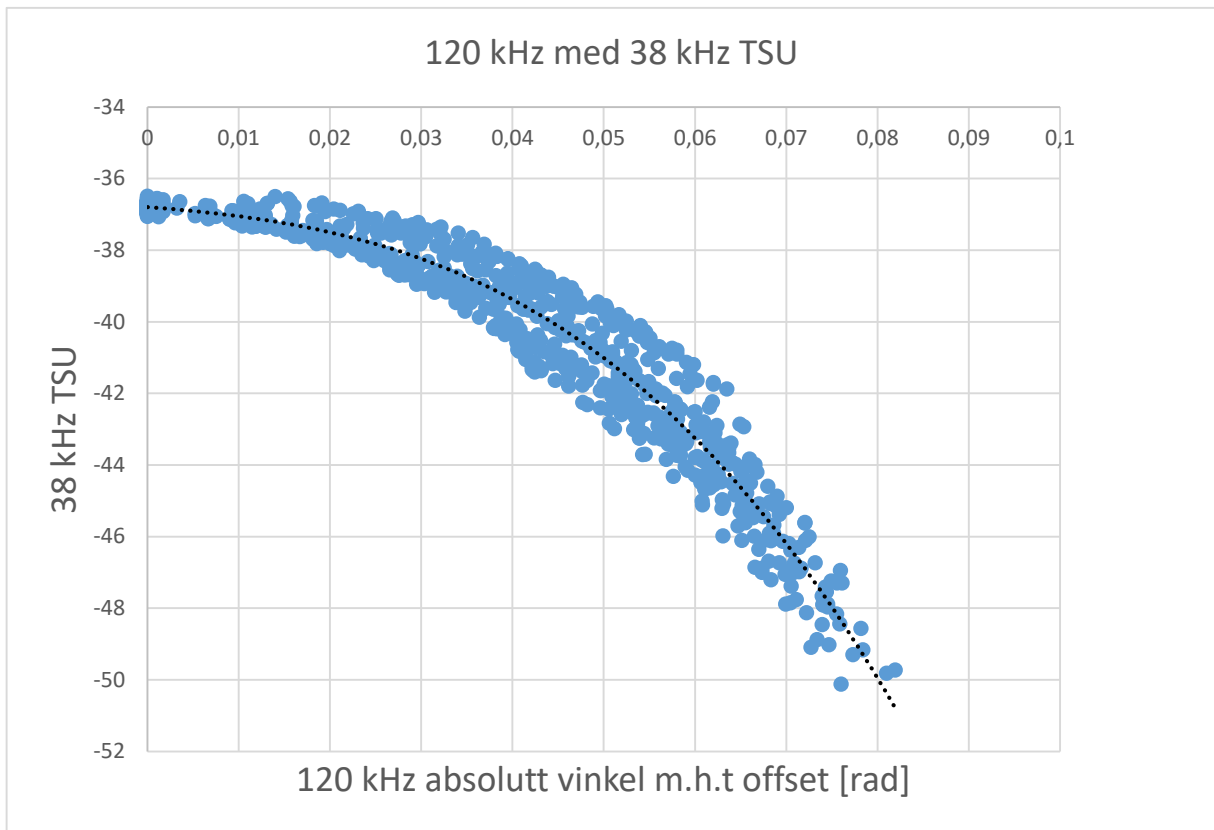
Figur 29e: 200 kHz sin TSU plottet mot sin absolutt vinkel m.h.t offset. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av andregrads polynom. Ligningen som beskriver kurven er (46e)



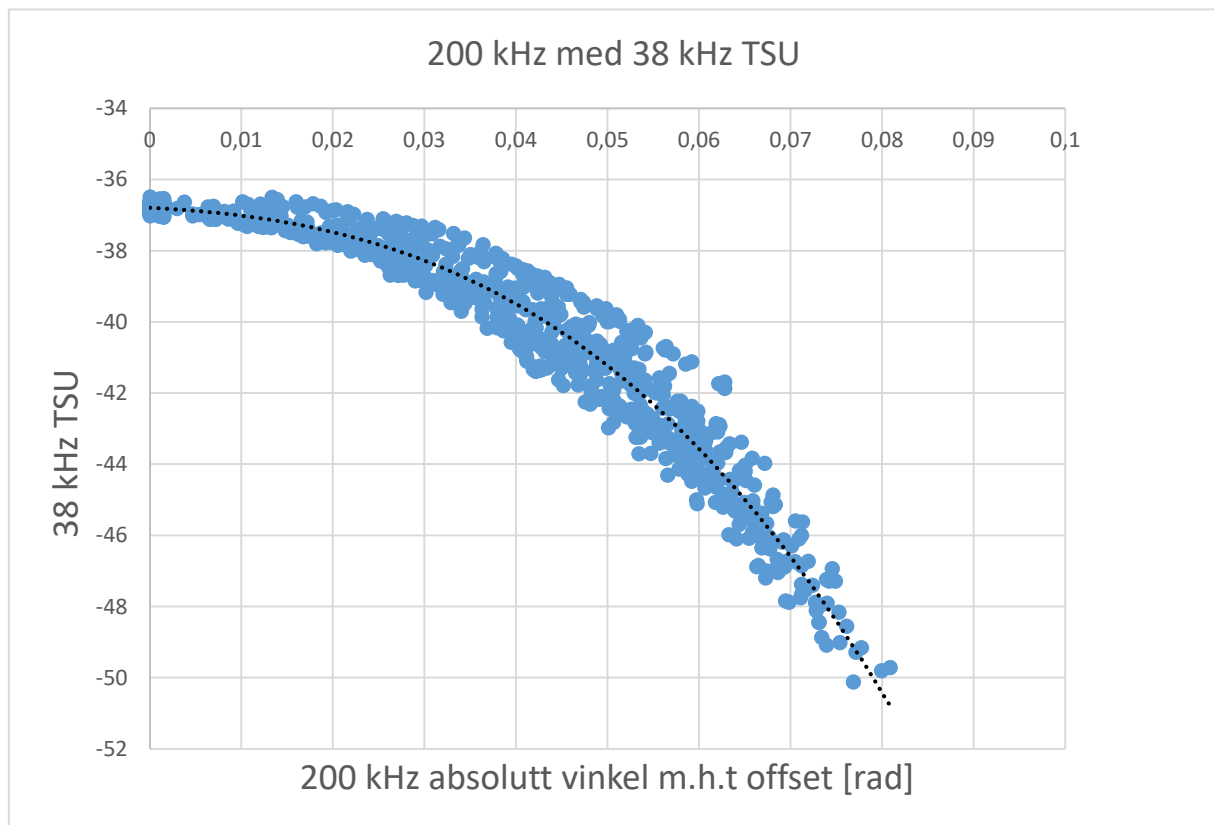
Figur 30a: 18 kHz sin absolutt vinkel m.h.t offset med 38 kHz TSU. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av tredjegrads polynom (se ligning 47a).



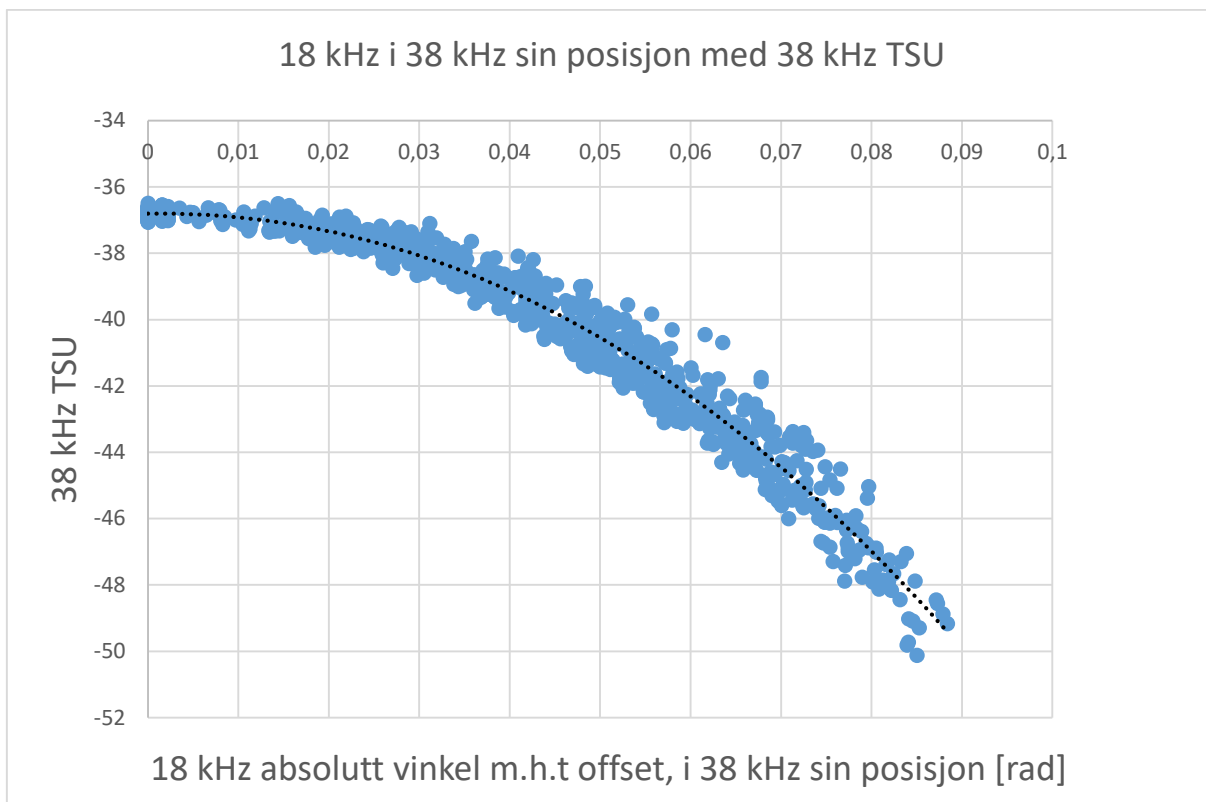
Figur 30b: 70 kHz sin absolutt vinkel m.h.t offset med 38 kHz TSU. Den svarte stiplet linje er den tilpasset linje av tredjegrads polynom (se ligning 47b).



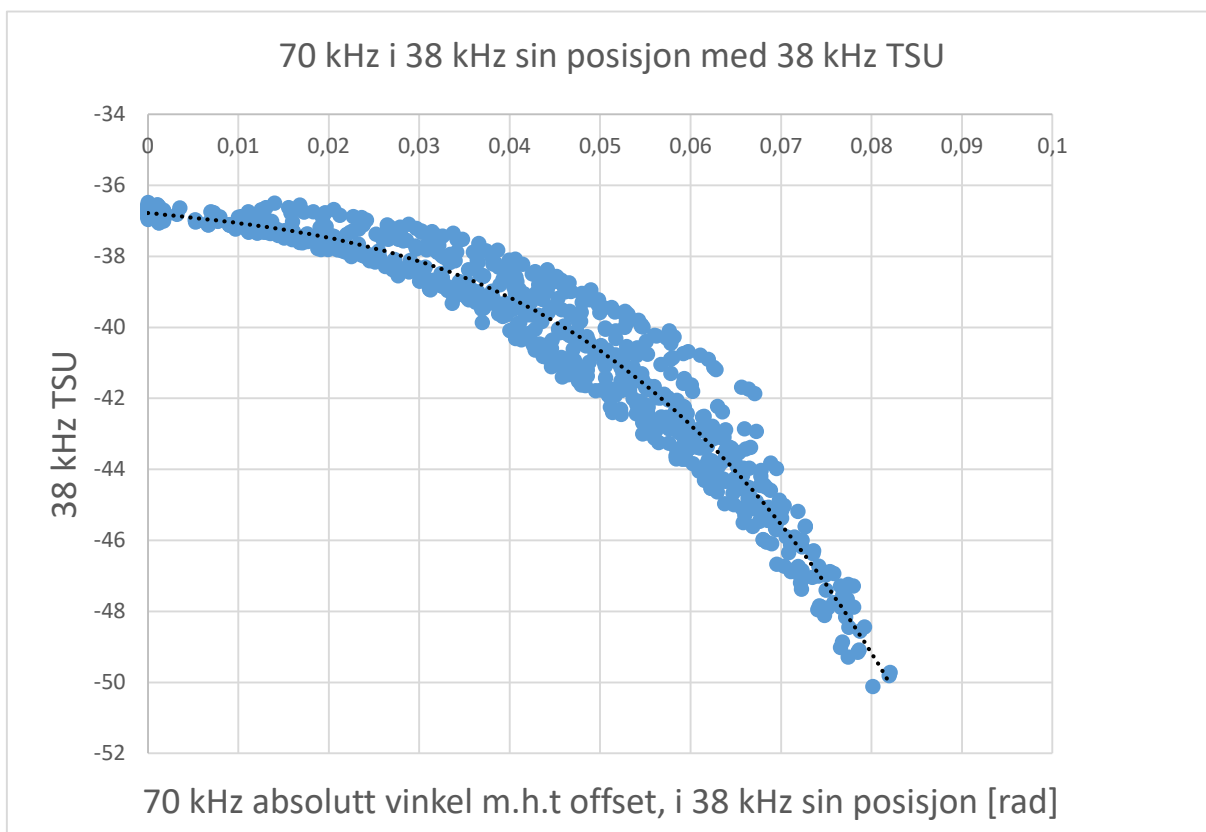
Figur 30c: 120 kHz sin absolutt vinkel m.h.t offset med 38 kHz TSU. Den svarte stiplede linje er den tilpasset linje av tredjegrads polynom (se ligning 47c).



