



Forsuaret

Bacheloroppgave

OPG3301

Predefinert informasjon

Startdato:	05-12-2022 09:00 CET	Termin:	2022 HØST
Sluttdato:	19-12-2022 08:00 CET	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Oppgave		
Flowkode:	1627 OPG3301 1 O 2022 HØST SKSK		
Intern sensor:	Lars Olav Tueita		
Intern sensor:	Alexander Sauter		

Deltaker

Naun:	Kristine Omholt
Kandidatnr.:	
FHS-id:	komholt@mil.no

Gruppe

Gruppenaun:	Kristine Omholt og Vilde Hagen Espedal
Gruppennummer:	4
Andre medlemmer i gruppen:	Vilde Hagen Espedal



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Hydroakustiske målinger

Kartlegging av akustisk støy i Sjøkrigsskolens kavitatsjonstunell

Av

Kristine Omholt

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE
OG MARINEINGENIØR MASKIN

&

Vilde Hagen Espedal

Levert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE
OG MARINEINGENIØR ELEKTRO

Antall ord: 18 903

Innlevert: Desember 2022

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadettene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettene har godkjent publisering.

Opgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Vi erklærer herved at oppgaven er vårt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 18 – 12- 2022

Kristine Omholt

Kristine Omholt

Vilde H. Espedal

Vilde Hagen Espedal

Forord

Denne oppgaven er skrevet av Kristine Omholt og Vilde Hagen Espedal i perioden september 2022 til desember 2022. Den er skrevet som en del av studiene *Bachelor i militære studier med fordypning i ledelse og marineingeniør maskin* og *Bachelor i militære studier med fordypning i ledelse og marineingeniør elektro*.

Oppgaven er en kartlegging av lydbildet i Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Tidligere har det vært vanskelig å tolke lydbildet fra tunellens hydrofon etter diverse tunelltester. Vi vil dermed forsøke å kartlegge lydbildet som oppstår i tunellen slik at en kan skille måleobjekter fra andre støykilder.

En stor takk til vår hovedveileder Lars Olav Tveita som har hjulpet oss med måleoppsett, gode diskusjoner og tilbakemeldinger til oppgaven. I tillegg vil vi takke Linn-Kristine Glesnes Glaupholm for verdifulle innspill, diskusjoner og ekstra øyne under hele bachelortiden. Videre vil vi rette en takk til Gisle Strand, som kom med forslag til oppgave og som alltid har vært behjelpelig ved spørsmål og drift av kavitasjonstunellen. Til slutt vil vi også takke medkadetter og lærere for nyttige diskusjoner og biblioteket som har vært svært behjelpelig med å skaffe litteratur.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 18.12.22

Kristine Omholt

Kristine Omholt

Vilde H. Espedal

Vilde Hagen Espedal

Sammendrag

En stor utfordring rundt måling av lyd er støyen som skapes og fins i omgivelsene rundt et måleobjekt. Dette har vist seg å være et aktuelt problem ved lydmålinger på Sjøkrigsskolens maskiner, hvor kadetter tidligere har forsket på støydempende løsninger på eksempelvis propell. Dette har de gjort ved hjelp av Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell, med en fastmontert hydrofon. Det har imidlertid vist seg at når de skal analysere resultatene fra hydrofonen, har det vært vanskelig å skille mellom hvilken støy som kommer fra propell og hvilken støy som kommer fra andre komponenter i tilknytning til laben. Dette kan være komponenter som eksempelvis vifter, lyskastere, high speed kamera, propellmotor og impellermotor.

Denne oppgaven er dermed en kartleggingsoppgave av støybildet i og ved Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Oppgaven har hatt som hensikt å detektere ulike komponenters innvirkning i et totalt lydbilde. Vi har benyttet oss av eksperimentell testmetode hvor vi har gjort en rekke forsøk for å undersøke hvordan komponenter påvirker lydbildet i kavitasjonstunellen.

Generelt viser resultatene at det er mye støy, både når vi kjører og ikke kjører kavitasjonstunellen. Når vi kjører tunellen har vi på en impellermotor, som regulerer vannstrøm, og en propellmotor som driver propellakslingen. Når vi ikke kjører den har vi på forskjellige komponenter som lyskastere, high speed kamera og varmluftsvifter. Til tross for mange utslag i resultatene har vi klart å detektere signaturen til en rekke av komponentene, i tillegg til sammenhengen mellom støyen som oppstår ved høyt og lavt turtall på propellmotoren.

Riktignok er dette første gang egenstøyen i kavitasjonstunellen undersøkes. Dermed har vi funnet en rekke aspekter som det er mulig, og anbefales, å forske videre på dersom en ønsker å kartlegge støyen i kavitasjonstunellen ytterligere. Blant annet er det høy mistanke om at det ikke bare er akustisk støy vi får opp i resultatene våre. Vi tror nemlig en del av utslagene våre kommer fra elektrisk støy fra en likeretter, samt jordingssystemet på laben.

Uansett mener vi oppgaven et godt hjelpemiddel for fremtidig forskning som inkluderer lydmålinger i kavitasjonstunellen. Ved å lene seg på oppgaven når en eksempelvis vil forske på stillegående propeller, vil en i større grad klare å skille mellom lyden som skapes i omgivelsene og måleobjektet som forskes på.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Mål.....	6
1.3	Problemstilling	7
1.4	Avgrensninger	7
1.5	Metode.....	8
1.6	Struktur.....	9
2	Teori.....	10
2.1	Grunnbegreper	10
2.1.1	Målesystem	10
2.1.2	Akustikk.....	11
2.1.3	Analoge signaler	11
2.1.4	Digitale signaler	12
2.2	Sampling.....	13
2.3.1	Nyquist samplingsteorem	13
2.3.2	Aliasing og undersampling	14
2.3.3	Frekvensfiltre	15
2.3	Frekvensanalyse – Fourier Transformasjon	17
2.4	Usikkerhet i målinger	18
2.4.1	Presisjon	18
2.4.2	Nøyaktighet.....	18
2.4.3	Oppløsning	18
2.4.4	Forventning	18
2.4.5	Varians	18
2.4.6	Standardavvik.....	19
2.4.7	Usikkerhet	19
2.5	Støy.....	19
2.5.1	Bakgrunnsstøy i anlegg	19
2.5.2	Ikke-kavitasjonslyder	20
2.5.3	Kavitasjonslyder.....	20
2.6	Testfasiliteter	22
2.6.1	Prinsipielt oppsett.....	22
2.6.2	Kavitasjonstunellen	24
2.6.3	Propell og hylse.....	26
2.6.4	Hydrofon	27
2.6.5	Forsterkeren	29
2.6.6	Pasco Capstone	31

2.6.7	LabVIEW	31
3	Metode og forsøksresultater	33
3.1	Forsøksdesign	33
3.1.1	Mål og plan	33
3.1.2	Driftskondisjoner	38
3.1.3	Kontroll av hydrofon og analogsystem	39
3.1.4	Målinger uten propell	39
3.1.5	Grafisk fremstilling	39
3.2	Resultater	40
3.2.1	Resultater når kavitasjonstunellen ikke er i drift.....	40
3.2.2	Resultater når kavitasjonstunellen er i drift	51
3.2.3	Undersøkelser av elektrisk støy	71
3.2.4	Frekvensers utvikling gjennom ulike scenarioer.....	72
4	Analyse.....	75
4.1	Sammenligning.....	75
4.1.1	Komponenter fra laben.....	75
4.1.2	Propell vs. Hylse	77
4.2	Diskusjon.....	79
4.2.1	Forsterkning og omgjøring til Pascal	79
4.2.2	Avrundninger i LabVIEW	79
4.2.3	Gjennomsnitt og standardavvik	80
4.2.4	Elektrisk støy.....	80
4.2.5	Utstyr.....	81
4.2.6	Samplingsfrekvens	82
4.2.7	Støyfiltrering	83
4.2.8	Feilkilder	83
5	Konklusjon med anbefaling.....	85
5.1	Delkonklusjoner om frekvenser	86
5.2	Delkonklusjoner om forsøk	86
	Litteratur	88
	Vedlegg.....	90

Figurer

FIGUR 1: HOVEDELEMENTENE I ET MÅLESYSTEM MED EKSEMPEL. (JONSDITTIR, 2016, s. 20)	10
FIGUR 2: LYDTRYKK SOM FUNKSJON AV TIDEN. (APPLE, 2022)	11
FIGUR 3: OMGJØRING AV LYDTRYKK TIL SPENNING. GRAFEN ER EN KONSEKVENNS AV INNGANGSSIGNALET (TVEITA, 2012, s. 67).....	11
FIGUR 4: FYSISK, ANALOGT OG DIGITALT ELEKTRISK SIGNAL (DIGITAL AUDIO FUNDAMENTALS, 2020, 4:12).....	12
FIGUR 5: ALIASING VED SAMPLINGSFREKVENS 40 Hz (VAN DE VEGTE, 2002, s. 34).....	14
FIGUR 6:FREKVENSFILTRE (OBEID, KHETTAB, MARAIS OG BOUTOUYRIE, 2017).	15
FIGUR 7: TRASSFORMASJON MELLOM TIDSDOMENET OG FREKVENSDOMENET (KONG, SIAUW, & BAYEN, 2020) .	17
FIGUR 8: KAVITASJONSTYPER (ITTC, 2014, s.3)	21
FIGUR 9:LYDSPEKTER FOR MARINE PROPELLER. FIGUREN VISER FOR BÅDE MED OG UTEN KAVITASJON (O`BRIEN. P OG MICHELS. R, 2021, s. 7)	21
FIGUR 10:PRINSIPIELT OPPSETT FOR AKUSTISKE MÅLINGER	22
FIGUR 11: BILDER AV MÅLEOPPSETT OG KOMPONENTER	23
FIGUR 12: PRINSIPSKISSE AV KAVITASJONSTUNELLEN PÅ FHS SJØKRIGSSKOLEN. TUNELLEN ER AV TYPEN K23. (CUSSIONS, 2011, s. 5)	24
FIGUR 13:BILDE AV EN PERSON VED KAVITASJONSTUNELLEN OG DENS MÅLESEKSJON. BARE MÅLESEKSJONEN ER 650 MM BRED X 350 MM HØY. TUNELLEN I SEG SELV STREKKER SEG OVER TRE ETASJER. PERSONEN ER 1,63 M.....	25
FIGUR 14: BILDE AV PROPELLEN MONTERT I KAVITASJONSTUNELLEN	26
FIGUR 15: BILDE AV HYLSEN SOM MONTERES ISTEDEFOR PROPELLEN.	27
FIGUR 16:DIMENSJONERING AV HYDROFONEN PLASSERT I KAVITASJONSTUNELLENS HYDROFONKAMMER	28
FIGUR 17: BILDE AV HYDROFONENS PLASSERING I KAVITASJONSTUNELLEN. BILDET ER TATT MED HIGH SPEED KAMERA	29
FIGUR 18:BILDE AV FORSTERKEREN VI BRUKER TIL LYDMÅLING.....	29
FIGUR 19: INNSTILLINGER PÅ LAVPASSFILTER (BRÜEL & KJÆR, 2007, s.22).....	30
FIGUR 20: FORSTERKNINGSMULIGHETER PÅ NEXUS RANGE OF CONDITIONING (BRÜEL & KJÆR, 2007, s.23)....	31
FIGUR 21: PROGRAMMET I LABVIEW.....	32
FIGUR 22: ØYEBLIKKSBIKDET VI SER I LABVIEW MENS MÅLINGENE KJØRER.	32
FIGUR 23:INNSTILLINGENE TIL VARMLUFTVIFTENE. VED BASELINE STÅR DISSE PÅ 0.	41
FIGUR 24: BILDE AV KAVITASJON, HER HUB KAVITASJON, SOM HAR OPPSTÅTT NÅR IMPELLERMOTOR GÅR MED 1,5 RPS, OG PROPELLMOTOR MED 15,5 RPS.....	69