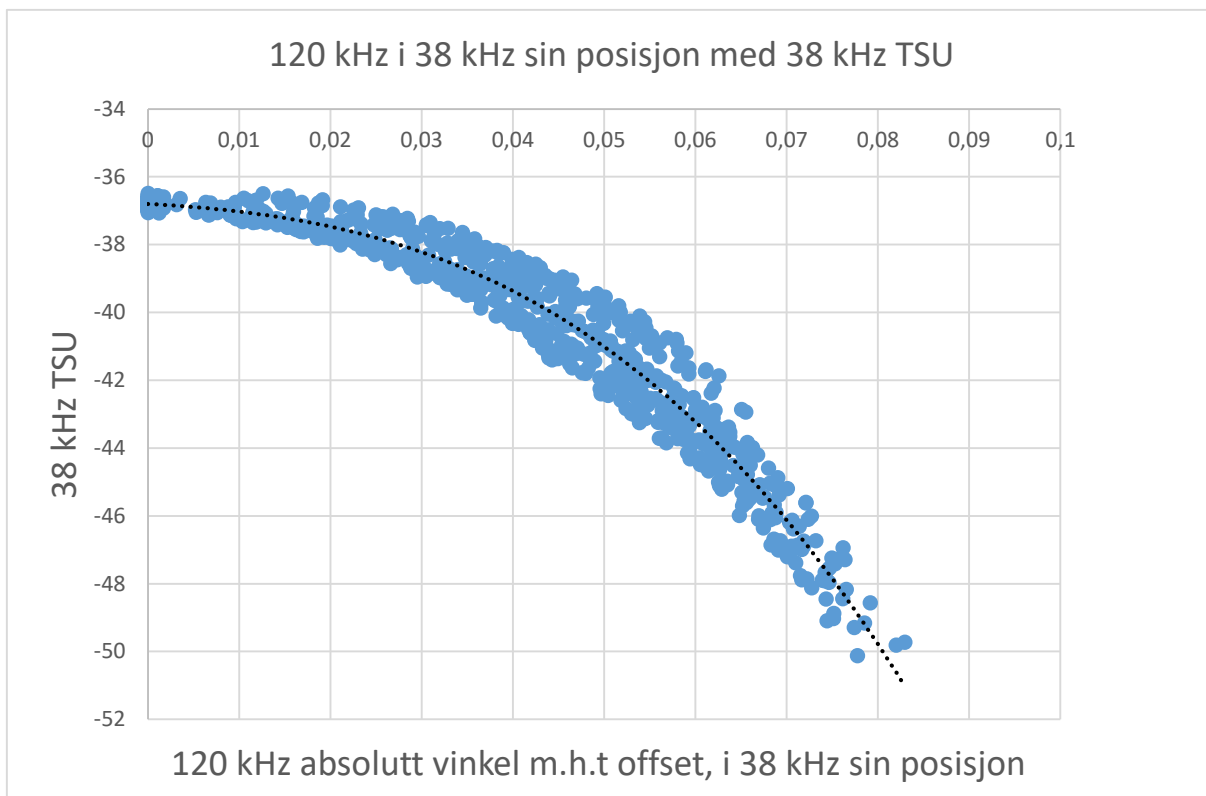
Figur 30d: 200 kHz sin absolutt vinkel m.h.t offset med 38 kHz TSU. Den svarte stiplede linje er den tilpasset linje av tredjegrads polynom (se ligning 47d).



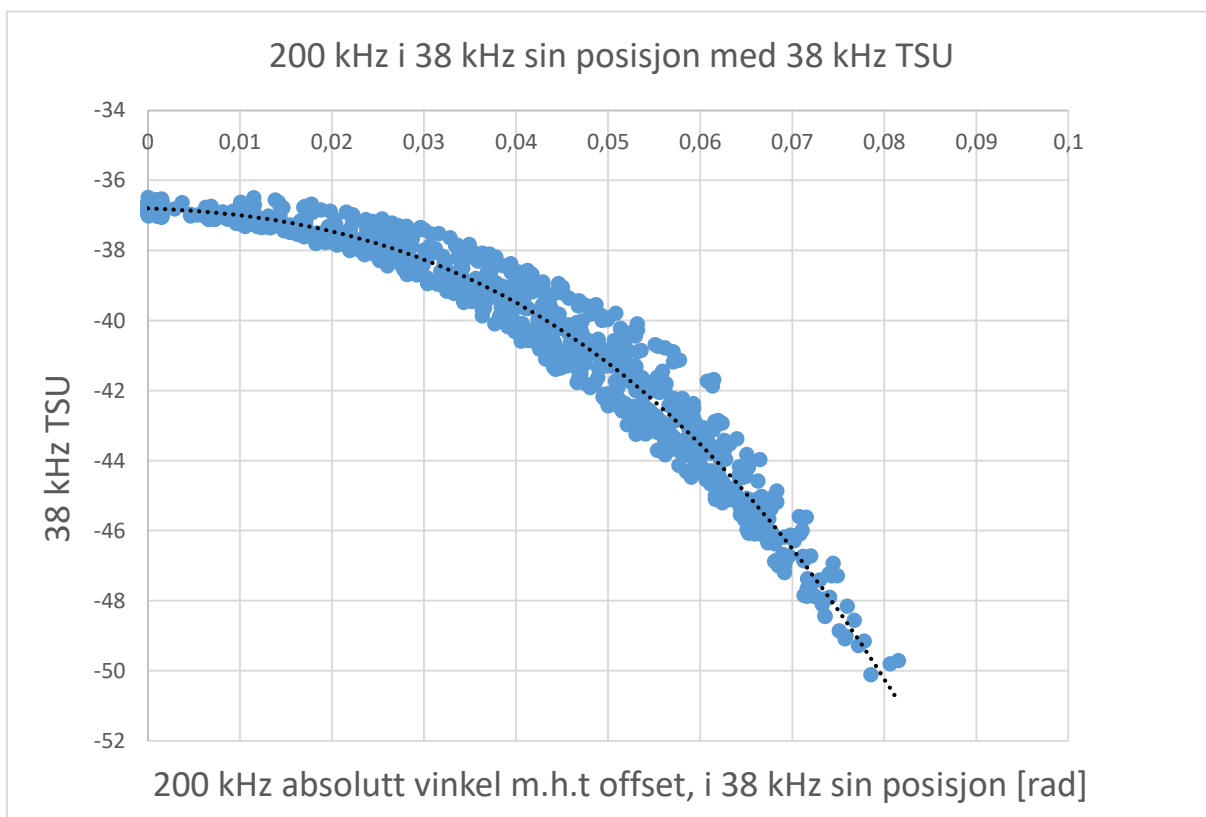
Figur 31a: 18 kHz sin absolutt vinkel korrigeret for 38 kHz sin posisjon med 38 kHz TSU. Den svarte stiplede linje er tilpasset med tredjegrads polynom. Linjen er beskrevet med ligningen (48a)



Figur 31b: 70 kHz sin absolutt vinkel korrigeret for 38 kHz sin posisjon med 38 kHz TSU. Den svarte stiplede linje er tilpasset med tredjegrads polynom. Linjen er beskrevet med ligningen (48b)



Figur 31c: 120 kHz sin absolutt vinkel korrigeret for 38 kHz sin posisjon med 38 kHz TSU. Den svarte stiplede linje er tilpasset med tredjegrads polynom. Linjen er beskrevet med ligningen (48c)



Figur 31c: 200 kHz sin absolutt vinkel korrigeret for 38 kHz sin posisjon med 38 kHz TSU. Den svarte stiplede linje er tilpasset med tredjegrads polynom. Linjen er beskrevet med ligningen (48d)

Psi verdiene som er beregnet med metoden beskrevet under 2.2.1 er gitt på tabellene nede.

18 kHz:

Tabell 7a: Psi verdi beregnet for 18 kHz svinger.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
18	-37.57	-43.57	0.089	5.09	10.18	-17.48

Tabell 7b: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 18 kHz svingers måledata.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
18	-36.8	-42.8	0.061	3.52	7.03	-20.69

Tabell 7c: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 18 kHz svingers måledata korrigert for 38 kHz svingers posisjon.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -3dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
18	-36.8	-42.8	0.06	3.47	6.94	-20.8

70 kHz:

Tabell 8a: Psi verdi beregnet for 70 kHz svinger.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
70	-36.33	-42.33	0.06	3.52	7.04	-20.68

Tabell 8b: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 70 kHz svingers måledata

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	abs vinkel ved -6dB [rad]	abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
70	-36.77	-42.77	0.06	3.44	6.88	-20.88

Tabell 8c: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 70 kHz svingers måledata korrigert for 38 kHz svingers posisjon.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
70	-36.78	-42.78	0.06	3.44	6.89	-20.87

120 kHz

Tabell 9a: Psi verdi beregnet for 120 kHz svinger.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -3dB [rad]	Abs vinkel ved -3dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
120	-37.04	-43.04	0.063	3.64	7.28	-20.39

Tabell 9b: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 120 kHz svingers måledata

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -3dB [rad]	Abs vinkel ved -3dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
120	-36.79	-42.79	0.058	3.33	6.67	-21.15

Tabell 9c: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 120 kHz svingers måledata korrigeret for 38 kHz svingers posisjon.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -3dB [rad]	Abs vinkel ved -3dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
120	-36.8	-42.8	0.058	3.34	6.68	-21.14

200 kHz:

Tabell 10a: Psi verdi beregnet for 200 kHz svinger.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
200	-35.66	-41.66	0.067	3.28	6.55	-21.31

Tabell 10b: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 200 kHz svingers måledata

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
200	-36.79	-42.79	0.06	3.26	6.53	-21.34

Tabell 10c: Psi verdi til 38 kHz svinger, beregnet med 200 kHz svingers måledata korrigeret for 38 kHz svingers posisjon.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -6dB [grad]	Psi [dB]
200	-36.8	-43.8	0.057	3.27	6.54	-21.32

38 kHz

Tabell 11: Psi verdi beregnet for 38 kHz svinger.

Frekvens [kHz]	Maks TSU [dB]	TSU ved -6dB [dB]	Abs vinkel ved -6dB [rad]	Abs vinkel ved -6dB [grad]	Strålebredde ved -36B [grad]	Psi [dB]
38	-36.88	-42.88	0.055	3.16	6.31	-21.63

Psi verdiene fra Tabell 7a, 8a, 9a, 10a og 11 blir nå plassert sammen med Psi verdiene som Simrad har beregnet, og verdiene som ble gitt på EK80. Tabellen nede sammenligner Psi verdiene for de forskjellige frekvensene:

Tabell 12: Sammenligning av Psi verdi til 18, 70, 38, 120, 200 og 333 kHz.

Frekvens [kHz]	Psi beregnet av Simrad [dB]	Psi beregnet av Simrad korrigert med formel (41) [dB]	Psi beregnet for uniformt svingende sirkulært stempel [dB]	Psi beregnet med formel (41) med strålebredde gitt av EK80 [dB]	Psi oppgitt i EK80 [dB]	Psi beregnet fra målingsdata med metoden gitt i 2.2.1. [dB]
18	-17.3	-17.3	-17.97	-17.40	-17	-17.48
38	-19.8	-19.26	-21.89	-21.61	-20.7	-21.63
70	-20.6	-20.57	-21.86	-21.36	-20.7	-20.68
120	-21	-21.05	-21.73	-21.77	-20.7	-20.39
200	-20.5	-20.55	-22.11	-21.68	-20.7	-21.31

Psi verdiene fra Tabell 7b, 7c, 8b, 8c, 9b, 9c, 10b og 10c er nå plassert i tabellen under.

Tabell 13: Psi verdi til 38 kHz beregnet av andre svingers måldata. Venstre siden er noe av 38 kHz Psi verdi fra tabell 13 brukt til sammenligning.

Frekvens [kHz]	Psi 38 kHz beregnet av Simrad, korrigert med formel (41). [dB]	Psi beregnet fra målingsdata med metoden gitt i 2.2.1. [dB]	Psi 38 kHz oppgitt i EK80. [dB]	Frekvens som ble brukt til å beregne Psi verdi til 38 kHz svinger. [kHz]	Psi 38 kHz beregnet med andre svingers måldata. [dB]	Psi 38 kHz beregnet med andre svingers måldata. Korrigert for 38 kHz sin posisjon. [dB]
38	-19.26	-21.63	-20.7	18	-20.69	-20.8
38	-19.26	-21.63	-20.7	70	-20.88	-20.87
38	-19.26	-21.63	-20.7	120	-21.15	-21.14
38	-19.26	-21.63	-20.7	200	-21.34	-21.32

4. DISKUSJON

Sammenligning av Psi verdier mellom tankmålt (utført av Simrad) og beregning fra kalibreringen utført av FF "G.O Sars" på Tabell 3 viser forskjeller på 1 til 2 dB. Den største forskjellen er mellom Psi verdien oppgitt av Simrad korrigert med formel (41), og Psi verdi beregnet med formlene (39) og (42) (uniform svingende sirkulært stempel), med hele 2.63 dB forskjell. I dette tilfelle er Psi verdien beregnet fra (39) og (42) som bruker kun svingers aktiv radius og antatt at strålemønsteret oppfører seg samme som Bessel direktivitet, mens Psi gitt av Simrad er beregnet fra målte verdier. Videre kan det sees at Psi verdier beregnet med formel (40) ved bruk av strålebredde gitt av målingsdata, er mindre enn verdier beregnet av Simrad etter korrigert med ligningen (41), med unntaket til 18 kHz, hvor Simrad sin verdi er lavere. Dette kan skyldes salinitet og temperatur som ble utført under kalibreringen er forskjellige fra vanntanken der Simrad brukte til målingene sine. Temperatur til sjøvannet der kalibreringen ble utført lå på 7.9°C. Og som Tabell 1.1 viser, var temperaturen til vannet som Simrad brukte til å måle 18 kHz, 3.5°C. Sammenlignet med temperaturene som ble brukt til å måle 38 kHz (25.6°C), 70 kHz (19°C), 120 kHz (18°C), 200 kHz (18°C) og 333 kHz (18.5°C), så ligger 18 kHz sin temperatur nærmest med temperaturen til sjøvannet (det er også mulig å anta at Simrad faktisk målte 18 kHz i sjøvann på grunn av lav vanntemperatur). Dette kan forklare hvorfor Psi verdiene til 18 kHz hadde minst differanse mellom tankmåling og feltmåling. Salinitet i dette tilfelle har mindre betydning siden i tanken så er salinitet konstant 0 % for alle svingere, og i sjøvann der kalibreringen ble utført, så er salinitet målt med CTD til å være konstant (33 %).

Psi verdier som ble beregnet ut ifra det sorterte måledataene er vist på Tabell 12 og 13. På Tabell 12 viser Psi verdi for hver av svingere:

18 kHz:

Verdien fra det som var beregnet fra strålebredden gitt på måledata/excel arket (-17.40 dB), og det som ble beregnet fra metoden gitt under del kapitlet 2.2.1 (-17.48 dB) ligger veldig nært (0.08 dB forskjell). Men når det sammenlignes med verdien som var beregnet av Simrad (-17.3 dB) er forskjellen litt større, med en forskjell på 0.18 dB.

38 kHz:

Akkurat som 18 kHz, så ligger det beregnet Psi verdien fra strålebredden gitt på måledata (-21.61 dB) og det som ble beregnet fra metoden gitt under del kapitlet 2.2.1 veldig nært. Denne gangen er det kun 0.03 dB forskjell. Men forskjellen med Simrad sin verdi er enda større enn det som var på 18 kHz. Simrad sin målte Psi verdi er på -19.26 dB, mens det som ble beregnet fra metode 2.2.1 er -21.63 dB, med hele 2.37 dB forskjell. Dette kan gi dramatiske effekter på mengdemåling av fisk, der 3 dB feil gir en dobling eller halvering av mengde.

70 kHz:

I motsetning til 18 og 38 kHz, så er forskjellen mellom Psi verdi som var beregnet fra strålebredden gitt på måledata (-21.86 dB), og det som ble beregnet fra metoden 2.2.1 (-20.68 dB) mye større, med en forskjell på 0.68 dB. Men forskjellen med Simrad sin verdi (-20.57 dB) er mye mindre, med en 0.11 dB forskjell. I tillegg så ligger den beregnet (2.2.1 metoden) veldig nær den verdi som ble gitt på EK80, som er på -20.7 dB.

120 kHz

Psi verdi beregnet med metoden 2.2.1 (-20.39 dB) ligger ganske langt unna den verdien som ble beregnet fra strålebredden gitt på måledata (-21.77 dB). Her er det snakk om en forskjell på 1.38 dB. Forskjellen med Simrad sin verdi (-21.05 dB) er også stor, med en forskjell på 0.66 dB.

200 kHz

Her er forskjellen stor for alle Psi verdiene. Den største forskjellen er mellom den verdien som var beregnet med metode 2.2.1 (-21.31 dB) og verdien som var beregnet med uniformt stempel kilde ligningene (42) og (39), med en forskjell på 0.8 dB.

Som det ble nevnt over, så ligger noe av de beregnede (metode 2.2.1) Psi verdiene nærmere Simrad og EK80 sin verdier, enn andre. Det kan skyldes følgende ting:

- Formelen som ble brukt til å beregne Psi (41), er en grov tilnærming. Som en tilnærmings ligning, vil svaret ikke være like nøyaktig enn hvis Psi er beregnet gjennom numerisk integrasjon.
- Som det ble beskrevet under del kapitlet 2.2.1, så ble strålebredden ekstrapolert ut av den tilpassede linjen ved bruk av polynom. Polynomet som ble brukt ga kanskje ikke nøyaktig verdi for strålebredde.
- Det er antatt symmetri, slik at både langskips- og tverrskips vinkel har samme strålebredde. Dette er en foreløpig forenkling.
- Bessel funksjon burde blitt brukt til tilpasning istedenfor polynom. Polynom ble brukt på grunn av Bessel funksjon tilpasning ikke var tilgjengelig i Excel og MATLAB.

På høyre siden av tabell 13 står det 38 kHz Psi verdi beregnet fra 18, 70, 120 og 200 kHz. Det sees at Psi verdi som er beregnet av 18 kHz (-20.69 dB) i sin egen posisjon med 38 kHz sin TSU er nesten helt lik 38 kHz sin Psi verdi oppgitt i EK80 (-20.7 dB). Dersom verdien rundes opp, er de helt like. Men etter 18 kHz har flyttet til 38 kHz sin posisjon, ble forskjellen større. Den nye Psi verdien er -20.8, som er 0.1 dB forskjellig fra det som er oppgitt i EK80. Men sammenligner 18 kHz (både i sin egen og på 38 kHz sin posisjon) med 38 kHz Psi verdier som var beregnet med metoden 2.2.1 (-21.63 dB) og Simrad sin (-19.26 dB), så er forskjellen ganske stor, og vil ha stor betydning for mengdemåling.

For 70 kHz sin beregning av 38 kHz Psi (både i sin egen og på 38 kHz sin posisjon), så ligger verdien nært (men ikke like nært som 18 kHz sin beregnet verdi) det som var gitt på EK80. Men akkurat som 18 kHz, er forskjellen med Psi verdien beregnet av Simrad og verdien beregnet med metode 2.2.1 veldig stor.

For 120 kHz og 200 kHz, så ligger Psi verdien som var beregnet (både i sin egen posisjon og på 38 kHz sin posisjon) nærmere (men ikke nært nok) 38 kHz sin Psi verdi som var beregnet med metoden 2.2.1 (-21.63 dB). Men i forhold til verdien som var beregnet av Simrad, så ligger den enda lenger unna enn det 18 kHz og 70 kHz gjorde.

Når det gjelder korrigerer av gemoetrisk posisjon til en svinger (fra sin initielle geometriske posisjon til geometriske posisjonen til svinger som skal korrigeres), ble det først brukt avstandsverdier fra senkekjøll tegning (Figur .19). Men det viste seg å passe dårlig, og det skyldes skeiv montering, noe som var uforventet. I teorien, så skal de svinger posisjonene som

var tilbakeberegnet fra måledataene stemme med de reelle posisjonene som er vist på Figur .19 og 27. Men det er det ikke i dette tilfelle. På grunn av skeivhet på strålingsaksene (spesielt for 70 kHz og 120 kHz) som sannsynlig forårsaket av monteringen, så har posisjonene som ble tilbake beregnet vist seg å være plassert på feil side av langskips-aksen (Figur .17 og 26a) sammenlignet med sine egentlige posisjoner.

Denne skeivmonteringen var ikke forventet, og skapte en del problemer for løsningen av ligningene. Mine målinger tyder på at 18, 70, 120 og 200 kHz svingerne stemmer rimelig bra med angitt Psi verdi, men at 38 kHz svingeren har en annen ekvivalent åpningsvinkel enn det måledataene for svingeren viser. Dette kan ha relativt dramatisk effekt på mengdemåling av fisk, der en nå antar at feilen fra kalibrering er mindre enn 0.1 dB, eller mindre enn 2 %. Feilen for denne svingeren kan være større enn 2 dB, eller så stor som 58 %. Siden mengdemålingen av fisk forgår på denne frekvensen, bør en videre kontrollerer mine beregninger med andre med mer sofistikerte metoder for å kontrollere kulens absolutte posisjon, uten å måtte stole på splittstrålens vinkelmåling, for eksempel slik som utført av Reynisson (1998). Kanskje den nye måten å dele svingerflaten opp i 3 ytterelementer og et senterelement, som er nytt for denne svingeren, har ført til en slik unøyaktighet.

I tillegg er det viktig å nevne at Psi verdien til ES38-7 svingeren som er målt av Simrad i tank -19.26 dB (Simrad sin verdi korrigert med formel (41)). Men, når svingeren ble montert, og svingeren satt inn i EK80 programvare, så ble verdien satt til -20.7 dB for denne svingeren. Verdien som blir satt inn for andre, eldre svingere med 4 kvadranter er antagelig basert på tankmålinger av flere svingere, men dette har jeg ikke detaljert kunnskap om. Hvorfor er det stor forskjell mellom den innlastet og målt verdi for ES30-7, som er en ny svinger er uklart. Mine målinger tyder på at den ekvivalente strålevinkelen for denne svingeren er mye nærmere -20.7 dB, enn de målingene Simrad har utført på svingeren i tanken.

Verdier for Psi som var skrevet in for 18, 70, 120 og 200 kHz er oppgitt av Simrad. Disse verdiene ser ut til å være nærmere med mine målinger.

REFERANSER:

- Bodholt, H. 2002. The effect of water temperature and salinity on echosounder measurements. ICES Symposium on Acoustics in Fisheries. Montpellier June 2002, presentation 123.
- Clay, C. S. and Medwin, H. 1977. Acoustical Oceanography: Principles and Applications. John Wiley & Sons, New York.
- Conti, S. G., Demer, D. A., Soule, M. A and Conti, J. H. E., 2005. An Improved Multi-Frequency Method for Measuring *in situ* Target Strength. ICES Journal of Marine Science, 62: 1636-1646.
- Dalen, J., and Nakken, O. 1983. On the application of the echo integration method. ICES CM1983/B:19, 10pp.
- Demer et al., 2015. Calibration of Acoustic Instruments, ICES CRR326.
- Dragesund, O. and Olsen, S. 1965. On the possibility of estimating year-class strength by measuring echo-abundance of 0-group fish. Fiskeridir. Skr. Ser. Havunders. 13(8), 48-76
- Ehrenberg, J. E. 1979. A comparative analysis of in situ methods for directly measuring the acoustic target strength of individual fish. IEEE J. Oceanics Engineering OE-4.
- Fernandes, O. G., Gerlotto, F., Holliday, D. V., Nakken, O. and Simmonds, E. J. 2002. Acoustic applications in fisheries science: the ICES contribution. ICES Marine Science Symposium 215, 483-92.
- Foot, K. G. 1990. Equivalent Beam Angles for Several Standard Transducers. International Council for the Exploration of the Sea. C.M. 1990/B:21 Sess. R Fish Capture Committee
- Korneliussen, R. J. 2002. Analysis and Presentation of Multi-Frequency Echograms. Department of Physics, University of Bergen.
- Korneliussen, R. J., Diner, N., Ona, E., Berger, L and Fernandes, P. G., 2008. Proposals for the collection of multifrequency acoustic data. ICES Journal of Marine Science, 65: 982-994.
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G. and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. ICES Journal of Marine Science. 61: 201-10.
- Medwin, H. and Clay, C. S. 1998. Fundamentals of Acoustical Oceanography. Academic Press, New York, pp.1 – 712.
- Ona, E. 1999. Methodology for Target Strength Measurements. ICES CRR No. 235.
- Rapports Et Procès-Verbaux Des Réunions Volume 170. 1977. Hydro Acoustics in Fisheries Research: A symposium held in Bergen 19–22 June 1973. pp 196–204.
- Reynisson, P. 1990. A Geometric Method for Measuring the Directivity of Hull-Mounted Transducers. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 189: 176–182. 1990.
- Reynisson, P. 1998. Monitoring of Equivalent Beam Angles of Hull-Mounted Acoustic Survey Transducers in the Period 1983–1995. ICES Journal of Marine Science, 55: 1125–1132. 1998. Article No. jm980369.

Simmonds, E. J. 1984a. A Comparison between measured and theoretical equivalent beam angles for seven similar transducers. *J. Sound Vib.* 97, 117 – 28.

Simmonds, E. J. 1984b. The effect of mounting on the equivalent beam angle of acoustic survey transducers. *ICES CM 1984/B*, 32.

Simmonds & MacLennan. 2005. *Fisheries Acoustics*. Blackwell Publishing Ltd, pp.32 - 33

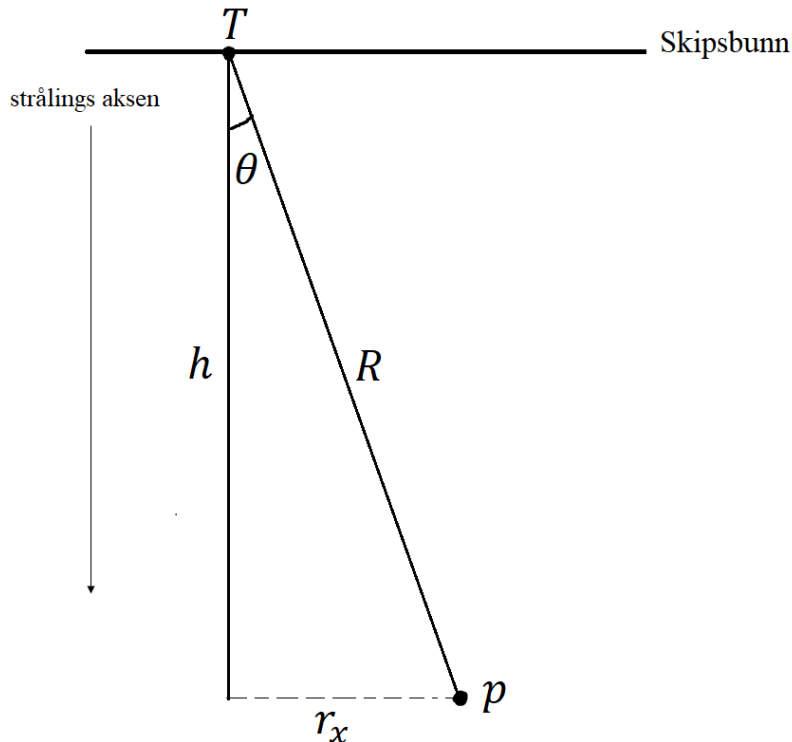
Urick, R. J. 1983. *Principles of Underwater Sound*, 3rd Edition. McGraw-Hill, New York.