Diagrammer

DIAGRAM 1:OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTERET VED BASELINE START	42
DIAGRAM 2: OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTERET VED BASELINE SLUTT	42
DIAGRAM 3:FREKVENSSOMRÅDE 1-60HZ VED SCENARIO 1 OG 26: BASELINE START (BLÅTT)/ SLUTT (ORANSJE)	43
DIAGRAM 4:OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTERET VED BASELINE MED VARMLUFTVIFTE.	44
DIAGRAM 5: OVERORDNET BILDE OVER FREKVENSSPEKTERET VED SCENARIO 3, BASELINE MED LYSKASTERE.....	45
DIAGRAM 6: UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 420-480 HZ NÅR LYSKASTERNE ER KOBLET INN	45
DIAGRAM 7: OVERORDNET BILDE OVER FREKVENSSPEKTERET VED SCENARIO 4, BASELINE MED HIGH SPEED KAMERA.	46
DIAGRAM 8: UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 1-60 HZ VED SCENARIO 4.	47
DIAGRAM 9: UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 420-480 HZ VED SCENARIO 4.....	48
DIAGRAM 10:OVERORDNET BILDE OVER FREKVENSSPEKTERET VED SCENARIO 5, BASELINE MED LYS OG HIGH SPEED KAMERA.	48
DIAGRAM 11: UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 1-60 HZ VED SCENARIO 5.	49
DIAGRAM 12:UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 420-480 HZ VED SCENARIO 5.	49
DIAGRAM 13:OVERORDNET BILDE OVER FREKVENSSPEKTERET VED SCENARIO 6, BASELINE MED LYS, HIGH SPEED KAMERA OG VARMLUFTVIFTER.	50
DIAGRAM 14: ILLUSTRASJON OVER FORSKJELLEN MELLOM PROPELL OG HYLSE I FREKVENSSOMRÅDE 1-60 HZ VED SCENARIO 7, 11, 15, 27, 31 OG 35.....	52
DIAGRAM 15: UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 60-120 HZ. VI SER ET OPPDUKKENDE UTSLAG VED 82 HZ NÅR PROPELLMOTOREN GÅR OG PROPELLEN ER MONTERT.....	53
DIAGRAM 16: OVERORDNET FREKVENSSPEKTER AV SCENARIO 7, 11 OG 15.	54
DIAGRAM 17: OVERORDNET FREKVENSSPEKTER FRA NÅR PROPELLEN GÅR MED 1,5 RPS FRA SCENARIO 8 OG 28..	56
DIAGRAM 18: OVERORDNET FREKVENSSPEKTER FRA NÅR PROPELLEN GÅR MED 8 RPS FRA SCENARIO 9 OG 29.....	57
DIAGRAM 19: OVERORDNET FREKVENSSPEKTER FRA NÅR PROPELLMOTOREN GÅR MED 11,66 RPS FRA SCENARIO 10 OG 30.....	58
DIAGRAM 20: FREKVENSSPEKTER 1-60 HZ NÅR PROPELLMOTOREN KJØRER MED 1,5 RPS.....	59
DIAGRAM 21:OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTERET NÅR IMPELLEREN GÅR MED 0,5, 1,5 OG 3,2 RPS VED SCENARIO 12, 13 OG 14.	62
DIAGRAM 22: OVERORDNET FREKVENSSPEKTER FRA NÅR PROPELL- OG IMPELLERMOTOR GÅR MED 1,5 RPS. ØVERSTE DIAGRAM ER NÅR PROPELL ER MONTERT, MENS LAVESTE DIAGRAM ER NÅR HYLSEN ER MONTERT. SCENARIO 17 OG 37.....	65
DIAGRAM 23: OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTRENE NÅR PROPELL- OG IMPELLERMOTOR GÅR MED 1,5 RPS. FØRSTE DIAGRAM ER UTEN KAMERA OG LYS, ANDRE ER MED KAMERA OG SISTE ER MED KAMERA OG LYS. SCENARIO 17, 18 OG 19.....	66
DIAGRAM 24: OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTRENE VED SCENARIO 37, 38 OG 39.	67
DIAGRAM 25: OVERORDNET BILDE AV FREKVENSSPEKTER NÅR PROPELL OG HYLSE ER MONTERT. SCENARIO 24 OG 44.....	70
DIAGRAM 26: UTKLIPP AV FREKVENSSOMRÅDE 480-540 HZ VED SCENARIO 23 OG 43.....	71

DIAGRAM 27: UTVIKLINGEN AV 50 Hz GJENNOM DE ULIKE TESTSCENARIOENE	72
DIAGRAM 28: UTVIKLINGEN AV 300 Hz GJENNOM DE ULIKE TESTSCENARIOENE	73
DIAGRAM 29: UTVIKLINGEN AV 425 Hz GJENNOM DE ULIKE TESTSCENARIOENE	74

Tabeller

TABELL 1: TESTSPESIFIKASJONER TIL KAVITASJONSTUNELLEN. (CUSSIONS, 2011, s.7).....	26
TABELL 2: TEKNISKE DATA FOR PROPELL MONTERT I KAVITASJONSTUNELLEN.	27
TABELL 3: FREMSTILLING AV HVILKE KOMPONENTER SOM ER I BRUK OG IKKE VED DE GRUNNLEGGENDE MÅLINGENE	33
TABELL 4: FREMSTILLING AV HVILKE KOMPONENTER SOM ER I BRUK OG IKKE VED MÅLINGER MED KAVITASJONSTUNELLEN I DRIFT OG PROPELLEN ER MONTERT	35
TABELL 5: FREMSTILLING AV HVILKE KOMPONENTER SOM ER I BRUK OG IKKE VED MÅLINGER MED KAVITASJONSTUNELLEN I DRIFT OG HYLSEN ER MONTERT	36
TABELL 6: ANTALL MÅLESERIER TATT AV DE FORSKJELLIGE SCENARIOENE. DETTE ER GRUNNLAGET FOR GJENNOMSNIITTENE VÅRE.	38

1 Innledning

Lyd i fluidstrømmer har lenge vært et interessant tema for forskere innenfor hydroakustikk. Å kunne redusere støy i fluid har blant annet gitt en større forståelse i fysikken innenfor modelleringsmetoder. Det er komplekst hvordan svake forstyrrelser kan forplante seg over store avstander. (O'Brien og Michels, 2020, s.4).

I tillegg er lydforurensing en voksende utfordring som må tas høyde for i arbeidet med å ivareta livet i havet. Å redusere støy fra skipstrafikken er dermed et internasjonalt ønske. (Leaper, Renilson og Ryan, 2014, s. 50). I Forsvarssammenheng er det i tillegg et økende krav til akustisk signatur som militære fartøy sender ut, for ikke å bli detektert av fiendtlige fartøy og våpensystemer. Men hvilke forskningsmetoder har man for å undersøke støybildet fra forskjellige fartøyskomponenter?

Den største støykilden fra skip kommer fra propellere, maskineri og pumper. Et aktuelt prosjekt opp mot dette er utviklingen av stillegående propeller, et prosjekt både Forsvarets forskningsinstitutt (heretter omtalt som FFI) og Sjøforsvaret er med på å sponse. I forbindelse med dette gjøres det stadig forsøk knyttet til propeller. En relevant metode er å bruke kavitasjonstuneller hvor man kan foreta målinger på propell ved hjelp av hydrofoner.

1.1 Bakgrunn

Etter kurs om militær fartøyssignatur våren 2021 økte særlig vår interesse for akustisk signatur. Vi begynte dermed tidlig å diskutere muligheten for en bachelor med dette som tema. Å kunne utføre målinger og analyse av forskjellig type støy så vi på som viktig kunnskap i rollen som marineoffiserer med fordypning innen maskin og elektro.

Høsten 2021 skrev kadett Andersen en bacheloroppgave hvor han ville studere fenomenet *syngende propeller*. Som mål hadde han å fastslå hvilken effekt anti-syngekanter har for å fjerne uønsket støy fra propeller under drift, og om en anti-syngekant påvirker propellens ytelse. (Andersen, 2021, s. 9). Som en del av hans forskning forsøkte han å måle propellsynging med hydrofon i Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Han fikk imidlertid diskuterbare resultater og mente hydrofonen ikke ga entydige nok målinger til at han ville vektlegge lydmålingene i sin forskning. Vi må dermed gjøre tester opp mot både hydrofonen og mikrofonen vi skal bruke for å sjekke nøyaktigheten deres. Dette kan gjøres ved kontroll av hydrofon og analogsystem, som vi kommer nærmere inn på senere. Vi ser det og som en mulighet at Andersen hadde begrenset kunnskap om støybildet i maskinlaben, og derfor ikke hadde nok grunnlag til å sile ut og vurdere akustikken som tilhørte hans propellmålinger.

En stor utfordring rundt måling av lyd er støyen som skapes i omgivelsene rundt det faktiske måleobjektet. Det kan dermed være vanskelig å foreta korrekte målinger av det som det forskes på. Dersom støybildet på Sjøkrigsskolens maskinlab og kavitasjonstunell hadde vært kartlagt på forhånd hadde man muligens fått mer ut av Andersens målinger med hydrofon. Derfor har vi et ønske om å få kartlagt støybildet i og ved kavitasjonstunellen slik at vi kan gjøre det lettere, og mulig, for andre å gjøre hydroakustiske målinger på propellere på FHS Sjøkrigsskolen.

Med vår interesse for hydroakustiske signal og muligheten for måling og analyse av støy på Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell, falt beslutningen på en kartleggingsoppgave av egenstøyen i og ved Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Dette med et ønske om å legge til rette for kommende forskningsoppgaver som innebærer lydmåling.

1.2 Mål

Målsetningen for oppgaven er å kartlegge bakgrunnsstøyen i og ved Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Kartleggingen vil bestå av en rekke målinger med påfølgende analyse. Ved å gjøre dette tilrettelegger vi for fremtidig forskning på støy fra skalerte fartøyskomponenter som eksempelvis propeller.

1.3 Problemstilling

Kavitasjonstunellen på FHS Sjøkrigsskolens maskinlab står fastmontert i et konkret miljø, noe som medfører at det alltid vil være spesifikk egenstøy i omgivelsene rundt. Det kan dermed bli vanskelig å skille støyen i omgivelsene fra støy fra de faktiske måleobjektene.

For å oppfylle målsetningen beskrevet i 1.2, må vi dermed besvare følgende problemstilling:

Hvilken støy finnes i Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell, og hvor kommer den fra?

1.4 Avgrensninger

Denne oppgaven er en kartleggingsoppgave, hvor vi begrenser oss til en eksperimentell testmetode. Oppgaven er ikke datateknisk. Programmet vi bruker for lydbehandling er dermed utlevert av veileder, og vi kommer ikke til å gå dypt inn i hvordan det er bygd opp. Selv om vi kommer inn på kavitasjon, vil ikke dette være hovedvekten i oppgaven. Primærfokus er hvordan kavitasjon kan påvirke målinger, ikke hvilken type kavitasjon som oppstår.

Etter samtale med Forsvarsmateriell (heretter omtalt som FMA) kom det frem at det trolig ville komme interessante lyder opp mot 8 kHz. I oppgaven kommer vi til å benytte oss av en NEXUS Range of Conditioning forsterker. Denne har forhåndsinnstilte verdier for lavpassfiltre. For å kunne best mulig utnytte oss av forsterkerens innstillinger, samtidig som vi vil ha en samplingsfrekvens som er reell opp mot andre fartøy, velger vi en samplingsfrekvens på 30 kHz. Dette gir oss mulighet til å studere frekvenser opp til Nyquist-frekvensen på 15 kHz. Vi setter så cut-off grensen på lavpassfilteret på 10 kHz som er det næreste alternativet over det interessante området opp til 8 kHz. Dermed vil vi bare se om vi får utslag fra 0Hz-10 kHz, men samtidig forsikre oss mot aliasing av frekvenser rundt 15 kHz. Dersom det ikke er utslag over en viss frekvens ved noe scenario, kommer vi til å begrense oss enda mer. Vi forklarer både samplings- og frekvensfilterteori nærmere senere i oppgaven.

Våre resultater er bare basert på én propell. Resultatene kan gjerne være annerledes dersom andre propeller benyttes i kavitasjonstunellen. Dette gjelder det som går direkte på propellstøy. Støy fra propellmotor, impellermotor, vifter, high speed kamera, lyskastere og generell bakgrunnsstøy vil med større sannsynlighet være likt.

1.5 Metode

Fremgangen i oppgaven vil reflektere følgende tre faser:

Fase 1 – Dokumentstudier

For at vi skal kunne foreta korrekte målinger og analyser av egenstøyen i og ved kavitasjonstunellen trenger vi å bygge kunnskap og ferdigheter innenfor akustisk teori, måleteknikk, fasiliteter og instrumenter som vi skal benytte oss av. Herunder en forståelse for hvordan lyd fanges opp, hvilke utstyr vi trenger, hvordan vi benytter oss av analyseprogrammer, hva som kan påvirke målingene våre og hvordan vi kan analysere resultatene vi får på maskinlabben.

Som en del av denne fasen må vi også lage et oppsett vi skal bruke i neste fase, hvor vi skal foreta lydmålinger. I samarbeid med veileder må vi dermed finne ut hvilket program vi skal bruke for å få et mest mulig reelt resultat, samt hvordan vi skal plassere hydrofoner i kavitasjonstunellen.

Fase 2 – Kartlegging

Det skal gjennomføres en systematisk kartlegging av støy i FHS Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Gjennom systematiske målinger med hydrofon inne i kavitasjonstunellen skal det kartlegges et bilde av normalstøyen i og ved kavitasjonstunellen. I tillegg skal vi undersøke hvordan vi kan filtrere bort frekvensene vi fastslår som kjent støy.

Fase 2 er fullført når normalstøyen i og ved kavitasjonstunellen er kartlagt og grunnlaget er godt nok for å gjøre målinger på propeller i fase 3.

Fase 3 – Forsøk med propell og resultatanalyse.

Som nevnt under 1.1 Bakgrunn, skrev Andersen en bacheloroppgave hvor han ville studere fenomenet *syngende propeller* høsten 2021. Målingene med hydrofon viste seg imidlertid å være vanskelige å tolke. I denne fasen vil vi benytte oss av en propell som er fastmontert i kavitasjonstunellen og foreta akustiske målinger med denne. Dette for å forske på om det er mulig å hente en propells signatur når vi kjenner, og potensielt klarer å fjerne, støybildet i og ved kavitasjonstunellen. Her kommer vi til å sammenligne frekvensspektrene fra fase 2 med frekvensene vi får når vi kjører med propell. Vi kommer også til å se på muligheter for å filtrere bort frekvensene vi kjenner fra fase 2.

Etter denne fasen har vi forhåpentligvis klart å kartlegge støyen i og ved kavitasjonstunellen på FHS Sjøkrigsskolen. Klarer vi det, kan man senere måle fartøyskomponenters egenstøy effektivt.

1.6 Struktur

Oppgavens struktur og oppbygning vil hovedsakelig gjenspeile metoden gjennomgått i *1.5 Metode*. Først og fremst skal vi redegjøre for relevant og grunnleggende teori. Herunder hva akustikk er, hvordan det måles og utfordringer i forbindelse med støymåling.