APPENDIKS A

A1 Ekkoloddets posisjon geometri

Enkelt stående svinger

Vi har nå et 2D system, hvor ekkolodd-svinger T er montert i bunnen av et skip og har strålingsakse vinkelrett nedover i forhold til skipsbunnen. Strålebunten oppdager et objekt p som ligger i en avstand R , og i en dybde h , fra ekkoloddet hvor θ er vinkelen mellom dybde og avstanden. Figur nede gir en beskrivelse av systemet.



Figur A1: Et ideelt system som beskriver objektets posisjon i forhold til transduser.

Når svinger finner et objekt, er objektets avstand R og vinkelen θ de geometriske verdiene som blir målt. Ut fra de to verdiene, kan objektets dybde h og posisjon r_x i forhold til strålebuntens sentrum beregnes med følgende formler:

$$h = \frac{\cos(\theta) R}{1} \quad (\text{A.1})$$

$$r_x = \sqrt{R^2 - h^2} = \sqrt{R^2 - \left(\frac{\cos(\theta) R}{1}\right)^2} \quad (\text{A.2})$$

Dersom objektets posisjon er kjente, dvs. r_x og h er gitt, vil det være mulig å beregne ekkoloddets posisjon med følgende formler:

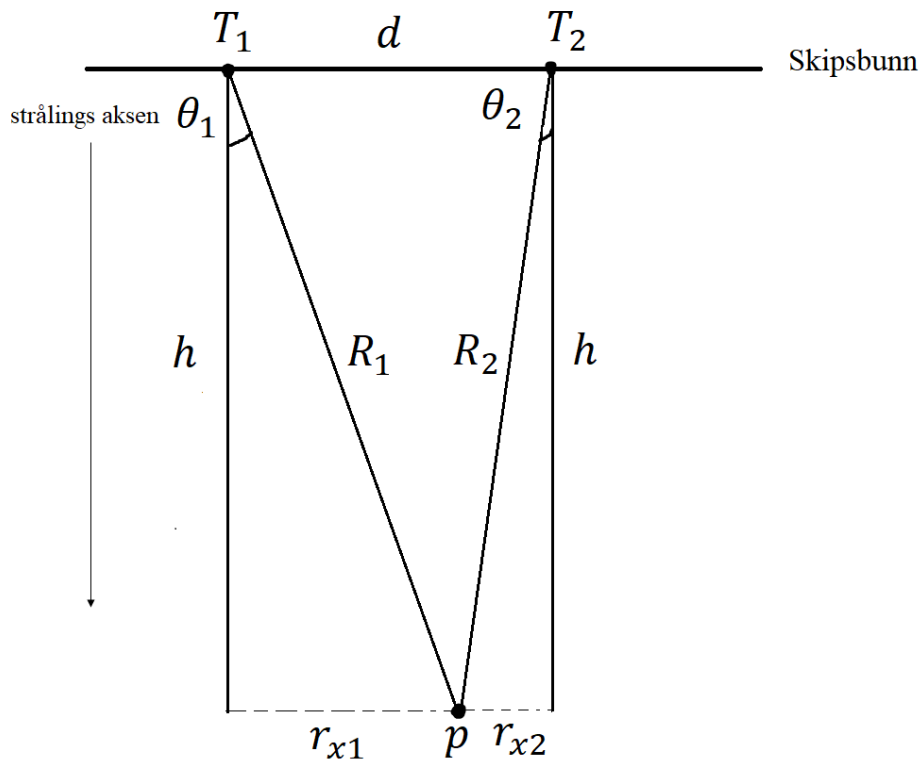
$$R = \sqrt{r_x^2 + h^2} \quad (\text{A.3})$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{r_x}{h}\right) \quad (\text{A.4})$$

(A. 3) og (A. 4) forteller oss at svinger ligger i en avstand R fra objektet, i en vinkel θ relativt til objektets normale i forhold til skipsbunnen.

Flere svingere

Antar at vi er i et 2D system med to svingere, T_1 og T_2 , som er montert i skipsbunnen. Svingerne ligger i en avstand d fra hverandre. Se figuren nede for beskrivelse.



Figur A2: Et ideelt system for to ekkolodd system.

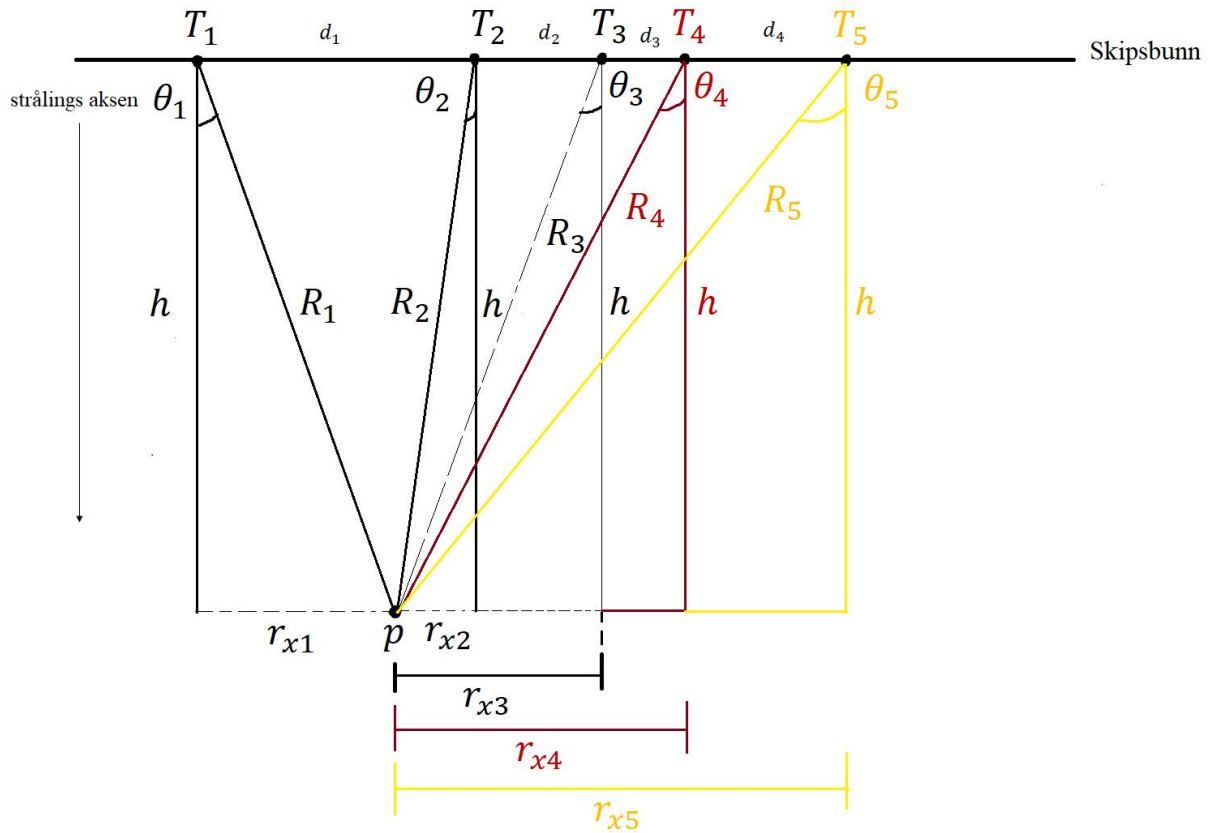
Ved bruk av ligningene (A. 1) og (A. 2), så kan h , r_{x1} og r_{x2} beregnes. Siden det er et ideelt system, vil objektets dybde være samme for begge svingere. Distansen mellom T_1 og T_2 vil da være:

$$d = r_{x1} + r_{x2} = \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{\cos(\theta_1)}{R_1}\right)^2} + \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{\cos(\theta_2)}{R_2}\right)^2} \quad (A.5)$$

Ved bruk av litt geometrisk manipulering, kan ligningen (A. 5) også brukes i et ideelt 2D system der det er mer enn to svingere montert, så lenge de ligger i samme plan. Se eksempel 1 på neste side.

Eksempel 1:

Antar nå at vi har et 2D system med 5 svingere montert i samme plan. Hver svinger er separert med en avstand d_n . Se figur nede for beskrivelse.



Figur A3: Fem ekkolodd montert i samme plan. Fargen er brukt for å kunne lettere skiller de ut.

Distansen d_n mellom hver svinger kan beregnes ved å snu litt på ligning (A. 5). Akkurat som før, er dybden h det samme for alle svingere siden de ligger i samme plan.

For d_1 , er distansen gitt som:

$$d_1 = r_{x1} + r_{x2} = \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{\cos(\theta_1)}{R_1}\right)^2} + \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{\cos(\theta_2)}{R_2}\right)^2} \quad (\text{A. 6})$$

For d_2 :

$$d_2 = r_{x3} - r_{x2} = \sqrt{R_3^2 - \left(\frac{\cos(\theta_3)}{R_3}\right)^2} - \sqrt{R_2^2 - \left(\frac{\cos(\theta_2)}{R_2}\right)^2} \quad (\text{A. 7})$$

For d_3 :

$$d_3 = r_{x4} - r_{x3} = \sqrt{R_4^2 - \left(\frac{\cos(\theta_4)}{R_4}\right)^2} - \sqrt{R_3^2 - \left(\frac{\cos(\theta_3)}{R_3}\right)^2} \quad (\text{A. 8})$$

For d_4 :

$$d_4 = r_{x5} - r_{x4} = \sqrt{R_5^2 - \left(\frac{\cos(\theta_5)}{R_5}\right)^2} - \sqrt{R_4^2 - \left(\frac{\cos(\theta_4)}{R_4}\right)^2} \quad (\text{A. 9})$$

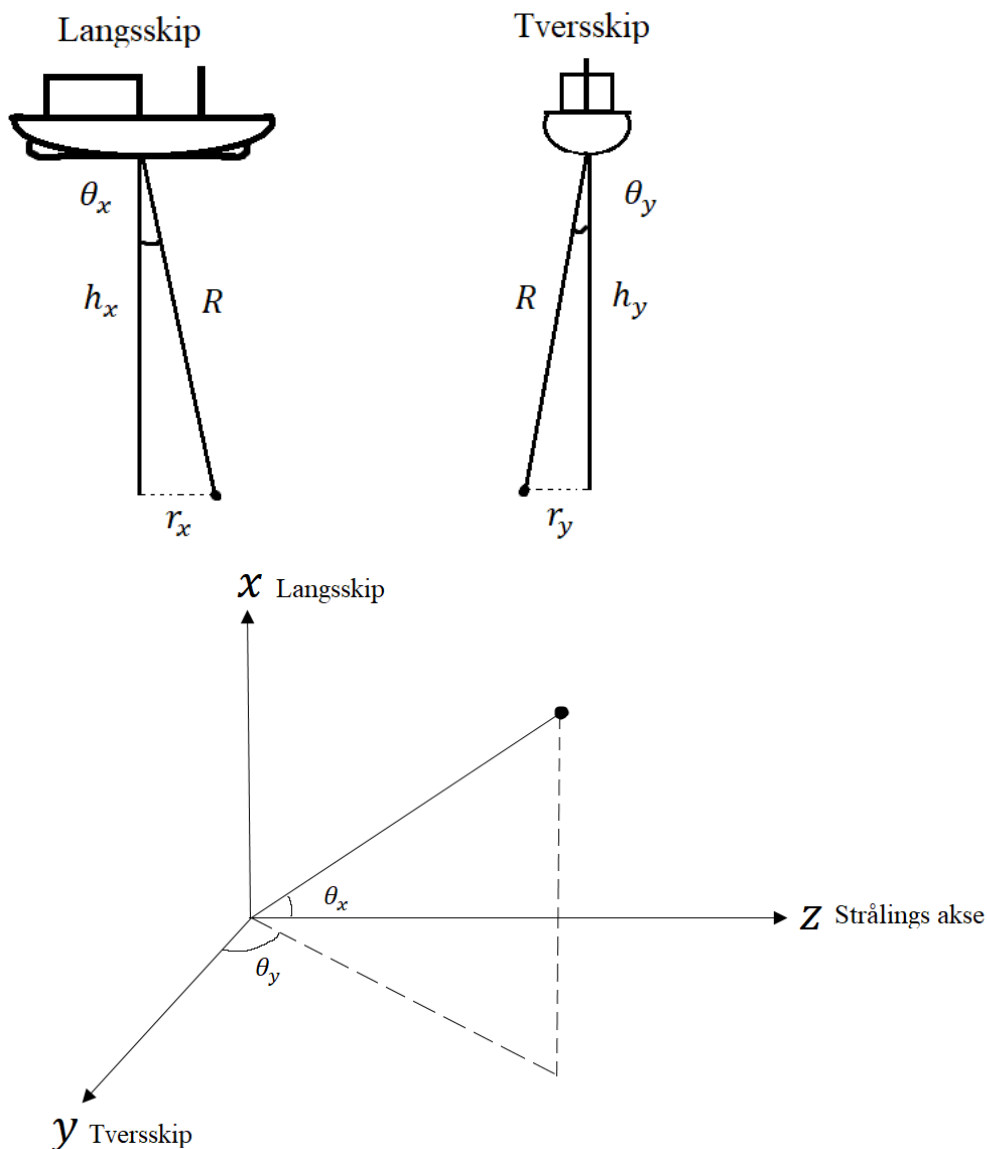
Koordinat system som er brukt her, er positiv x-akse mot høyre, og negativ mot venstre.