Etterpå kommer vi til å ta for oss måleoppsett og dataprogrammer vi kommer til å benytte oss av. Dette for å gi de beste forutsetninger for kommende forsøk på akustikk i fremtiden. Her kommer vi inn på det prinsipielle om hvordan kavitasjonstunellen fungerer i drift og sammen med hydrofonen fastmontert til kavitasjonstunellen, i tillegg til hvordan programmene våre for lydmåling er satt opp.

I neste del skal vi foreta systematisk kartlegging av egenstøy fra Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Disse resultatene gir oss grunnlaget for videre analyse om hvordan man kan ta støymålinger i kavitasjonstunellen.

Avslutningsvis skal vi foreta støymålinger på propell i kavitasjonstunellen med bearbeiding og analyse. Dette vil vi se opp mot støyen vi har kartlagt i fase 2. Basert på våre funn vil vi komme med klare oppfordringer opp mot akustiske målinger i kavitasjonstunellen. Relevante resultater vil bli trukket frem i denne **oppgaven**, men dersom man vil ha et større innblikk i de resultatene vi har fått, kan man se dette i **vedleggene**.

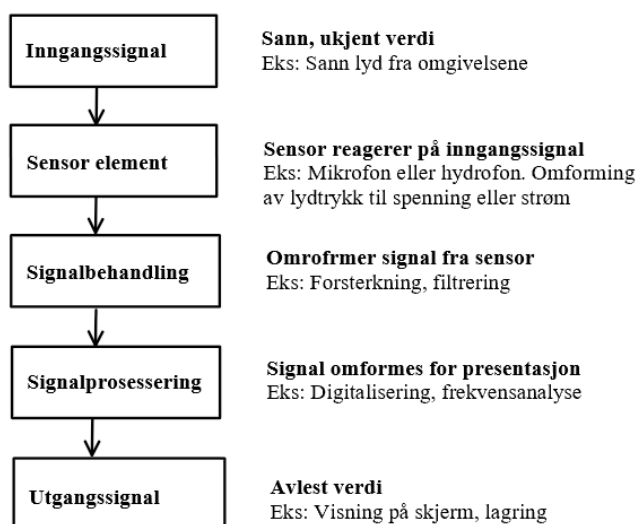
2 Teori

I denne delen av oppgaven gjennomgår vi først grunnbegreper innenfor akustiske målinger, før vi går nærmere inn på usikkerhet i målinger, sampling, frekvensanalyse, støy og testfasiliteter før påfølgende punkt 3 *Metode og måleresultater*.

2.1 Grunnbegreper

2.1.1 Målesystem

Et målesystem deles gjerne inn i en sensor/følingsselementer, et signalbehandlingsselement og en signalprosesserings- og/eller presentasjonselement. Hvilke hovedelementer vi har i et målesystem, med påfølgende eksempel kan du se i figur 1.

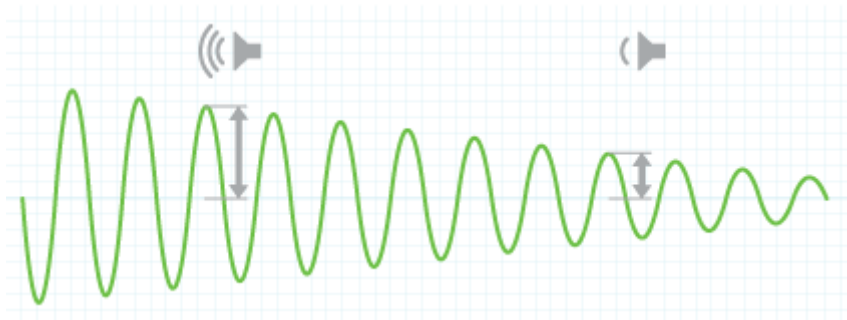


Figur 1: Hovedelementene i et målesystem med eksempel. (Jonsdittir, 2016, s. 20)

Vi skal nå gå mer inn på akustikk, analoge og digitale signal.

2.1.2 Akustikk

Akustikk er et fysisk fenomen bestående av vibrasjoner og utbredelse av disse i form av bølger som forplantes i alle typer materialer. Det kan dermed forstås som trykk i både luft, fluider eller faste materialer. I en trykkbølge i luft vil lufttrykket endre seg litt opp og ned i forhold til det vanlige trykket. Endringen kaller vi *lydtrykk*. (Tveita, 2012, s.67). Dette er tilsvarende i væske hvor væsketrykket vil endre seg.



Figur 2: *Lydtrykk som funksjon av tiden.* (Apple, 2022)

2.1.3 Analoge signaler

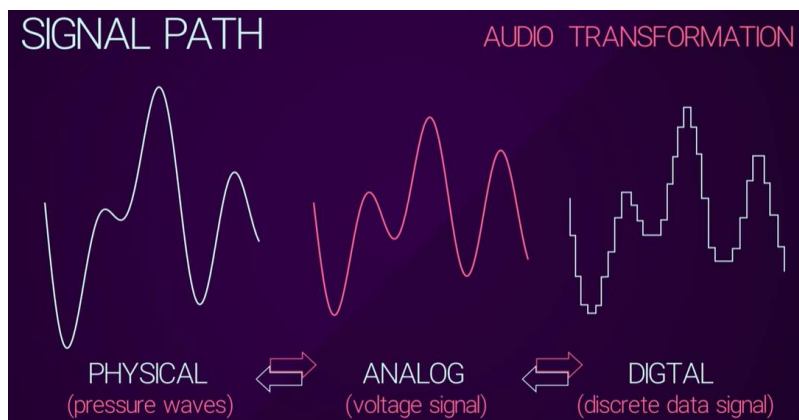
Analoge signaler er et kontinuerlig signal som viser hvordan en fysisk størrelse varierer med tiden. Når man har et kontinuerlig signal, vil grafen til signalet være sammenhengende. Av fysiske signaler har man eksempelvis temperatur, spenning, lydintensitet og trykk. Signaler omformes oftest til en elektrisk størrelse som eksempelvis spenning eller strøm. For å omgjøre den fysiske størrelsen *lydtrykk* til elektrisk spenning kan vi bruke en mikrofon. Lydtrykket får en piezoelektrisk krystall til å frigjøre ladninger som lager en variabel spenning (Tveita, 2012, s. 67). Grunnen til at man omgjør signalet til spenning er fordi spenning kan gå over lange avstander og er lett å bruke til signalbehandling. Det analoge signalet skapt av lydtrykk er dermed omgjort til et elektrisk analogt signal. I figur 3, kan du se omgjøringen av lydtrykk. Inngangssignalet er kontinuerlig, dermed er grafen sammenhengende.



Figur 3: *Omgjøring av lydtrykk til spenning. Grafen er en konsekvens av inngangssignalet* (Tveita, 2012, s. 67).

2.1.4 Digitale signaler

Analoge signaler inneholder verdier ved samtlige tidspunkt. Dette kan være problematisk ved lagring av signalet ettersom det inneholder uendelig mange signalverdier. Problemet kan løses ved å digitalisere signalet. Da tar vi vare på et tilstrekkelig antall signalverdier ved hjelp av *sampling*, som vi går videre inn på i del 2.2.



Figur 4: Fysisk, analogt og digitalt elektrisk signal (*Digital Audio Fundamentals*, 2020, 4:12)

2.2 Sampling

Sampling henger sammen med det engelske ordet *sample*, som betyr prøve, test eller eksempel. Ved sampling samles diskrete avlesninger av et analogt signal med et fast tidsintervall. Tidsintervallet kalles *samlingsperiode*, og er omvendt proporsjonal med *samlingsfrekvensen*. Se *Formel 1*. En sampling består dermed av en liste med *samlingsverdier* som er tatt med en kjent samlingsperiode. Videre kan dette enkelt lagres som en liste over diskrete variabler. Samplingsverdiene er binære digitale tall, og prosessen kalles en *analog-til-digital transformasjon*. (Van de Vegte, s 7 og 30)

$$\text{Samplingsfrekvens} = \frac{1}{\text{Samplingsperioden}}$$

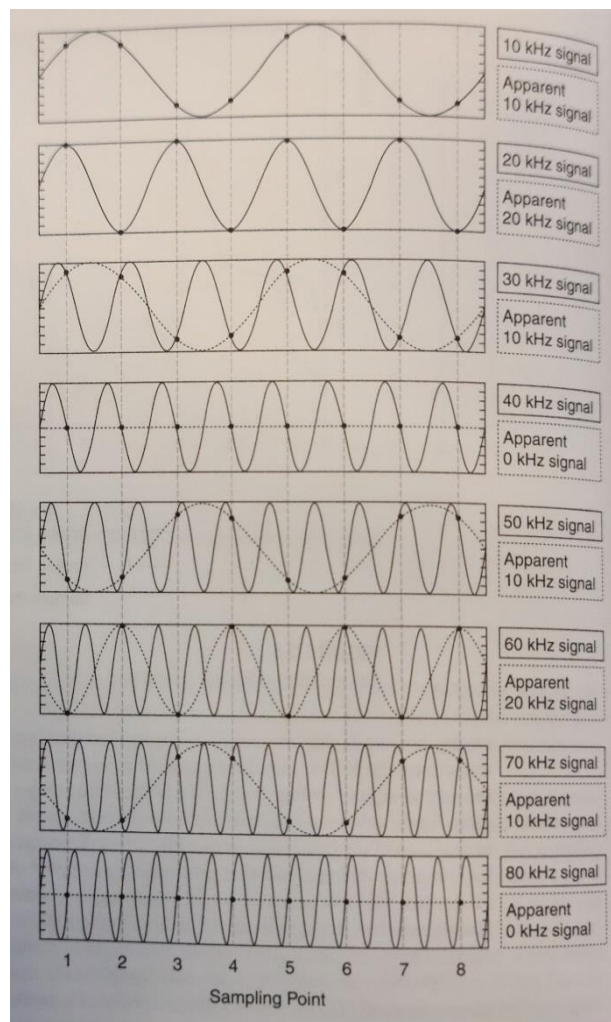
Formel 1: Relasjonen mellom samlingsfrekvens og periode

2.3.1 Nyquist samplingsteorem

Ethvert periodisk analogt signal kan skrives som en sum av sinusfunksjoner med frekvenser $n \times f_1$, ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$), hvor f_1 er grunnfrekvensen. Den høyeste sinus-frekvens som kan oppfattes korrekt ved samplingen, må ha 2 samplinger per periode. Den høyeste frekvensen i et analogt signal som kan oppfattes ved digitalisering, er halvparten av samlingsfrekvensen. Denne høyeste analoge frekvensen har navnet *Nyquist-frekvensen* (Nyquist frequency). Om vi derimot kjenner den høyeste analoge frekvensen vet vi at vi trenger minimum det dobbelte i samlingsfrekvens for å entydig digitalisere signalet. Den laveste samlingsfrekvensen for et gitt signal kalles *Nyquist-raten* (Nyquist rate). Spekteret mellom 0 Hz og Nyquist-frekvensen har fått navnet *Nyquist-spekteret* (Nyquist range). Spekteret kan samples entydig med den gitte samlingsfrekvensen. (Joyce Van de Vegte, 2002, s. 30)

2.3.2 Aliasing og undersampling

Dersom vi tar en sampling av en lydbølge med frekvens utenfor Nyquist-spekteret vil signalet fanges opp som et alias av seg selv. I *figur 5* ser vi hvordan undersampling gir illusjonen av en lavere frekvens enn hva som fysisk er til stede.



Figur 5: Aliasing ved samplingsfrekvens 40 Hz (Van de Vegte, 2002, s. 34)

Vi kan benytte oss av *Formel 2* for å beregne hvordan Aliassignalet vil komme til syne. Når vi kjenner denne formelen, kan vi skille aliassignaler fra opprinnelige signaler. Ved å endre samplingsfrekvensen kan vi skille aliassignaler fra reelle signaler. Når vi endrer samplingsfrekvensen vil aliassignalet forflytte seg, mens det reelle signalet vil forbli.

$$\text{Aliassignal} = N \cdot \text{Samplingsfrekvens} \pm \text{Signalfrekvens}, N = \pm(0, 1, 2, 3, \dots)$$

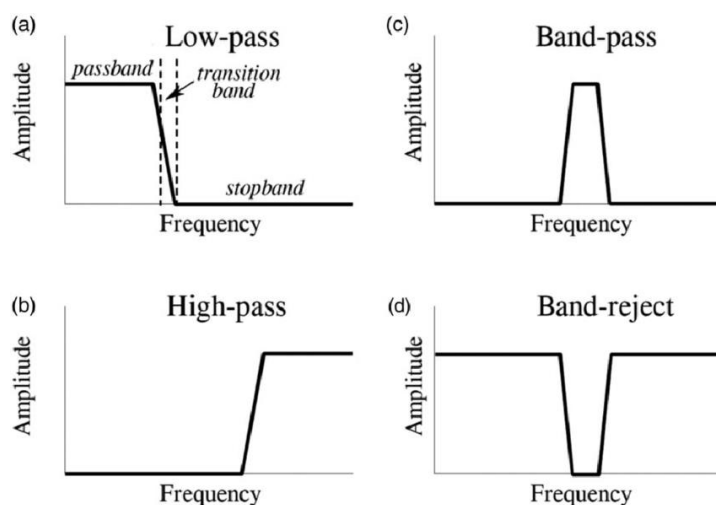
Formel 2: Aliassignal

Dersom vi eksempelvis gjennomfører en sampling med samplingsfrekvens 40 Hz og det registreres et signal på 10 Hz kan dette både være et reelt 10 Hz-signal eller et alias fra et 30 Hz-signal. Dersom vi øker samplingsfrekvensen til 50 Hz vil et alias for 30 Hz flyttes opp til 20 Hz, mens et reelt 10 Hz-signal vil forbli på 10 Hz. (Van de Vegte, s. 33)

Hvis vi ikke har tilgang på høye nok samplingsfrekvenser, kan vi utnytte aliassignalet og aliasformelen til å resonere oss frem til signalfrekvensen. Vi er da avhengig av å vite hvilke intervall signalfrekvensen ligger i som for eksempel [60 kHz, 70 kHz].

2.3.3 Frekvensfiltre

Frekvensfiltre har til hensikt å filtrere ut frekvensområder som ikke er av interesse. Dette for å kunne bruke kapasitet på det interessante frekvensområdet samt hindre at aliasfrekvenser forstyrrer det opprinnelige bildet. Det finnes flere ulike typer filtre. De vanligste er lavpassfilter, høypassfilter, båndpassfilter og båndstoppfilter. I våre målinger kommer vi til å benytte oss av et lavpassfilter i forsterkeren.



Figur 6: Frekvensfiltre (Obeid, Khettab, Marais og Boutouyrie, 2017).

Lavpassfilter blir ofte brukt som et analogt antialiasingfilter i forkant av samplingen. Filteret fungerer slik at det setter en demper på frekvenser høyere enn en bestemt cutoff-frekvens. Denne dempingen går gradvis ned til tilnærmet null over overgangsområdet (transition band i *Figur 6*), i dette frekvensområdet er det kun deler av amplituden som blir stanset. Det er dermed viktig å være klar over at det kan forekomme forstyrrelser rundt frekvensgrensen på filteret og vi bør derfor sette cut-off filteret lavere enn Nyquist-frekvensen. Et *høypassfilter* har samme

virkemåte, men slipper istedenfor kun gjennom frekvenser med høyere frekvens enn cutoff-frekvensen.

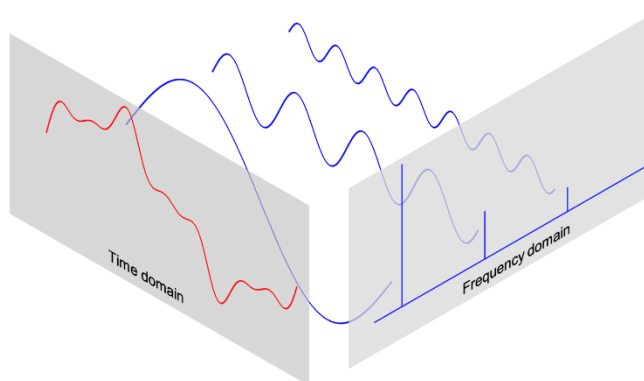
Det finnes også kombinasjoner av lavpassfilter og høypassfilter, disse kalles *båndstopppfilter* og *båndpassfilter*. Disse kan enten være av smalband eller bredband, og settes opp på en slik måte at kun et avgrenset frekvensområde stoppes, eller at det gitte frekvensområdet får passere videre til mottaker. Også her er det viktig å være klar over påvirkningen av overgangsområdene.

2.3 Frekvensanalyse – Fourier Transformasjon

Lydbilder vi hører rundt oss i hverdagen består svært sjelden av kun en frekvens. Rene frekvenser forekommer kun i rene toner, for eksempel 440 Hz som gir lyden av tonen enstrøken A. Lyder vi omringes av i det daglige er dermed vanligvis en sum av svingninger med mange frekvenser, og dermed kan det gjennomføres en frekvensanalyse for å finne ut hvilke frekvenser signalet faktisk består av. Frekvensanalyse er en metode for å finne de delsvingningene som en sammensatt svingning inneholder (Sandstad & Johnsen, 2018).

I en frekvensanalyse ønsker vi å dekomponere signalet vi får inn. Vi oppfatter lyd i *tidsdomenet* som en bølge sammensatt av flere frekvenser. Det finnes flere metoder for å analysere et signal, men det er flere ganger bevist at Fourieranalyse totalt sett er den beste metoden og er dermed også den mest brukte. (Haykin, 1983, s. 6)

Ved hjelp av Fourieranalyse representeres signalet som sinusformede komponenter. Dette skaffer oss et bilde av frekvensspekteret fremstilt i *frekvensdomenet*. I *Figur 7* ser vi hvordan lydbildet i tidsdomenet dekomponeres til sinusformede komponenter som deretter gjenspeiles i frekvensdomenet. I frekvensdomenet vises amplituden av de gitte frekvensene som en høyde på y-aksen.



Figur 7: Trassformasjon mellom tidsdomenet og frekvensdomenet (Kong, Siau, & Bayen, 2020)

2.4 Usikkerhet i målinger

Ved alle målinger vil det være en grad av usikkerhet. Kildene kan være mange, men for å nevne noen kan det komme av ufullstendig kontroll av instrumenter, ufullstendig kunnskap om tema og dens påvirkning og variasjon av avlest verdi ved flere målinger av samme målesituasjon. Det er viktig å være klar over kildene til usikkerhet når vi senere skal foreta en analyse, og i den sammenheng introduseres noen begrep. (Jonsdottir, 2016, s. 28)

2.4.1 Presisjon

Med presisjon menes evne til å få samme verdi når en måling gjentas med samme målesituasjon. (Jonsdottir, 2016, s. 29)

2.4.2 Nøyaktighet

Nøyaktigheten sier noe om grad av samsvar mellom verdier vi måler, og verdien til en fysisk størrelse. (Jonsdottir, 2016, s. 29)

2.4.3 Oppløsning

Oppløsning er evnen til å gjengi målt verdi nøyaktig, og er en egenskap måleinstrumentet har. (Jonsdottir, 2016, s. 29)

2.4.4 Forventning

Forventning defineres som en sum av diskrete variabler og som et integral for kontinuerlige variabler. Det forstås som en forventet verdi i fordelingen til variabelen. Den ukjente verdien vi søker omtales som *parameter*. (Jonsdottir, 2016, s. 29). Vi kan beregne forventningen av en tilfeldig variabel (X) ved å multiplisere hver mulig verdi (x) av variabelen med sannsynligheten (p) for at verdien opptrer.

2.4.5 Varians

Variansen er et mål på spredning og gjelder variansen til en stokastisk variabel, altså en tilfeldig variabel. Når variabelen vi har er diskret, defineres variansen som en sum. Dersom variabelen er kontinuerlig defineres den som et integral. (Jonsdottir, 2016, s. 31)

2.4.6 Standardavvik

Standardavviket er et mål på spredningen og defineres som kvadratroten av variansen.

2.4.7 Usikkerhet

Det er to forskjellige måter å anslå usikkerhet på, type A og type B. For en A-usikkerhet har man gjentatte målinger slik at gjennomsnitt og standardavvik kan beregnes for resultatet av målingene. Ved B-usikkerhet har man ikke gjentatte målinger og det baseres mer på antakelser og/eller kunnskap om variasjon i variabelen. (Jonsdottir, 2016, s. 39)

2.5 Støy

For et skip er støysignatur summen av all støy skipet forplanter ut i vannmassene. Støyen vil være unik for hvert skip, og avhenger av hvilket maskineri skipet har. Generelt sier vi at hovedkilden til hydroakustisk støy fra skip kommer fra propellen og maskineriet ombord. (Renilson, 2014, s.52-53)

Dersom en komponents lyd er 10dB høyere enn andre støykomponenter med samme frekvens, anses de andre komponentene som irrelevant ettersom de blir overdøvet (Renilson, 2014, s.52-53). For de fleste skip kan det skje kavitasjon på propellene. Denne lyden vil i et stort frekvensområde vises som mest markant. Foruten om kavitasjonslyd har vi og ikke-kavitasjonslyd. I tillegg må generell bakgrunnsstøy tas høyde for ved akustiske målinger i anlegg.

2.5.1 Bakgrunnsstøy i anlegg

For målinger på maskinlaben ved Sjøkrigsskolen må en ta høyde for bakgrunnsstøyen som kan ha innvirkning på målingene våre. Sensorer og forsterkere kan eksempelvis plukke opp elektrisk støy som endrer signalverdiene og gir falske utslag i lydspekteret.

Elektrisk støy kjennetegnes som uønskede variasjoner i strøm og spenning. Den opptrer sammen med elektriske signaler i overføringslinjer, forsterkere, måleutstyr og apparater for signalbehandling og signalomforming. (Store norske leksikon, 2022). Slik elektrisk støy er et vanlig fenomen i alle store kommersielle bygninger og kontorbygg og oppstår når man eksempelvis likeretter strøm. Slike anlegg er vanligvis forsynt av en trefase forsyningskjede. Internt er spenningsfordelingen og belastningen enfaset mellom en av tre linjespenninger og nøytralpunkt. Ved lineære belastninger, er alle faser identisk belastet. Er belastningen ikke-lineær kan det oppstå overharmoniske strømmer og spenninger. Dette kan komme fra elektronisk utstyr som

trekker en likerettet strøm som eksempelvis en datamaskin, en forsterker, Pc-skjerm, datamaskinvifte m.fl. (Mohan, Undeland & Robbins, 1995, s.101)

Det elektriske anlegget på maskinlabben er 50 Hz. Når vi tar målinger kan denne komme til syne som en fremtredende frekvens. I tillegg er det ikke alle vifter vi kan skru av, og som dermed kan påvirke det totale lydbildet. Nede i kavitatsjonstunellen er det også andre komponenter som vi må ta høyde for. Kavitatsjonstunellen brukes for eksempel i kombinasjon med lamper, high speed kamera og datamaskiner med elektriske kjølevifter. Dette er tre forhold som kan påvirke det totale lydbildet, som elektrisk eller akustisk støy, og som dermed må tas høyde for.

2.5.2 Ikke-kavitatsjonslyder

Ikke-kavitatsjonslyder knyttes opp mot strømming rundt propellblader og variasjoner i kjølvannet. Dette fører videre til variasjon i angrepsvinkelen til bladet. (O'Brien. P og Michels. R, 2021, s. 4). Generelt sett vil lyden som kommer uten kavitatsjon, variere i et vidt spekter av frekvenser, alt fra mellom 20 Hz til 20 000 Hz, som er frekvenser mennesket kan høre, til enda høyere frekvenser.

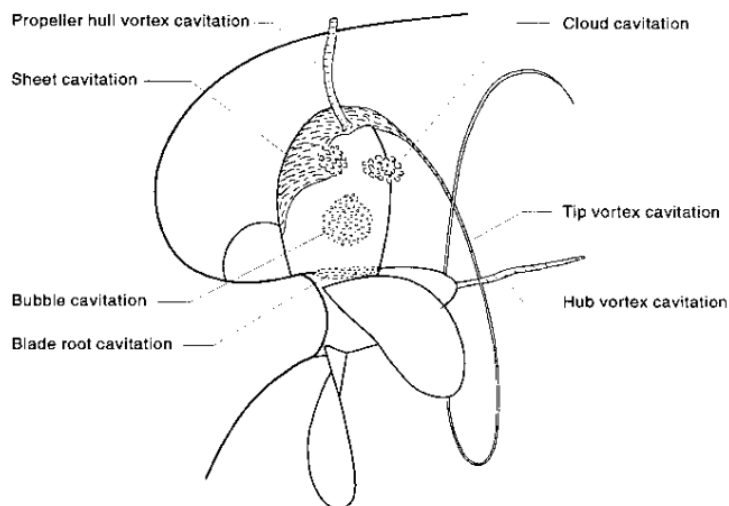
Under ikke-kaviterende forhold deles marin propellstøy i to fenomener: *Hydroakustisk fenomen* og *vibrasjons-akustisk fenomen*. Med det hydroakustiske fenomenet menes lyden som kommer fra propellbladets hastighet, turbulenslyden fra innstrømmingen, direkte støy fra det turbulente grensesjiktet og bakkantstøy. De tre sistnevnte viser høye frekvenser, mens de to førstnevnte viser lave frekvenser. Vibrasjons-akustisk fenomen forstås som lyden fra hvilken modus bladet har og propellsynging. Begge viser middels store frekvenser. (O'Brien. P og Michels. R, 2021, s. 7)

2.5.3 Kavitatsjonslyder

Kavitatsjon er dannelsen av gassbobler i en væske på grunn av lokalt undertrykk som midlertidig synker til under damptrykket, p.. Det oppstår dermed gassblærer som kolliderer nesten umiddelbart under dynamiske forhold. Gassblærene er som regel meget små og bidrar til mye støy og erosjon (Breslin, 1996, s. 128).

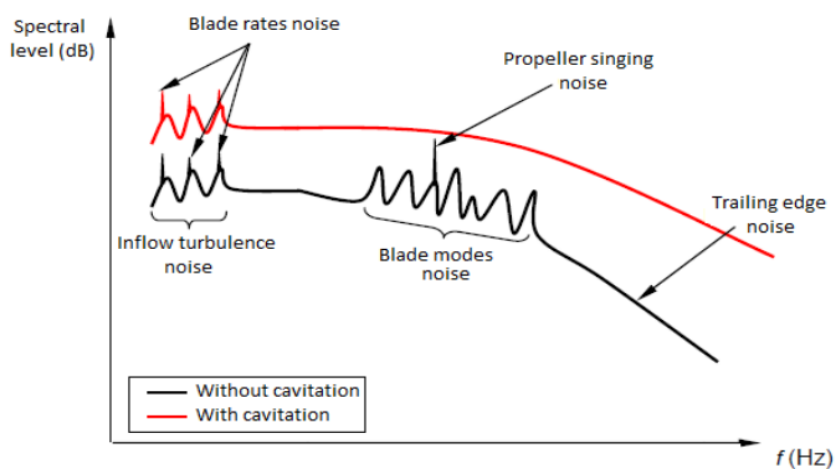
Kavitatsjon vil dominere støybildet og dermed den akustiske signaturen til et skip drastisk. Vi skiller som regel mellom tre forskjellige typer kavitatsjon; Sheetkavitatsjon, tipkavitatsjon og

hylsekavitasjon. Figur 8 viser hvordan de ulike kavitasjonene forekommer. Mens sheetkavitasjonen konsentrerer seg på undertrykksiden av propellbladene, vil vortexkavitasjonen opptre mellom propellen og omgivelsene som tipkavitasjon eller hylsekavitasjon.