Avhengig av hvor svingeren ligger i forhold til objektet, vil beregning av distansen d_n varierer:

- Hvis T_n ligger negativt i forhold til objektet og T_{n+1} ligger positivt i forhold til objektet, blir $d_n = r_{x_n} + r_{x_{n+1}}$. Akkurat som d_1 på Figur 3.
- Hvis både T_n og T_{n+1} ligger i negativt eller positivt i forhold til objektet, så vil $d_n = r_{x_n} - r_{x_{n+1}}$. Akkurat som d_2 , d_3 , og d_4 på Figur 3.

A2 Langskips- og tverrskips vinkler

I virkeligheten, vil svingerne befinner seg i et tredimensjonalt system. Når svinger finner et objekt, vil objektet har to vinkler; langskip vinkel og tverrskip vinkel. Både langskips og tverrskips vinklene er først registrert som elektriske faseforskyvninger, som deretter blir konvertert til mekaniske vinkler ved å dividere vinkel sensitivitet. For bekvemmelighets skyld, blir langskip vinkel definert som x-akse og tverrskip definert som y-akse i denne oppgaven. Figuren nede gir en god beskrivelse av vinklene:



Figur A4: Langskip og tverrskip vinkel system.

Når et objekt er funnet, vil begge vinklene og avstanden bli målt. Verdiene, h_x , r_y og h_y kan beregnes ved bruk av ligning (A. 1) og (A. 2). Avstanden R er felles for begge vinklene, mens høyden h varierer.

APPENDIKS B

MERK: Denne metoden å beregner Psi er går ut på å konstruere strålingslobe ved bruk av langskips- og tverrskips vinkler, og TSU fra måledata. Deretter integrerer

B1. Beregning av Psi ved bruk av numerisk integrasjon.

Psi kan beregnes ved numerisk integrasjon. En strålebunten kan konstrueres ved bruk av følgende ligning (Ona 1990):

$$b(\alpha, \beta) = 2^{-\left(\left(\frac{\alpha-\Delta\alpha}{\phi_A}\right)^2 + \left(\frac{\beta-\Delta\beta}{\phi_B}\right)^2\right)} \quad (B.1)$$

der α og β er langskips og tverrskips vinkel, $\Delta\alpha$ og $\Delta\beta$ er langskips og tverrskips vinkel offset, ϕ_A og ϕ_B er langskips og tverrskips strålebredde ved -3dB.

I første omgang antar vi at vinkelmålingene er riktige. Deretter plotter $b^2(\alpha, \beta)$ mot langskips og tverrskips vinkel slik at vi får et tre dimensjonal scatter plot. Deretter brukes et polynom til å tilpasse overflaten til strålebunten, og integrer polynomet numerisk over alle langskip og tverrskips vinkler. Antall grader av polynom som gir best tilpasning bestemmes visuelt. Denne metoden utføres i MATLAB. Tilpasningen blir gjort ved bruk av cftool

Polynomet som blir brukt her er poly55 (5 grads polynom langs x og y aksene).

Poly55 har ligningen:

$$(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 + p_{03}y^3 + p_{40}x^4 + p_{31}x^3y + p_{22}x^2y^2 + p_{13}xy^3 + p_{04}y^4 + p_{50}x^5 + p_{41}x^4y + p_{32}x^3y^2 + p_{23}x^2y^3 + p_{14}xy^4 + p_{05}y^5 \quad (B.2)$$

Der p_{xx} er estimerte konstanter fra MATLAB.

Polynomene blir evaluert av dobbel integralet:

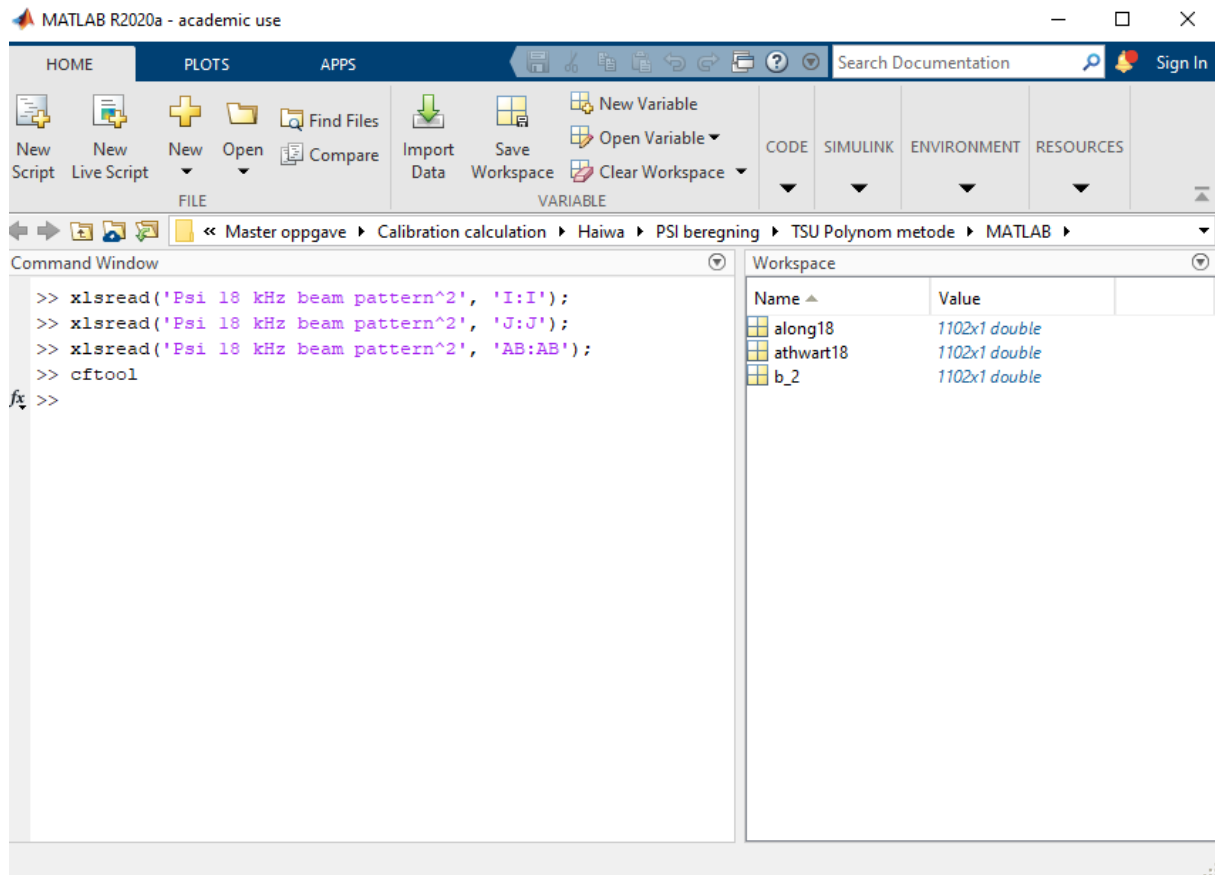
$$\int_{y1}^{y2} \int_{x1}^{x2} f(x, y) dx dy \quad (B.3)$$

der $x1$ og $x2$ er minimum og maksimale langskips vinkel i radianer, og $y1$ og $y2$ er minimum og maksimale tverrskips vinkel i radianer.

Ligningen (B.3) er løst numerisk i MATLAB

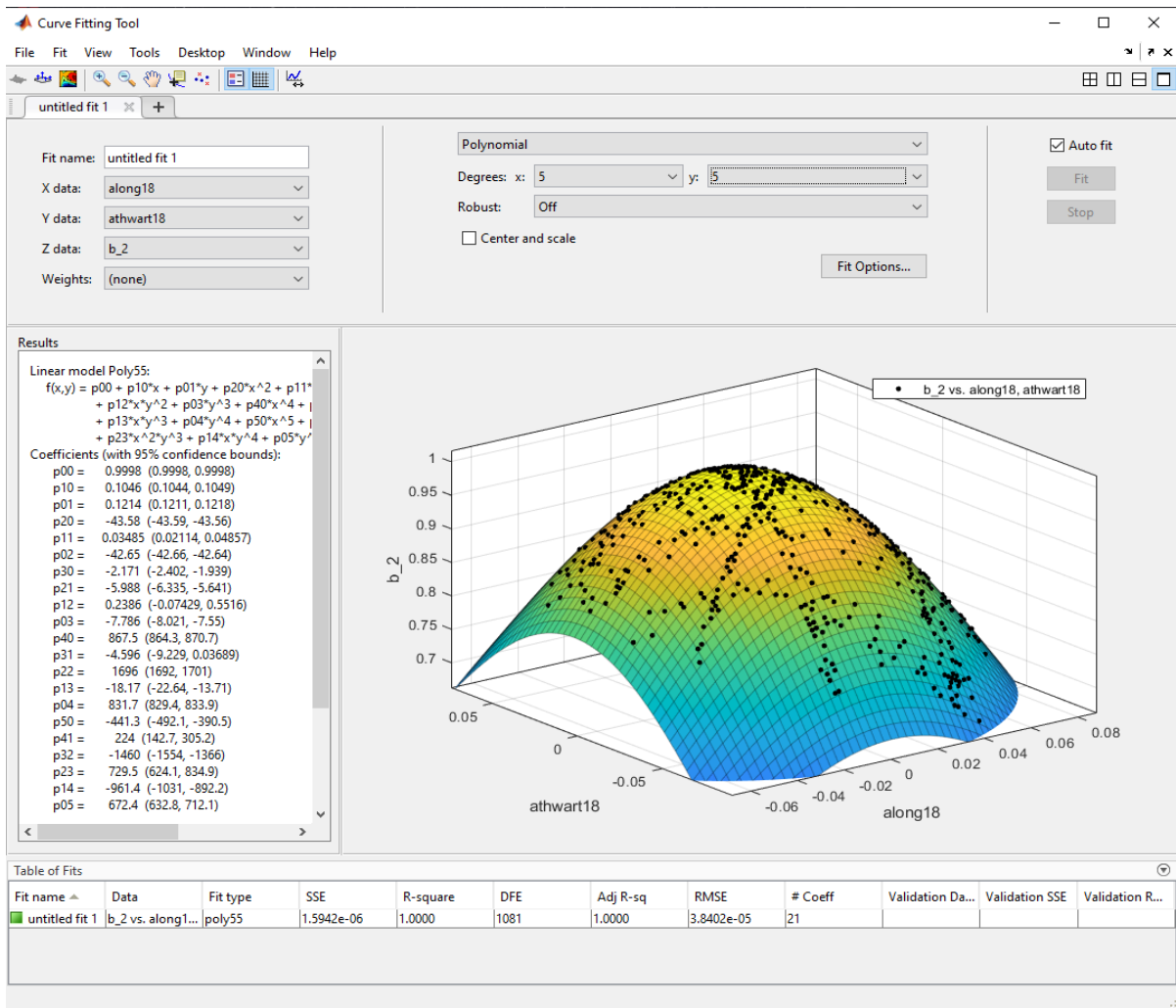
MATLAB koder

Leser in langskips og tverrskips vinkler, og $b(\alpha, \beta)^2$ fra excel arket ved bruk av følgende kommandoen; `xlsread` ('navn på fil', 'kolonne'). På excel arket til 18 kHz så ligger langskipsvinklene (radianer) i I kolonne, tverrskipsvinklene (radianer) i J kolonne, og $b(\alpha, \beta)^2$ i AB kolonne. Deretter, skriver in kommandoen `cftool` for å åpne tilpasningsfunksjon (curve fitting).



Figur B1: Kommando vindu fra MATLAB. Venstre siden viser kommando vindu hvor koden skrevet in for å leses av parameterne. Høyre siden viser parameterne som er lest in.

I tilpasningsfunksjon vinduet (se Figur B2), langskip er valgt som x-akse, tverrskip som y-akse, og $b(\alpha, \beta)^2$ som z-akse. Polynom blir valgt som tilpasnings funksjon, der antall grad er bestemt visuelt. I dette tilfelle for 18 kHz, langskip, tverrskip med $b(\alpha, \beta)^2$, er 5 gradpolynom valgt for å tilpasse x og y aksene. Vinduet til høyre viser ligningen som beskriver den tilpasset flaten.



Figur B2: Cftool vindu. Oppe til høyre viser alternative for x, y og ze akse. Oppe i midten viser hvilket funksjon som skal brukes til å approksimere, nede til høyre viser ligningen og konstantene, og nede til venstre viser en 3D representasjon av plottet.

Poly55:

$$\begin{aligned} @ (x,y) & p00 + p10*x + p01*y + p20*(x.^2) + p11*x.*y + p02*(y.^2) + p30*(x.^3) + \\ & p21*(x.^2).*y + p12*x.*(y.^2) + p03*(y.^3) + p40*(x.^4) + p31*(x.^3).*y + p22* \\ & (x.^2).*y.^2 + p13*x.*(y.^3) + p04*(y.^4) + p50*(x.^5) + p41*(x.^4).*y + p32* \\ & (x.^3).*y.^2 + p23*(x.^2).*y.^3 + p14*x.*(y.^4) + p05*(y.^5) \end{aligned} \quad (B.6)$$

Ligningene (B.6) er ligningen (B.2) i MATLAB kode form, som er hentet fra cftool.