Figur 8: Kavitasjonstyper (ITTC, 2014, s.3)

I figur 9 kan du se lydspekteret for marine propeller både for kaviterende og ikke-kaviterende lyder. Som beskrevet vil lyd basert på bladets hastighet (Blade rates noise) gi en lav frekvens, mens bakkantstøy (trailing edge noise) vil gi en høy frekvens. I tillegg ser vi på den røde streken at lydbildet endrer seg dersom det oppstår kavitasjon. Lyden får høyere lydstyrke, som videre fører til en høyere akustisk signatur.



Figur 9: Lydspekter for marine propeller. Figuren viser for både med og uten kavitasjon (O'Brien, P og Michels, R, 2021, s. 7)

2.6 Testfasiliteter

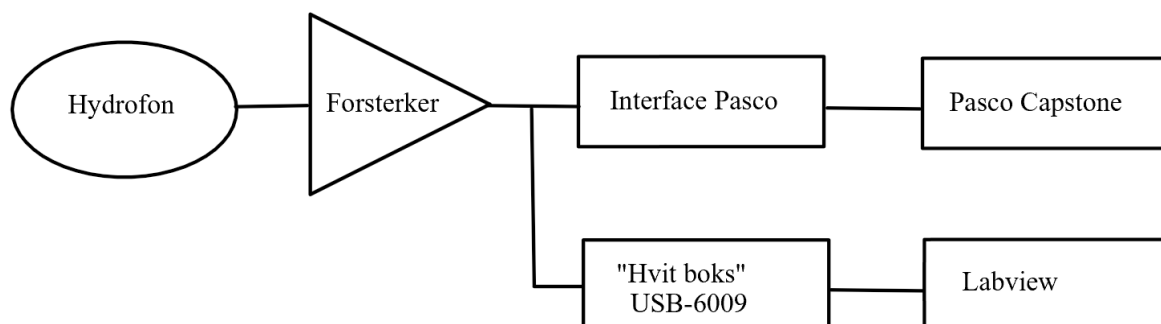
Her går vi igjennom testfasilitetene vi har og generelle prinsipper for lydmåling på lab.

2.6.1 Prinsipielt oppsett

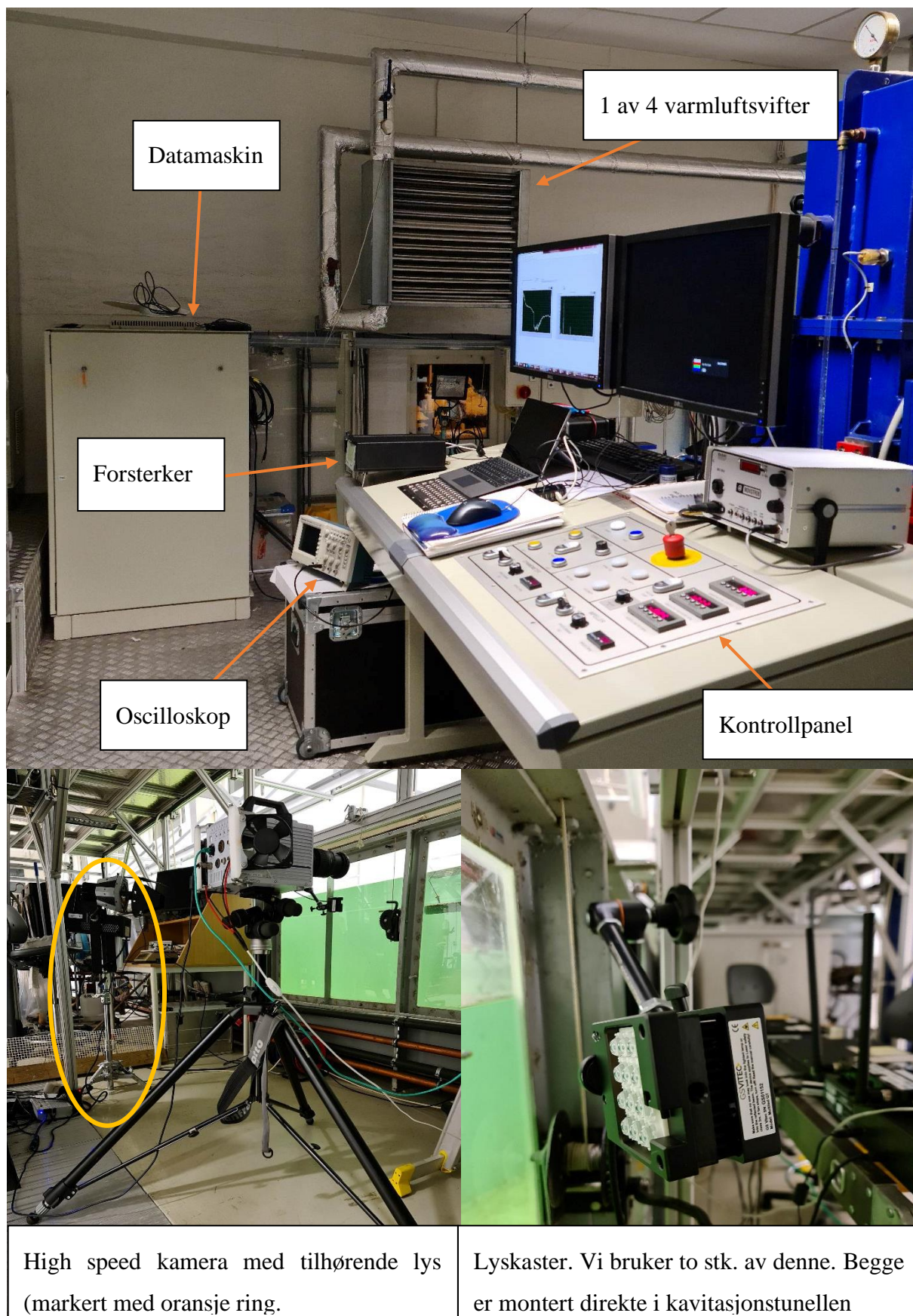
Hydrofonen vi benytter oss av er en pizelektrisk krystall. Når krystallen utsettes for en trykkvariasjon fra en lydbølge vil hydrofonen frigjøre en ladning som er proporsjonal med trykkvariasjonen. Ladningen omformes deretter til et spenningsignal ved hjelp av en forsterker. Type forsterkning kan vi selv velge. Signalet går videre inn på en analog inngang til eksempelvis Pasco interface hvor signalet digitaliseres i en AD-omformer (Analog til digitalomformer). Digitalverdiene overføres via en USB-kabel til en PC, og videre inn i et dataprogram som fremstiller spenningssignalet grafisk ved hjelp av frekvensanalyse.

Det er flere forskjellige program vi kan bruke. Et alternativ er Pasco interface etterfulgt av Pasco Capstone for grafisk fremstilling. Et annet alternativ enn Pasco er å bruke «Hvit Boks» National instruments USB-6009 og LabVIEW for analyse og grafisk fremstilling av signalet. Hvilken vi bruker avhenger av nøyaktigheten vi får når vi tar målinger. LabVIEW kan i større grad justeres slik at vi kan gjøre mer nøyaktige målinger, ettersom en kan tilpasse programmet ut ifra det man skal forske på.

I figur 10 kan du se det prinsipielle oppsettet vi bruker for å måle akustikk. Videre kan en se bilder av diverse utstyr i figur 11. Her ser vi blant annet bilde av lyskasterer og high speed kamera som ofte brukes i tilknytning til kavitasjonstunellen. Lyskasterne og high speed kameraet med tilhørende lys er i bildet ikke plassert ved måleseksjonen, men er tatt med for å illustrere hvordan komponentene ser ut.



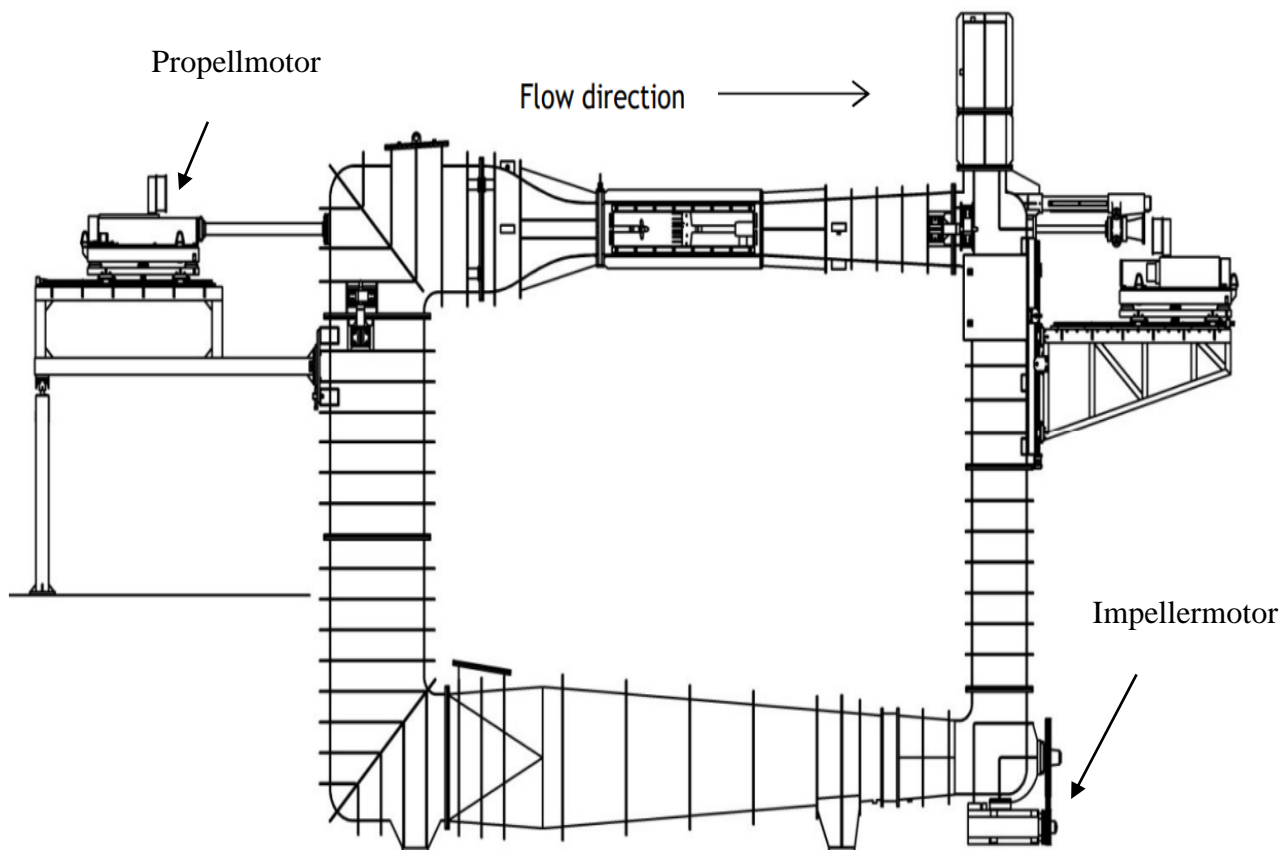
Figur 10: Prinsipielt oppsett for akustiske målinger



Figur 11: Bilder av måleoppsett og komponenter

2.6.2 Kavitasjonstunellen

Skolens kavitasjonstunell er av typen K23 og er levert av *Cussions Tecknology ltd*. Tunellen har utskiftbar teststasjon og er av medium størrelse. I figur 12 kan du se en prinsippskisse av tunellen. Her har vi illustrert hvor propell- og impellermotoren sitter. For å illustrere kavitasjonstunellens målestokk har vi i figur 13 tatt et bilde av en person med kavitasjonstunellen og dens måleseksjon. I tabell 1 ser du tunellspesifikasjoner relevant opp mot forsøk.



Figur 12: Prinsippskisse av Kavitasjonstunellen på FHS Sjøkrigsskolen. Tunellen er av typen K23. (Cussions, 2011, s. 5)



Figur 13: Bilde av en person ved kavitasjonstunellen og dens måleseksjonen. Bare måleseksjonen er 650 mm bred x 350 mm høy. Tunellen i seg selv strekker seg over tre etasjer. Personen er 1,63 m.

Tunellspesifikasjoner under forsøk

Måleseksjon	650 mm bred x 350 mm høy
Maksimal vannhastighet (V_A)	4,64 m/s
Undertrykkskapasitet	$P_{abs} \approx 30$ kPa
Impeller effekt	15 kW
Propelleffekt	9,2 kW
Propellens turtall	0-50 rps

Tabell 1: Testspesifikasjoner til kavitasjonstunellen. (Cussions, 2011, s.7)

2.6.3 Propell og hylse

Propellen montert i kavitasjonstunellen er en modifisert Waageningen B-serie propell med 4 blader. Propellen brukes ofte i sammenheng med øvinger relatert til kavitasjon på propellere. Bilde av propellen er illustrert i figur 14, med påfølgende teknisk data som kan ses i tabell 2.



Figur 14: Bilde av propellen montert i kavitasjonstunellen

Hva	Størrelse	Benevning
Diameter	0.2	m
B.A.R, Bladsarealsforhold	0.6084	
A₀, Totalt bladsareal	0.0314	m ²
Korde 0.7R	0.0744	m
Pitch 0.7R	200.91	mm

Tabell 2: Tekniske data for propell montert i kavitasjonstunellen.

Hylsen vi bruker for å erstatte propellen er avbildet i figur 15. Den har samme egenvekt som propellen slik at akslingen belastes likt. Hylsen er et hjelpemiddel vi benytter for å finne ut hvilken støy som kommer fra propellen. Områdene vi får utslag i når propellen er montert kan antas å være direkte knyttet til propellstøy.



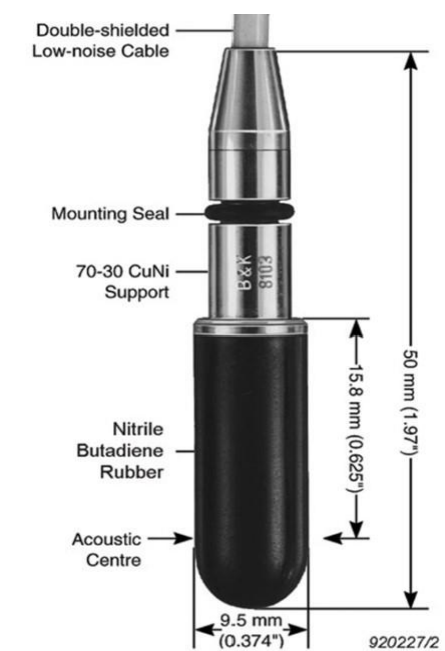
Figur 15: Bilde av hylsen som monteres istedenfor propellen.

2.6.4 Hydrofon

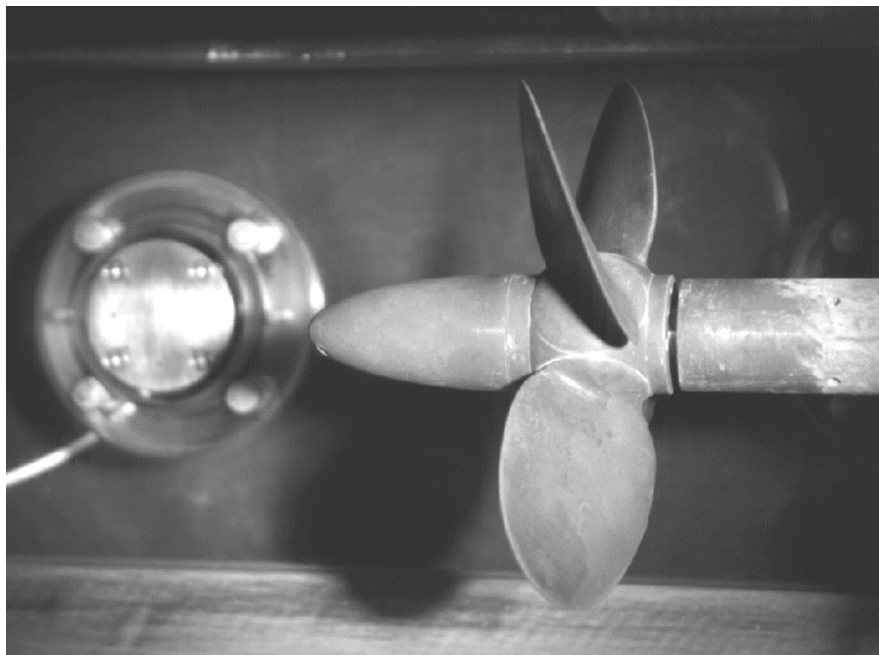
For målingene våre kommer vi til å benytte oss av en hydrofon fastmontert inne i kavitasjonstunellen. Vi vurderte muligheten for å bruke en mikrofon på utsiden av tanken for å sammenligne støyen utenfor tanken med det som fanges opp med hydrofonen. Vi valgte imidlertid å kun bruke hydrofonen da det er svært krevende å få til fullstendige samtidige målinger som er nødvendig for å kunne sammenlikne frekvensspektrene med respektive amplituder. Dette ville også gitt en større datamengde å bearbeide og lagre, noe som kunne gitt utfordringer senere i prosessen.

Hydrofonen er plassert i et hydrofonkammer i måleseksjonen i kavitasjonstunellen. Denne kan brukes til lytting, opptak og analyse av de lydene som sendes ut fra testobjektet i tunellen. Hydrofonkammeret er montert med et skille fra resten av tunellen som gjør at kammervannet ligger i ro slik at ikke vannstrømning påvirker hydrofonen direkte. Lyd som kommer fra gjenstander i det strømmende vannet forplantes gjennom til det stillestående vannet i hydrofonkammeret. Hydrofonen fanger opp lyden med minimalt forstyrrelser fra strømningsstøy, slik som den hadde gjort dersom den var plassert direkte i det strømmende vannet. Den er designet for å fange opp fra 1 Hz til 100 kHz.

Hydrofonen er av typen 8103 og er en liten piezoelektrisk transduser. Den er designet for høyfrekvent laboratorie- og industribruk, og er spesielt nyttig i akustiske studier for kavitasjonsmåling. Dimensjonering av hydrofonen kan ses i figur 16, etterfulgt av hydrofonens plassering i figur 17.



Figur 16: Dimensjonering av hydrofonen plassert i kavitasjonstunellens hydrofonkammer



Figur 17: Bilde av hydrofonens plassering i kavitasjonstunellen. Bildet er tatt med high speed kamera

2.6.5 Forsterkeren

I hydrofonen oppstår det meget lave elektriske signaler som et resultat av trykket hydrofonen er utsatt for. Dette elektriske signalet er såpass lavt at det er nødvendig med en meget presis mottaker for å skille variasjonene. En forsterker er et hjelpemiddel som kan forsterke energinivået til et signal samtidig som forvrengninger av signalet holdes til et minimum. For å kunne synliggjøre signalene vi får fra vår hydrofon sendes signalene gjennom forsterkeren, som i dette tilfelle er en NEXUS Range of Conditioning forsterker. Bilde av forsterkeren kan ses i figur 18.



Figur 18: Bilde av forsterkeren vi bruker til lydmåling

Forsterkeren i figur 18 har forskjellige funksjoner, blant annet muligheten til å legge inn filter på signalene. Det er mulig å legge inn et lavpass- eller høypassfilter, for å avgrense samplingsområdet. En annen mulighet er å sette på båndstopp og båndpassfiltre dersom det er ønskelig å se på bestemte områder eller filtrere bort et bestemt frekvensområde. Her er det i så fall viktig å være kjent med overgangsområdets påvirkning som nevnes i avsnitt 2.3.3.

Figur 19 viser de mulige innstillingene til lavpassfiltrene på forsterkeren. Vi tar utgangspunkt i valgalternativene under «Microphone (kHz)» ettersom denne indikerer hvilke cutoff-frekvenser som er mulige ved lavpassfilter på en mikrofon/hydrofon, og *charge input* er input for andre typer sensorer. Vi har valgt å sette lavpassfilteret med en cutoff på 10,0 Hz. Grunnen til dette er at vi forventet utslag av interesse opp mot 8 kHz etter samtale med FMA. Vi ønsket også å forsikre oss om at overgangsområdet ikke kom i konflikt med Nyquist-frekvensen som ville gitt grunnlag for aliasing. Med samplingsfrekvens på 30 kHz ble da cutoff-frekvens på 10,0 kHz høyeste mulige valgalternativ som befinner seg under Nyquist-frekvensen.

Charge Input (kHz)	Microphone (kHz)	Intensity (kHz)	DeltaTron (kHz)
0.1	0.1		0.1
1.0	1.0		1.0
3.0	3.0		3.0
10.0	10.0	22.4	10.0
22.4	22.4		22.4
30.0	30.0		30.0
100.0	100.0		100.0

Figur 19: Innstillinger på lavpassfilter (Brüel & Kjær, 2007, s.22)

Forsterkningen kan justeres ut ifra hva vi måler. Når vi eksempelvis måler bakgrunnsstøyen ved kavitatsjonstunellen kan det være nødvendig med en høyere forsterkning slik at man bedre kan analysere signalene som kommer fra hydrofonen. Dette er fordi hydrofonen er inne i kavitatsjonstunellen og ikke i direkte kontakt med alle elementene som er i luften utenfor. Med dette menes eksempelvis støy fra ventilasjonsvifter, datavifte, lys og kamera. Det kan dermed være hensiktsmessig å sette en høyere forsterkning når vi skal ta målinger på det utenfor kavitatsjonstunellen. Når vi setter på andre elementer som impelleren (regulerer vannstrømningen) og selve propellen kan det være hensiktsmessig å sette ned forsterkningen igjen slik at forsterkeren ikke går i metning. Dersom vi justerer forsterkningen er det viktig at vi noterer det ned for hvert forsøk.

I figur 20 kan en se de ulike forsterkningsmulighetene vi kan velge mellom. Dersom vi har en lav forsterkning i forhold til lyden som kommer er det fare for at relevante signal ikke fanges opp. Det er dermed ønskelig med størst mulig forsterkning uten at forsterkeren går i metning. Vi har valgt 1 V/Pa når kavitasjonstunellen ikke er i drift, mens 100 mV/Pa når den er i drift.

Charge	Microphone	Intensity	DeltaTron®	Total Gain in NEXUS
100 mV/ms ⁻²				
316 mV/ms ⁻²	100 mV/Pa	100 mV/Pa	100 mV/V	-20 dB
1.00 V/ms ⁻²	316 mV/Pa	316 mV/Pa	316 mV/V	-10 dB
3.16 V/ms ⁻²	1.00 V/Pa	1.00 V/Pa	1.00 V/V	0 dB
10.0 V/ms ⁻²	3.16 V/Pa	3.16 V/Pa	3.16 V/V	10 dB
31.6 V/ms ⁻²	10.0 V/Pa	10.0 V/Pa	10.0 V/V	20 dB
100 V/ms ⁻²	31.6 V/Pa	31.6 V/Pa	31.6 V/V	30 dB
316 V/ms ⁻²	100 V/Pa	100 V/Pa	100 V/V	40 dB
1.00 kV/ms ⁻²	316 V/Pa	316 V/Pa	316 V/V	50 dB
3.16 kV/ms ⁻²	1.00 kV/Pa	1.00 kV/Pa	1.00 kV/V	60 dB
10.0 kV/ms ⁻²	3.16 kV/Pa	3.16 kV/Pa	3.16 kV/V	70 dB
(31.6 kV/ms ⁻²)	10.0 kV/Pa	10.0 kV/Pa	10.0 kV/V	80 dB
	(31.6 kV/Pa)	(31.6 kV/Pa)	(31.6 kV/V)	90 dB

Figur 20: Forsterkningsmuligheter på NEXUS Range of Conditioning (Brüel & Kjær, 2007, s.23)

2.6.6 Pasco Capstone

Pasco Capstone er et program hvor vi kan analysere diverse fysiske fenomener som lys, temperatur, lyd og tyngdekraft, m.fl. Ved hjelp av sensorer kan vi måle verdier for forskjellige størrelser før de fremstilles grafisk i programmet. Pasco gir muligheter for å måle med flere sensorer samtidig og dermed sammenligne de forskjellige signalene opp mot hverandre. Programmet foretar også frekvensanalyse.

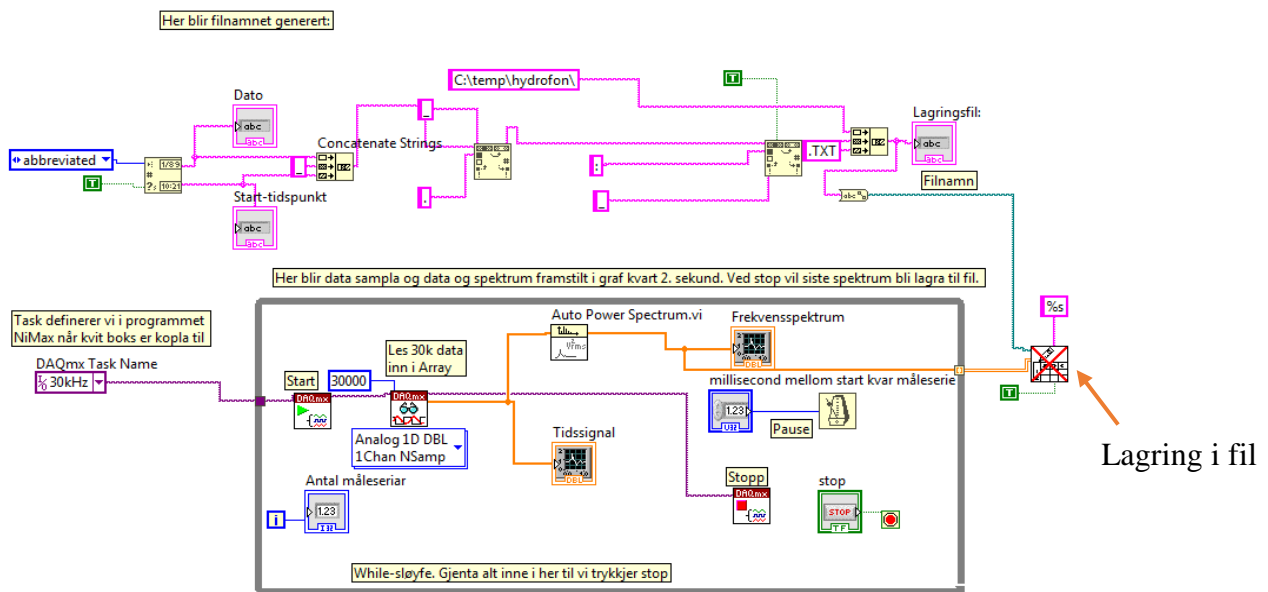
2.6.7 LabVIEW

LabVIEW er et grafisk programmeringsmiljø hvor man kan utvikle automatiserte forsknings-, validerings- og produksjonstjenestesystemer. Ved hjelp av LabVIEW kan vi dermed lage et program som måler lyd på de premissene vi trenger at det gjør.