Setter in verdiene for de tilsvarende konstantene p_{xx} , og $@ (x, y)$ løses med dobbel integral funksjonen:

$$f = @ (x, y)$$

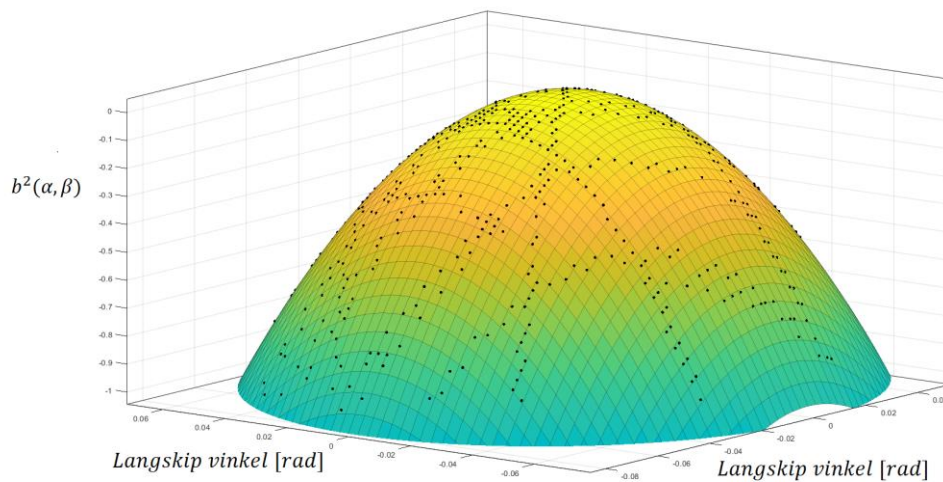
$$a = \text{integral2}(f, \text{xmax}, \text{xmin}, \text{ymax}, \text{ymin})$$

$$\mathbf{Psi = 10*\log_{10}(a)}$$

der $@(x, y)$ er polynom ligningen som er ble brukt for å estimere flaten til plottet, x_{max} og x_{min} er maksimal og minste langsips vinkel, y_{max} og y_{min} er maksimal og minste tverrsips vinkel.

18 kHz

Bildene nede viser strålebunter over -3dB for 18 kHz konstruert fra langsips vinkel, tverrsips vinkel og $b^2(\alpha, \beta)$. Vinklene er i radianer.



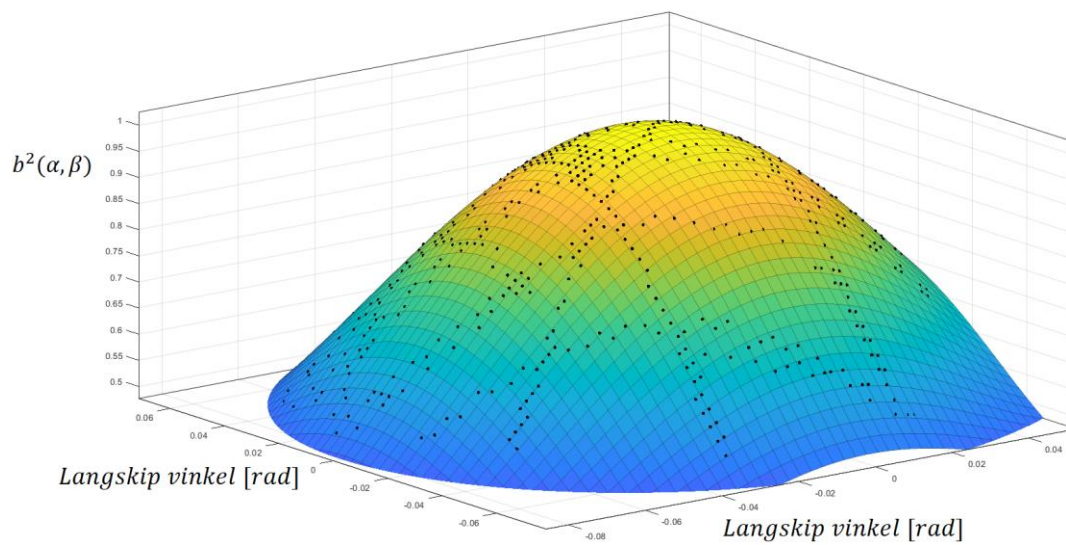
Figur 31: Strålebunten til 18 kHz over -3dB konstruert av langsips vinkel, tverrsips vinkel og strålebunten. X-aksen er langsips vinkel, y-aksen er tverrsips vinkel, og z-aksen er strålebunten kvadrert. Flaten (gul og grønn flaten som dekker punktene) er tilpasset av 5 grads polynom i både x og y aksen (poly55).

Ved bruk av ligning (46) til poly55, og løser med dobbel integralet (47), får jeg følgende ψ verdien:

$$\psi = -17.3643 \text{ dB}$$

38 kHz

Bildet nede viser den konstruerte strålebunten til 38 kHz



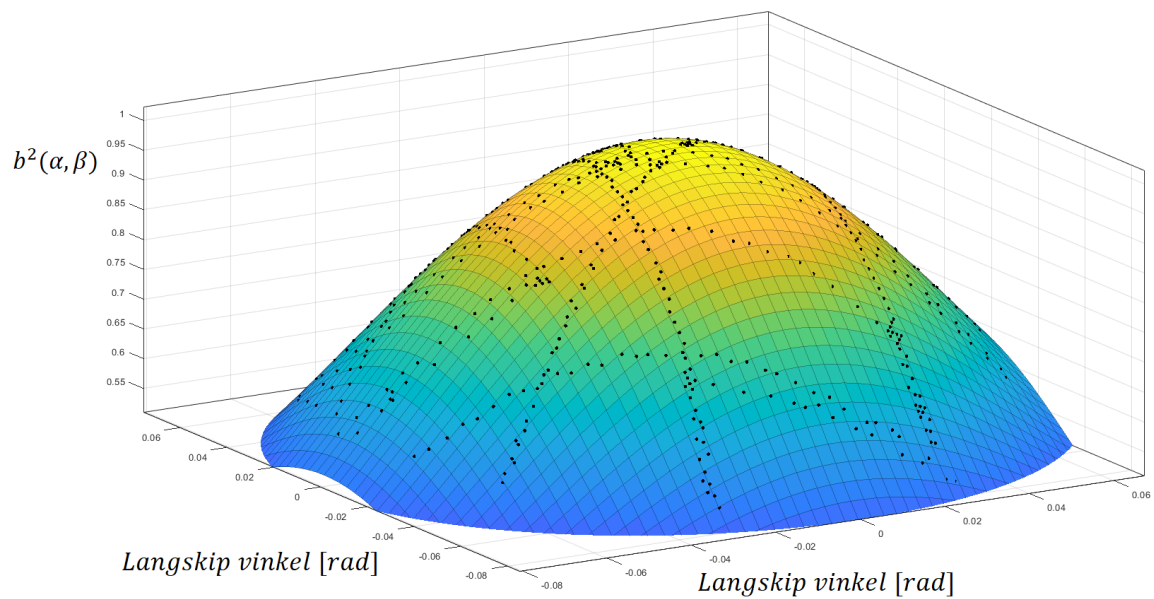
Figur 32: Strålebunten over -3dB konstruert av langskips vinkel, tverrskips vinkel og strålebunten. X-aksen er langskips vinkel, y-aksen er tverrskips vinkel, og z-aksen er strålebunten kvadrert. Flaten (gul og grønn flaten som dekker punktene) er tilpasset av 5 grads polynom i både x og y aksen (poly55).

Ved bruk av ligning (46) til poly55 og løser med dobbel integralet (47), får jeg følgende ψ verdien:

$$\psi = -19.0219 \text{ dB}$$

70 kHz

Bildet nede viser den konstruerte strålebunten til 70 kHz



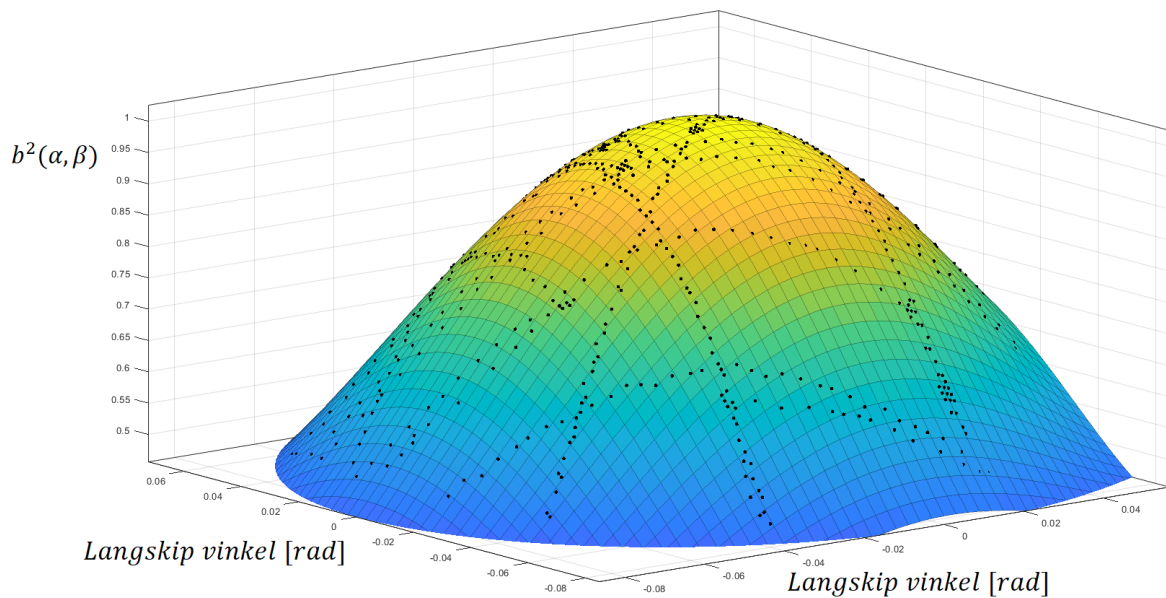
Figur 33: Strålebunten til 70 kHz over -3dB konstruert av langskips vinkel, tverrskips vinkel og strålebunten. X-aksen er langskips vinkel, y-aksen er tverrskips vinkel, og z-aksen er strålebunten kvadrert. Flaten (gul og grønn flaten som dekker punktene) er tilpasset av 5 grads polynom i både x og y aksen (poly55).

Ved bruk av ligning (46) til poly55, og med dobbel integralet (47), får jeg følgende ψ verdi:

$$\psi = -21.1076 \text{ dB}$$

120 kHz

Bildet nede viser den konstruerte strålebunten til 120 kHz.



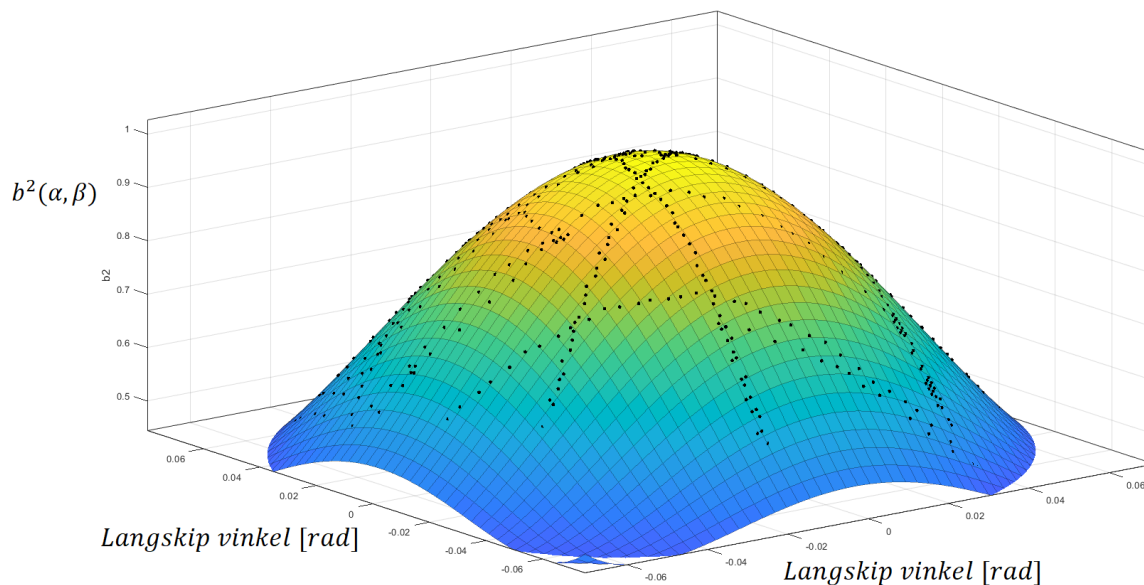
Figur 34: Strålebunten til 120 kHz over -3dB konstruert av langskips vinkel, tverrskips vinkel og strålebunten. X-aksen er langskips vinkel, y-aksen er tverrskips vinkel, og z-aksen er strålebunten kvadrert. Flaten (gul og grønn flaten som dekker punktene) er tilpasset av 5 grads polynom i både x og y aksen (poly55).

Ved bruk av ligning (46) til poly55 og løser med dobbel integralet (47), får jeg følgende ψ verdi:

$$\psi = -18.7216 \text{ dB}$$

200 kHz

Bildet nede viser den konstruerte strålebunten til 200 kHz.



Figur 35: Strålebunten til 200 kHz over -3dB konstruert av langskips vinkel, tverrskips vinkel og strålebunten. X-aksen er langskips vinkel, y-aksen er tverrskips vinkel, og z-aksen er strålebunten kvadrert. Flaten (gul og grønn flaten som dekker punktene) er tilpasset av 5 grads polynom i både x og y aksen (poly55).

Ved bruk av ligning (46) og løser med dobbel integralet (47), får jeg følgende ψ verdi:

$$\psi = -19.0096 \text{ dB}$$

B2. Korreksjons faktor

Korreksjons faktor for vinkelmålene.

MERK: Denne metoden ble foreslått under skrivingen av master oppgaven. Det har ikke gjort tilstrekkelig nok forsøk for å bekrefte om denne metoden er riktig.

Det har vært antatt at vinkelmålene fra målingsdata til alle svingere var riktige. Dersom vinkelmålene fra målingsdata er feil, må det introduseres to korreksjons faktorer K og C for å korrigere for feilen. Her er K korreksjons faktor for langskips- eller tverrskips vinkel til svinger 1, og C for korreksjons faktor for langskips- eller tverrskips vinkel til svinger 2. K og C estimeres ikke-lineært ved bruk en foreslått ligning:

$$Y_m = \frac{a * K * x_n + b}{C} \quad (B2.1)$$

Ligningen (50) er en modifisert lineære regresjons ligning i formen av $y = ax + b$. Parameterne i (50) beskriver følgende:

K = korreksjons faktor for svinger 2 (x_n).