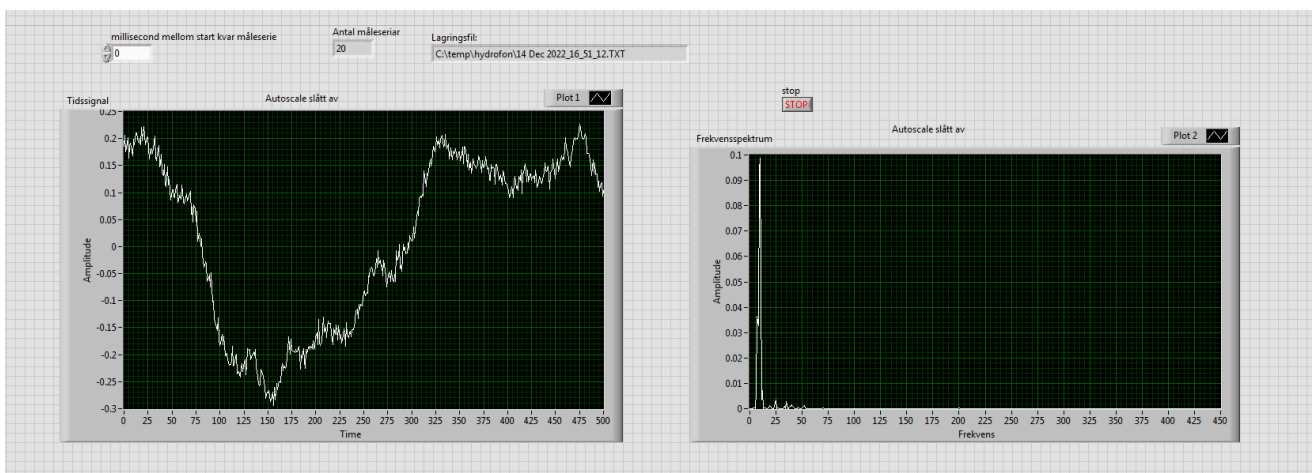
Ettersom dette ikke er en datateknisk oppgave kommer vi ikke til å gå inn på programmeringen som ligger bak programmet. Som du kan se i figur 21, har vi fått utdelt et LabVIEW-program fra veileder. Helt overordnet består programmet av to deler; en del hvor filnavnet skapes, og en del hvor signalet kommer inn, samples og fremstilles grafisk etter frekvensanalyse.

Ut ifra hva vi ønsker programmet skal kunne gjøre, kan vi foreta små endringer som eksempelvis hvilken samplingsfrekvens vi skal sample på.

I figur 21 og 22 kan en se programmet LabVIEW med påfølgende display vi får opp. Programmet utfører fouriertransformasjon av signalene vi får inn, fremstiller resultatene grafisk og lagrer til fil. Her er programmet stilt for samplingsfrekvens 30 kHz, der hver måleserie er på 1 s. Vi kjørte 20 måleserier i løpet av 40 s før lagring av fil. Nederste bilde er displayet vi får opp i programmet hvor vi kan følge med på signalene før de omgjøres til frekvenser ved hjelp av Fourier transformasjon.



Figur 21: Programmet i LabVIEW.



Figur 22: Øyeblikksbildet vi ser i LabVIEW mens målingene kjører.

3 Metode og forsøksresultater

Denne delen tar for seg gjennomføring og resultater av målingene i og ved kavitasjonstunellen.

3.1 Forsøksdesign

I 2.6 gikk vi igjennom komponentene vi har brukt i oppgaven vår. Vi kommer nå til å gå inn på hvordan vi har gjort målinger, og ulike hensyn vi må huske på.

3.1.1 Mål og plan

For å kunne si noe om hvilken bakgrunnsstøy som er i og ved kavitasjonstunellen må vi kunne si noe om gjennomsnittsstøyen som er der i en rekke scenarioer. Scenarioene er listet under *akustisk støy*. Totalt har vi 46 scenarioer

Akustisk støy

Grunnleggende, disse målingene tas uansett om vi har propellen eller hylsen montert:

1. Baseline start,
 - Hva baseline innebærer kommer vi inn på i 3.2.1.
2. med varmluftvifter
3. med lys
4. med high speed kamera,
5. med lys og high speed kamera,
6. og med varmluftvifter, lys og high speed kamera

Fremstilling av hvilke komponenter som er i bruk og ikke ved de grunnleggende målingene kan ses i tabell 3.

Scenario \ Komponenter	Varmluftvifte	Lyskastere	High speed kamera	Propellmotor	Impellermotor
1: Baseline	NEI	NEI	NEI	NEI	NEI
2: Varmluftvifter	JA	NEI	NEI	NEI	NEI
3: Lyskastere	NEI	JA	NEI	NEI	NEI
4: Kamera	NEI	NEI	JA	NEI	NEI
5: Lyskastere og kamera	NEI	JA	JA	NEI	NEI
6: Varmluftvifter, lyskastere og kamera	JA	JA	JA	NEI	NEI

Tabell 3: Fremstilling av hvilke komponenter som er i bruk og ikke ved de grunnleggende målingene

Dersom propellen er montert.

7. Propellmotor på; uten fart på propell. Impeller er ikke slått på
8. propellmotor satt til 1,5rps
9. propellmotor satt til 8rps
10. propellmotor satt til 11,66rps. Her vil det oppstå kavitasjon
11. impellermotor på; uten fart på impeller og propellmotor av
12. impellermotor satt til 0,5rps
13. impellermotor satt til 1,5rps
14. impellermotor satt på 3,2rps. Propellen er begynt å rotere pga. kraftig vannstrømning
15. propellmotor og impellermotor på
16. impeller satt til 1,5rps, propell går med 0rps
17. impeller satt til 1,5rps, propell går med 1,5rps
18. impeller satt til 1,5rps, propell går med 1,5rps. I tillegg er kamera innkoblet
19. impeller satt til 1,5rps, propell går med 1,5rps. I tillegg er kamera og lys innkoblet
20. impeller satt til 1,5rps, propell går med 8rps
21. impeller satt til 1,5rps, propell går med 8rps. I tillegg er kamera innkoblet
22. impeller satt til 1,5rps, propell går med 8rps. I tillegg er kamera og lys innkoblet
23. impeller satt til 1,5rps, propell går med 15,5rps
24. impeller satt til 1,5rps, propell går med 15,5rps. I tillegg er kamera innkoblet
25. impeller satt til 1,5rps, propell går med 15,5rps. I tillegg er kamera og lys innkoblet
26. Baseline slutt

Fremstilling av hvilke komponenter som er i bruk og ikke når kavitasjonstunellen er i drift og propellen er montert fremstilles grafisk i tabell 4.

Scenario \ Komponenter	Varmluftvifte	Lyskastere	High speed kamera	Propellmotor	Impellermotor
7: Propellmotor: 0 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps	NEI
8: Propellmotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 1,5 rps	NEI
9: Propellmotor: 8 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 8 rps	NEI
10: Propellmotor: 11,66 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 11,66 rps	NEI
11: Impellermotor: 0 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps
12: Impellermotor: 0,5 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 0,5 rps
13: Impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 1,5 rps
14: Impellermotor: 3,2 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 3,2 rps
15: Propell. - og impellermotor: 0 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps	JA, 0 rps
16: Propellmotor: 0 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps	JA, 1,5 rps
17: Propellmotor: 1,5 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 1,5 rps	JA, 1,5 rps
18: Propellmotor: 1,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera	NEI	NEI	JA	JA, 1,5 rps	JA, 1,5 rps
19: Propellmotor: 1,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera og lyskastere	NEI	JA	JA	JA, 1,5 rps	JA, 1,5 rps
20: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 8 rps	JA, 1,5 rps
21: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera	NEI	NEI	JA	JA, 8 rps	JA, 1,5 rps
22: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera og lyskastere	NEI	JA	JA	JA, 8 rps	JA, 1,5 rps
23: Propellmotor 15,5 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 15,5 rps	JA, 1,5 rps
24: Propellmotor 15,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera	NEI	NEI	JA	JA, 15,5 rps	JA, 1,5 rps
25: Propellmotor 15,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera og lyskastere	NEI	JA	JA	JA, 15,5 rps	JA, 1,5 rps
26: Baseline slutt	NEI	NEI	NEI	NEI	NEI

Tabell 4: Fremstilling av hvilke komponenter som er i bruk og ikke ved målinger med kavitasjonstunellen i drift og propellen er montert

Dersom hylse er montert istedenfor propell.

27. Propellmotor på; uten fart på propellaksling. Impeller er ikke satt på
28. Propellmotor satt til 1,5rps
29. Propellmotor satt til 8rps
30. Propellmotor satt til 11,66rps
31. Impellermotor på; uten fart på impeller og propellmotor av
32. Impellermotor satt på 0,5rps
33. Impellermotor satt på 1,5rps
34. Impellermotor satt på 3,2rps, hylse vil ikke begynne å rotere
35. Propellmotor og impellermotor på
36. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 0rps
37. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 1,5rps
38. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 1,5rps. I tillegg er kamera innkoblet
39. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 1,5rps. I tillegg er kamera og lys innkoblet
40. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 8rps
41. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 8rps. I tillegg er kamera innkoblet
42. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 8rps. I tillegg er kamera og lys innkoblet
43. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 15,5rps
44. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 15,5rps. I tillegg er kamera innkoblet

45. Impeller satt til 1,5rps, hylse går med 15,5rps. I tillegg er kamera og lys innkoblet

46. Baseline slutt

Fremstilling av hvilke komponenter som er i bruk og ikke når kavitasjonstunellen er i drift og hylse er montert fremstilles i tabell 5. Fargekodene er helt lik som tabell 4. Eneste forskjell er scenario nummer, samt at det er hylsen som er montert.

Scenario \ Komponenter	Varmluftvifte	Lyskastere	High speed kamera	Propellmotor	Impellermotor
27: Propellmotor: 0 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps	NEI
28: Propellmotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 1,5 rps	NEI
29: Propellmotor: 8 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 8 rps	NEI
30: Propellmotor: 11,66 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 11,66 rps	NEI
31: Impellermotor: 0 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps
32: Impellermotor: 0,5 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 0,5 rps
33: Impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 1,5 rps
34: Impellermotor: 3,2 rps	NEI	NEI	NEI	NEI	JA, 3,2 rps
35: Propell, - og impellermotor: 0 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps	JA, 0 rps
36: Propellmotor: 0 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 0 rps	JA, 1,5 rps
37: Propellmotor: 1,5 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 1,5 rps	JA, 1,5 rps
38: Propellmotor: 1,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera	NEI	NEI	JA	JA, 1,5 rps	JA, 1,5 rps
39: Propellmotor: 1,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera og lyskastere	NEI	JA	JA	JA, 1,5 rps	JA, 1,5 rps
40: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 8 rps	JA, 1,5 rps
41: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera	NEI	NEI	JA	JA, 8 rps	JA, 1,5 rps
42: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera og lyskastere	NEI	JA	JA	JA, 8 rps	JA, 1,5 rps
43: Propellmotor 15,5 rps, impellermotor: 1,5 rps	NEI	NEI	NEI	JA, 15,5 rps	JA, 1,5 rps
44: Propellmotor 15,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera	NEI	NEI	JA	JA, 15,5 rps	JA, 1,5 rps
45: Propellmotor 15,5 rps, impellermotor: 1,5 rps + kamera og lyskastere	NEI	JA	JA	JA, 15,5 rps	JA, 1,5 rps
46: Baseline slutt	NEI	NEI	NEI	NEI	NEI

Tabell 5: Fremstilling av hvilke komponenter som er i bruk og ikke ved målinger med kavitasjonstunellen i drift og hylsen er montert

I tillegg til scenarioene listet ovenfor, er det også interessant å undersøke potensiell elektrisk støy da dette kan påvirke målingene våre.

Oversikt over alle målinger

Oversikten over alle målingene våre er flyttet til Vedlegg C – Oversikt over scenario og rådata. Dette er det blant annet en tabell hvor vi har nummerert alle scenarioene vertikalt og alle målinger horisontalt. Vedlegget er en oversikt over hvilke filer som tilhører hvilket scenario. *Måling 1* er en gjennomgang av alle scenarioer på et visst tidspunkt av en dag, eksempelvis 07.11.22, kl. 05:00. *Måling 2* er samme gjennomgang, på enten et nytt tidspunkt på samme dag eller en annen dag. Eksempelvis 07.11.22 kl. 17:00 eller 08.11.22 kl. 05:00.