C = korreksjons faktor for svinger 1 (Y_m).

Y_m = vinkel verdi (langskip- eller tverrskip, i radianer) for svinger 1.

x_n = vinkel verdi (langskip- eller tverrskip, i radianer) for svinger 2.

a = stigningstallet/forholdet av vinklene som ble målt av begge svingere. Dette antas å være 1.

b = avstand mellom svinger 1 og svinger 2.

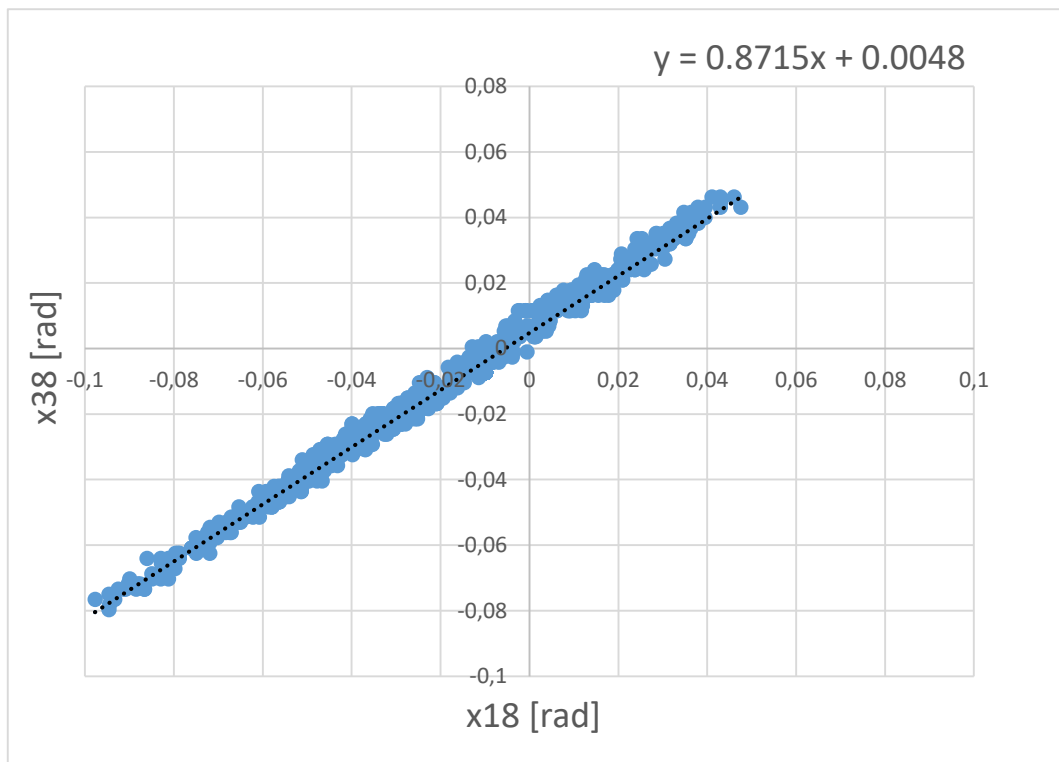
38 kHz svinger skal korrigeres ved bruk av 18, 70, 120 og 200 kHz. Siden den eneste parameter som er antatt å være 100% korrekt er avstanden mellom svingere. Korreksjons faktorene blir bestemt med følgende metode:

- Korrigeres 18, 70, 120 og 200 kHz svingere til 38 kHz sin geometrisk posisjon ved å bruke metoden som var beskrevet under delkapitlet 2.1.2. Avstandene mellom svingere er beregnet ut i fra målingene fra senkekjøll tegningen (Figur .8).
- Etter alle svingere er korrigert for 38 kHz sin posisjon, vil vinkelmålene til de posisjons korrigerede svingere endre seg. Ved å plote de nye langskips- og tverrskips vinklene til 18, 70, 120 og 200 kHz opp mot langskips- og tverrskips vinklene til 38 kHz. F.eks Langskips vinkel 18 kHz opp mot langskips vinkel 38 kHz (gjøre tilsvarende for tverrskips vinklene). Deretter bruk lineære regresjon til å bestemme verdien b for alle svingere. Se Figur B2a – h.
- Korreksjons faktorene K og C for langskips vinkler kan nå estimeres med ligningen (B2.1) ved å setter x_{38} (langskips vinklene til 38 kHz svinger) in i Y_m , og langskips vinklene x_{18} , x_{70} , x_{120} og x_{200} in i x_n (og gjøre det samme for tverrskips vinklene ved å setter in y_{38} in i Y_m og y_{18} , y_{70} , y_{120} og y_{200} in i x_n). F.eks; for estimering av korreksjons faktorer for x_{38} og x_{18} , vil ligningen (B2.1) ser ut som følgende:

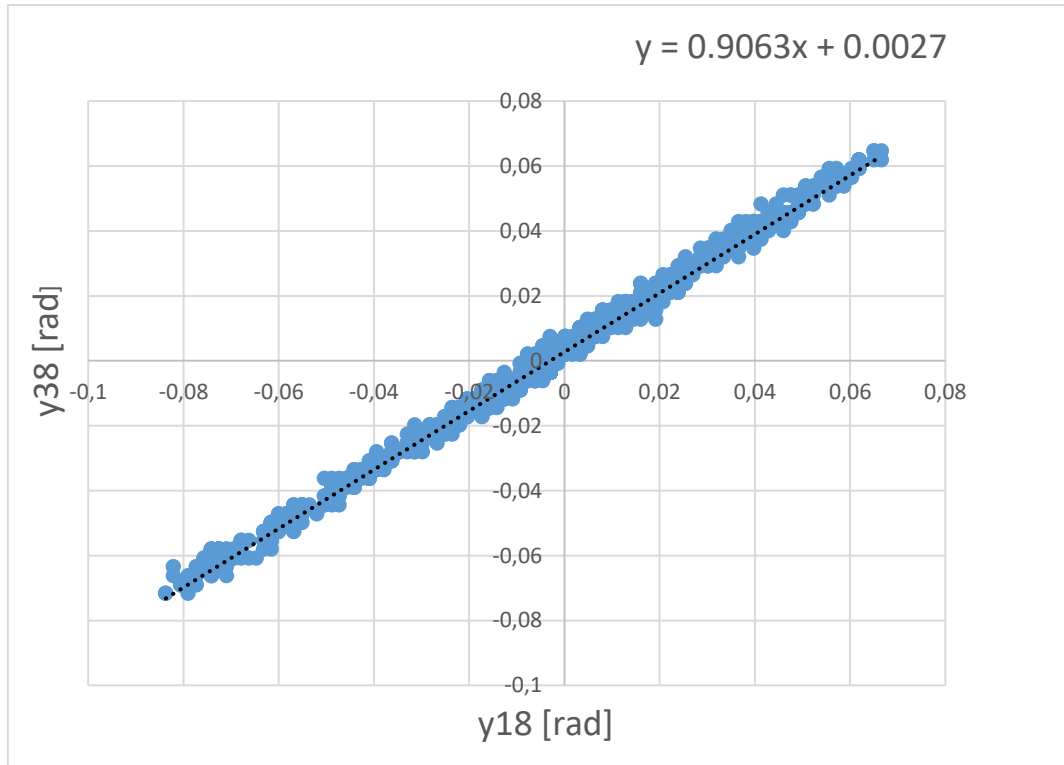
$$x_{38} = \frac{1 * K * x_{18} + 0.0048}{C}$$

her er K korreksjons faktor for x_{18} , og C er korreksjons faktor for x_{38} . Estimeringen blir utført i statistikkprogrammet MYSTAT som en ikke-lineær regresjon der parameterne blir estimert ved iterasjon.

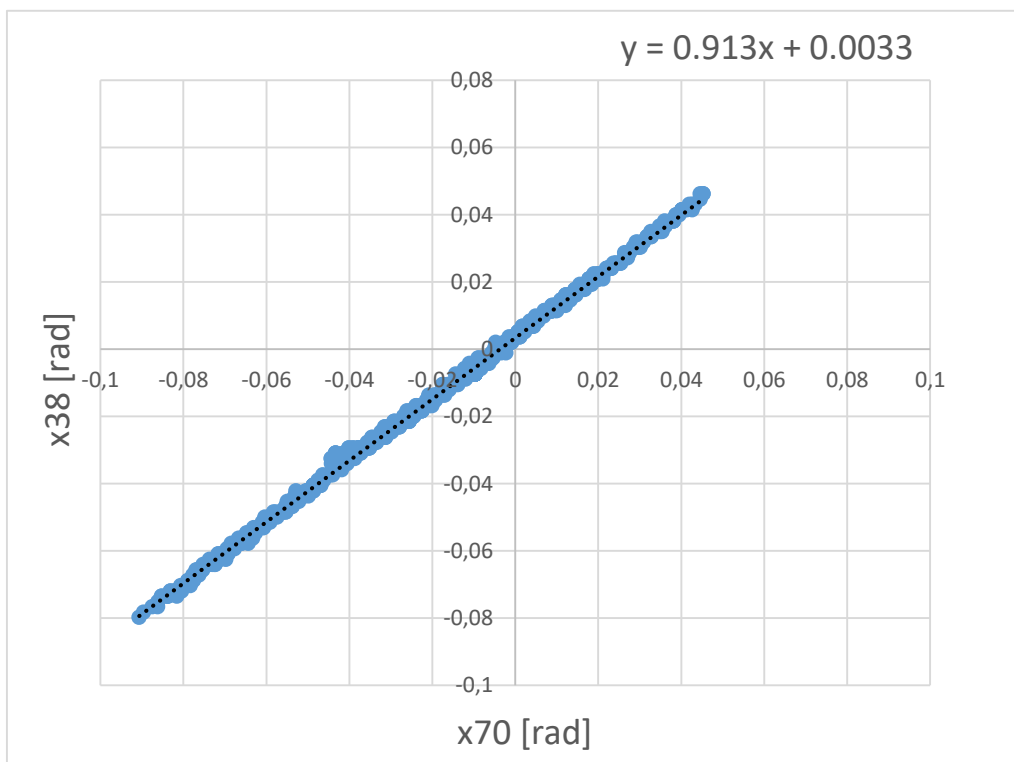
Langskips og tverrskips vinklene til 18, 70, 120 og 200 kHz vil bli multiplisert med korreksjons faktorene, og beregner Psi på nytt ved bruk av metoden gitt under 2.2.1.



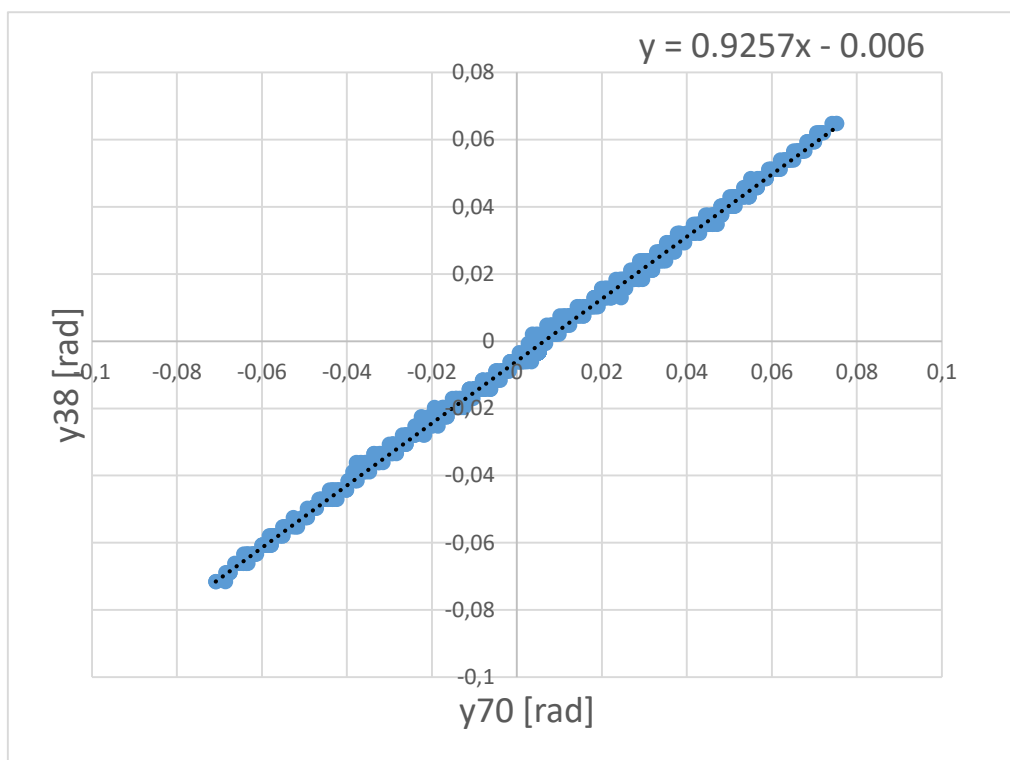
Figur B2a: 18 kHz langskips vinkel (x_{18}) plottet mot 38 kHz langskips vinkel (x_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = 0.0048$.



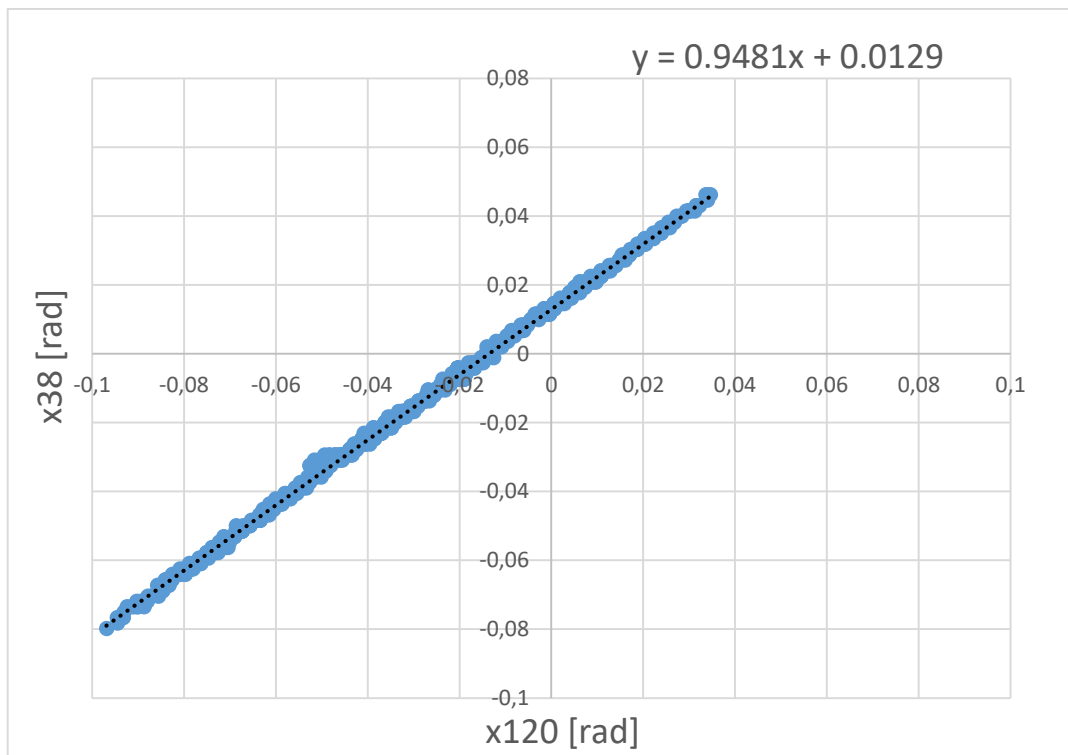
Figur B2b: 18 kHz tverrskips vinkel (y_{18}) plottet mot 38 kHz tverrskips vinkel (y_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = 0.0027$.



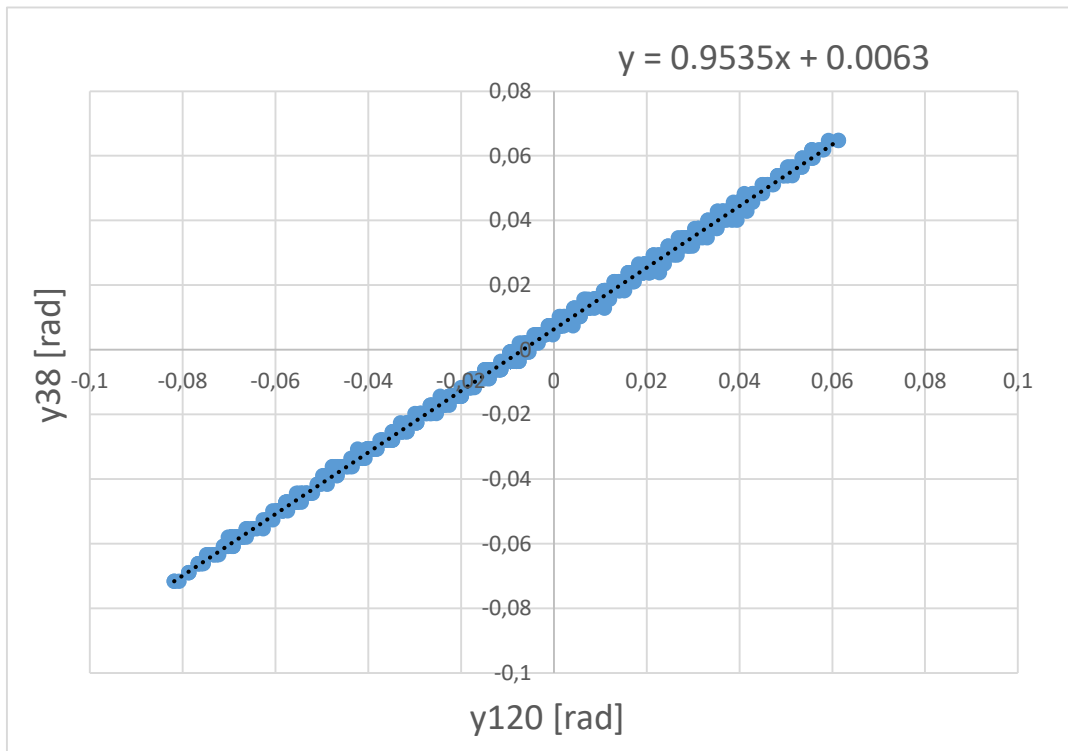
Figur B2c: 70 kHz langsksips vinkel (x_{70}) plottet mot 38 kHz langsksips vinkel (x_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = 0.0033$.



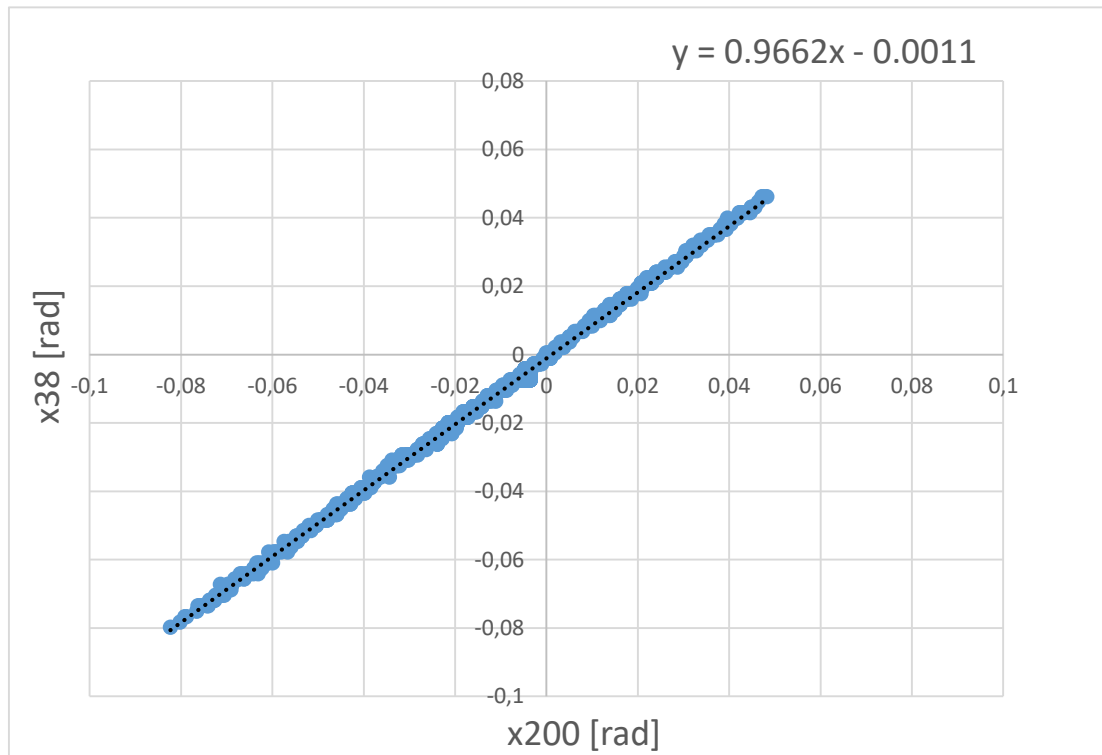
Figur B2: 70 kHz tverrskips vinkel (y_{70}) plottet mot 38 kHz tverrskips vinkel (y_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = -0.006$.



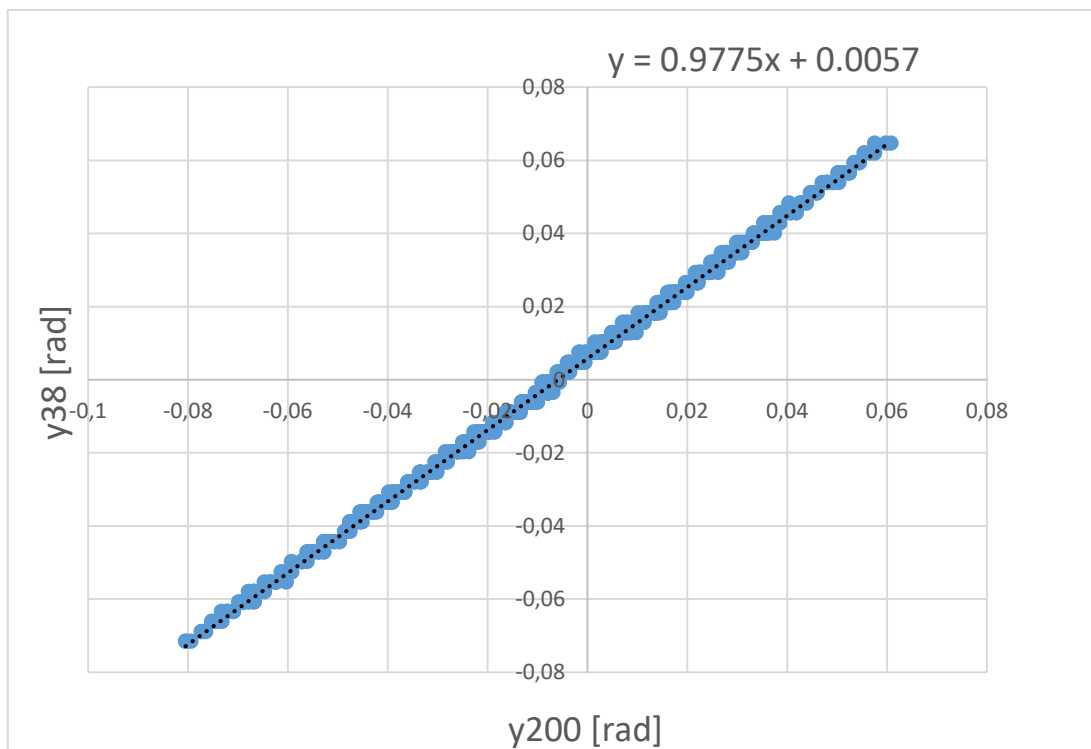
Figur B2e: 120 kHz langskips vinkel (x_{120}) plottet mot 38 kHz langskips vinkel (x_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = 0.0129$.



Figur B2f: 120 kHz tverrskips vinkel (y_{120}) plottet mot 38 kHz tverrskips vinkel (y_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = 0.0063$.



Figur B2g: 200 kHz langsrips vinkel (x_{200}) plottet mot 38 kHz langsrips vinkel (x_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = -0.0011$.



Figur B2h: 200 kHz tverrskips vinkel (y_{200}) plottet mot 38 kHz tverrskips vinkel (y_{38}). Stiplet linjen er tilpasset av lineære regresjon. $b = 0.0057$.

Tabellen nede viser korreksjons faktor verdier for både langskips og tverrskips vinkel til 38 kHz svinger, korrigert av 18, 70, 120 og 200 kHz svinger. Estimeringen blir gjort med ligningen (48) og utført i MYSTAT program.

Tabell B1: Korreksjons faktor for langskips- og tverrskips vinklene til 38 kHz svinger, estimert ved bruk av 18, 70, 120 og 200 kHz svinger og ligning (48).

	C (langskips vinkel [rad])	C (tverrskips vinkel [rad])
38 kHz korrigert av 18 kHz	1.009	0.989
38 kHz korrigert av 70 kHz	0.989	1.005
38 kHz korrigert av 120 kHz	1	0.998
38 kHz korrigert av 200 kHz	0.981	0.997

Korreksjons faktor verdier for både langskips- og tverrskips vinkel til 18, 70, 120, og 200 kHz korrigert med 38 kHz, er vist på tabellen nede:

Tabell B2: Korreksjons faktor for langskips- og tverrskips vinklene til 18, 70, 120 og 200 kHz svinger, estimert ved bruk av 38 kHz svinger og ligning (48).

	K (langskips vinkel [rad])	K (tverrskips vinkel [rad])
18 kHz	0.879	0.897
70 kHz	0.903	0.93
120 kHz	0.948	0.952
200 kHz	0.948	0.974

Tabell B3 viser Psi verdi beregnet av 38 kHz svinger etter å ha blitt korrigert av korreksjons faktoren gitt på Tabell B1. Metoden til å beregne Psi er det samme som var beskrevet under 2.2.1.

Tabell B3: Psi verdi beregnet av 38 kHz svinger korrigert med korreksjons faktor fra de forskjellige svingere.

Svinger som 38 kHz har korrigert med	Psi [dB]
18 kHz	-20.41
70 kHz	-20.34
120 kHz	-20.34
200 kHz	-20.41

Psi verdier for 38 kHz svinger beregnet av 18, 70, 120 og 200 kHz svinger sine måledata korrigert for korreksjons faktor og 38 kHz svinger sin posisjon, er vist på tabellen nede. Langskips- og tverrskips vinklene til de overnevnte svingere er korrigert for korreksjons faktor som er gitt på Tabell 16.

Tabell B4: Psi verdier for 38 kHz svinger beregnet av andre svinger som ligger på 38 kHz sin posisjon. Korrigert for korreksjons faktor.

Frekvens [kHz]	Psi 38 kHz beregnet på 38 kHz sin posisjon med 38 kHz TSU. Korrigert med korreksjons faktor. [dB]
18 kHz	-21.56
70 kHz	-21.61
120 kHz	-21.58
200 kHz	-21.66