Totalt sett har vi hatt 6 måledager, hvor vi har målt 2 ganger i døgnet; en måling fra 05:00 og en måling fra 17:00. Vi valgte disse tidspunktene fordi det var utenom arbeidstid. Dermed kunne vi gjøre målinger uten risiko for å bli forstyrret fra arbeidere på laben eller eventuelt mye aktivitet utenfor. Ettersom 1 måling ble ugyldig grunnet tekniske problemer har vi 11 målinger, 6 med propell montert og 5 med hylse montert.

I samme vedlegg (Vedlegg C – oversikt over scenario og rådata) finner du tabellene som viser hvilke komponenter som er av eller på ved de forskjellige scenarioene. Det anbefales å ha denne ved siden av seg når vi i 3.2 gjennomgår resultatene våre.

Elektrisk støy

Vi har i kapittel 2.5 *Støy* og avsnitt 2.5.1 *Bakgrunnsstøy i anlegg* vært vi inne på hvordan elektrisk støy kan påvirke målingene våre. Når flere komponenter er koblet på samme strømmnett og trekker en likerettet strøm kan det oppstå harmoniske forstyrrelser. Vårt måleoppsett er koblet opp mot en stasjonær datamaskin, i tillegg til at oscilloskopet og forsterkeren også er koblet opp mot samme strømmnett. Dette kan dermed være utslagsgivende i målingene våre. For å detektere mulig støy fra det elektriske anlegget kan vi forsøke å sette målesystemet vårt batteridrevet. Her har vi sett på muligheten for å ta målingene på en bærbar pc istedenfor den stasjonære som er på laben. I tillegg er vi da avhengig å få tak i et batteri til forsterkeren. Dette er fordi at selv med en bærbar pc, er det ikke sikkert vi klarer å fjerne kilden til støyen som kommer fra det elektriske anlegget, ettersom støyen likevel kan oppstå via forsterkerens strømforsyning. Det er også mulig å bytte oscilloskopet til et batteridrevet et. Elektrisk støy diskuteres videre under 3.2.3 Undersøkelser av elektrisk støy.

Nøyaktighet i scenarioene

Det er viktig at tilstanden på laben og i målingene er mest mulig lik når vi skal kjøre de forskjellige scenarioene. Som nevnt lengre oppe i 3.1 *forsøksdesign*, tar vi utgangspunkt i gjennomsnittet i målingene vi tar. Vi kommer dermed til å ta gjennomsnittet av 20 måleserier, altså 20 øyeblikks målinger. Programmet er konstruert slik at den tar 30 000 samplings i løpet av 1 sekund. I neste sekund behandler den alle dataene for at det så fremstilles som et øyeblikksbilde på dataskjermen. En måling, bestående av 20 måleserier, tar dermed omtrent 40 sekund. Alle data lagres så til en tekstfil med starttidspunktet som filnavn. Denne tekstfilen omformer vi senere til excel for gjennomsnittsberegninger og grafisk fremstilling. Grunnen til at vi bruker 20 måleserier er for å kjøre programmet lenge nok til at man får et mer reelt gjennomsnitt uten at programmet blir overbelastet og vi ikke klarer å behandle all dataen i excel.

Vi har vært konsekvent på å bruke 20 måleserier i alle scenarioene våre, men på et scenario fikk vi bare 17. Dette var måling nummer 4 hvor propellen var montert, og scenario 16; *impeller satt til 1,5rps, propell går med 0rps*. Dermed har vi totalt 220 måleserier av de grunnleggende målingene, 120 av måleserier med propell (med unntak av scenario 16), 117 måleserier av scenario 6 og 100 måleserier av målingene med hylse. Grunnen til at det bare har 100 måleserier

av målingene med hylser er fordi en måling ble unnerkjent grunnet tekniske problemer med datamaskinen. Antall måleserier for hvert scenario er visuelt fremstilt i tabell 6.

Scenario	Antall måleserier per scenario
Grunnleggende (1-6)	220
Propell montert (7-15 og 17-26)	120
Propell montert (16)	117
Hylse montert (27-46)	100

Tabell 6: Antall måleserier tatt av de forskjellige scenarioene. Dette er grunnlaget for gjennomsnittene våre.

3.1.2 Driftskondisjoner

Under de akustiske målingene våre ønsker vi å oppnå mest mulig lik målesituasjon. Dette fordi vi ønsker mest mulig nøyaktighet og presisjon i målingene våre. Som standard har vi hatt full tank ved alle gjennomføringer.

Dette har imidlertid vært vanskelig å opprettholde ettersom det ikke er mulig å holde dem konstant ved de ulike scenarioene. Tunelltrykket er som regel høyere i de tilfeller for strømningshastigheten er høy. Tunelltemperatur vil øke ut ifra hvor lenge en kjører tunnelen.

Gjennomsnittlig har vi et tunelltrykk på 124 kPa med et standardavvik på 1. Gjennomsnittlig temperatur i tunnelen har lagt på 18,2 C, med et standardavvik på 0,15 C.

3.1.2.1 Propellhastigheter

Propellhastighetene vi kjører med er ikke tilpasset propellens best mulige ytelse og effektivitet. Optimalt sett burde vi vurdert propellens propellkurve og valgt hastigheter basert på eksempelvis virkningsgrad. En mulig fremgangsmåte for dette hadde vært å gjennomføre ulike tester på propellen i kavitatsjonstunnelen. Resultatene kunne vi fremstilt grafisk og vurdert hvilke hastigheter propellen optimalt sett vil kjøre med. Vi valgte imidlertid å ikke gjennomføre slike tester grunnet både oppgavens tidsramme og oppgavetekst. Dermed kjører vi med fire forskjellige hastigheter på propellen. Når vi ikke har på vannstrømning kjører vi propellen med 1,5, 8 og 11,66 rps. Vi stopper ved 11,66 rps ettersom det her oppstår kavitatsjon når vannstrømningen

ikke er på. Når vi har vannstrømning kjører vi hastigheten opp til 15,5 rps. Hensikten med hastighetene er å kartlegge støybildet som oppstår ved lav, middels og høy hastighet.

3.1.3 Kontroll av hydrofon og analogsystem

Andersen nevnte i sin bachelor om syngende propeller, at hydrofonen ikke gav nøyaktige nok målinger til å kunne analysere resultatene (Andersen, 2021,49). For å forsikre at hydrofonen klarer å fange opp riktige frekvenser må vi dermed kontrollere den. Før og etter hver forsøksdag må vi dermed ta et kontrollforsøk av en frekvens vi kjenner. Dette kan vi gjøre ved en telefon-app hvor man kan stille på ulike frekvenser og få denne sendt til eksempelvis telefonens høyttaler. Dersom hydrofonen er riktig, vil vi se frekvensen vi har valgt i appen i frekvensspektrumet fra hydrofonens målinger.

For å sjekke systemet fanger et vidt spekter av frekvenser, velger vi 400 og 1000 Hz i appen. Kontrollen gjør vi før og etter hver måleseanse, og har forsøkt forskjellige posisjoner vi kan holde telefonen i for å få best mulig resultat. Hydrofonen fanget lyden best opp når vi holdt telefonen inntil metallet på kavitasjonstunellen, rett ved måleseksjonen. For hver gang vi har gjort denne testen har vi fått tydelige utslag ved både 400 og 1000 Hz, noe som indikerer at hydrofonen virker og at analogsystemet gir riktige frekvenser.

3.1.4 Målinger uten propell

For å detektere bakgrunnsstøyen i og ved kavitasjonstunellen tar vi målinger både med og uten propell. Vi bruker en hylse som vi kobler på akslingen slik at vi kan fange opp lydene som oppstår uten propellen montert, men mens motoren går. Dette gjør vi for å skille lydene fra motoren fra de som propellen lager. Når vi bruker en hylse belastes akslingen på en annen måte enn hvis vi bruker en propell. Det kan gå ut over lydmålingene våre, og introduserer noe ekstra usikkerhet knyttet til støy fra motoren som driver propellen. (Model-Scale Propeller Cavitation Noise Measurements, 2021, s. 8).

Når vi gjør målinger med hylse har vi mest mulig like driftskondisjoner som når propellen er montert.

3.1.5 Grafisk fremstilling

Vi velger å benytte oss av LabVIEW ettersom dette kan tilpasses i større grad en Pasco Capstone. Slik programmet er, skrives det ut en tekstfil med frekvensspektrum for hver måling vi tar. Denne overfører vi i et excel dokument slik at vi kan ta et gjennomsnitt av alle frekvensene

vi fanger opp for så å fremstille det grafisk. I LabVIEW kan vi også se resultatene grafisk, men vi får bare se et «øyeblikks bilde» av spenningsmåling og spektrum for hver måleserie. Ettersom vi vil se på gjennomsnittsstøyen i hvert måletilfelle kan vi dermed ikke bruke grafen som kommer opp i LabVIEW. Filen som skrives ut ved hjelp av LabVIEW overfører vi til Excel hvor vi behandler dataene vi har fått inn. Her fremstiller vi det også grafisk slik at vi kan se frekvensspekteret visuelt.

3.2 Resultater

En sammenfatting av alle resultater kan ses i vedlegg A - Testresultater og vedlegg B – Testresultater diagrammer. Vedlegg A er et excel dokument hvor alle resultater er fremstilt i tabell og vedlegg B er et word dokument med alle tabeller fra excelen. I denne delen kommer vi til å vise de mest sentrale resultatene fra gjennomsnittet av alle målingene våre, før vi så diskuterer dem i 4 *Analyse*. Resultatene som fremlegges er basert på topper som er kommet i frekvensspekteret. Resultatene fra sampling og Fourier-transformasjon er lagret med en nøyaktighet på 0,01 mPa eller 0,001 mPa avhengig av hvilken forsterkning som er benyttet. Dermed kommer vi ikke til å fokusere på frekvenser og frekvensområder med gjennomsnitt under 10 μ Pa (= 0,01 mPa), da disse sannsynligvis er svakere enn måleusikkerheten til utstyret og verdiene vi har registrert fra målingene. Når vi viser overordnet frekvensspekter (frekvensspekter fra 1-2000 Hz) vil det være en rød linje ved 10 μ Pa.

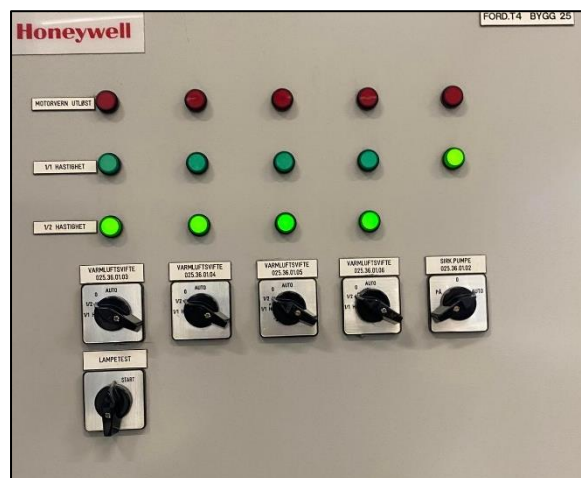
Ved interesse for å se på alle de mindre frekvensområdene ved hvert scenario, kan dette ses i vedlegg B – Testresultater diagram.

3.2.1 Resultater når kavitasjonstunellen ikke er i drift

3.2.1.1 Scenario 1 og 26: Baseline start og slutt

Baseline start er første målingen vi tar når vi kommer på laben, mens *Baseline slutt* er siste målingen vi tar etter alle scenarioer er gjennomført. Grunnen til disse er for å gi en indikasjon på om målesituasjonen har endret seg fra start til alle scenarioene er målt. Ved baseline skrur vi av alt av utstyr og kjører en målinger når laben er mest mulig stille. Vi skrur av de fire varmluftbryterne avbildet i figur 23, og har ellers ingen utstyr knyttet til kavitasjonstunellen. Dette inkluderer high speed kamera med tilhørende lys, lyskasterne montert i tuneller, propellmotoren og impellermotoren. Ved baseline er det en datavifte som går både ved start og slutt. Denne legger seg inn etter en stund og er ikke mulig å kontrollere. Vi har dermed valgt å alltid

vente på at denne legger seg inn før vi begynner målingene for å ha likest mulige forhold. Hvor lang tid det tar før viften legger seg inn, avhenger av hvor mye og hvor lenge datamaskinen har blitt brukt.



Figur 23: Innstillingene til varmluftviftene. Ved baseline står disse på 0.

Diagram 1 viser et overordnet bilde av frekvensspekteret vi får ved *baseline start* og *slutt*. Som vi ser, er diagrammene av nokså lik karakteristikk. I diagrammene er det noen av områdene vi skal se nærmere på. Blant annet er det mye utslag fra 1-60 Hz. Utenom dette området får vi frem et utslag på 150 og 200 Hz. 150 Hz antar vi er en overtone av, 50 Hz som mistenkes å være elektrisk støy fra strømmettet. Dersom det for eksempel kommer fra en likeretter, vil den sinusformede strømmen som kommer fra stikkontakten firkantmoduleres, og dermed gi overtoner ved $50(2n + 1)$. Vi vil dermed kunne se utslag ved 50, 150, 250, 350m ..., osv. Etter 150 Hz er neste, og siste, synlige topp ved baseline ved 200 Hz. Som vi ser i diagram 1 er den ikke særlig markant i frekvensspekteret, men kommer uansett tydeligere frem enn andre småtopper. Hva denne kan være, er usikkert, og det kan hende dette også er en form for elektrisk støy eller et annet utstyr som roterer ved 200 Hz som eksempelvis en vifte eller en motor. Vi har markert 150 og 200 Hz i diagram 1.

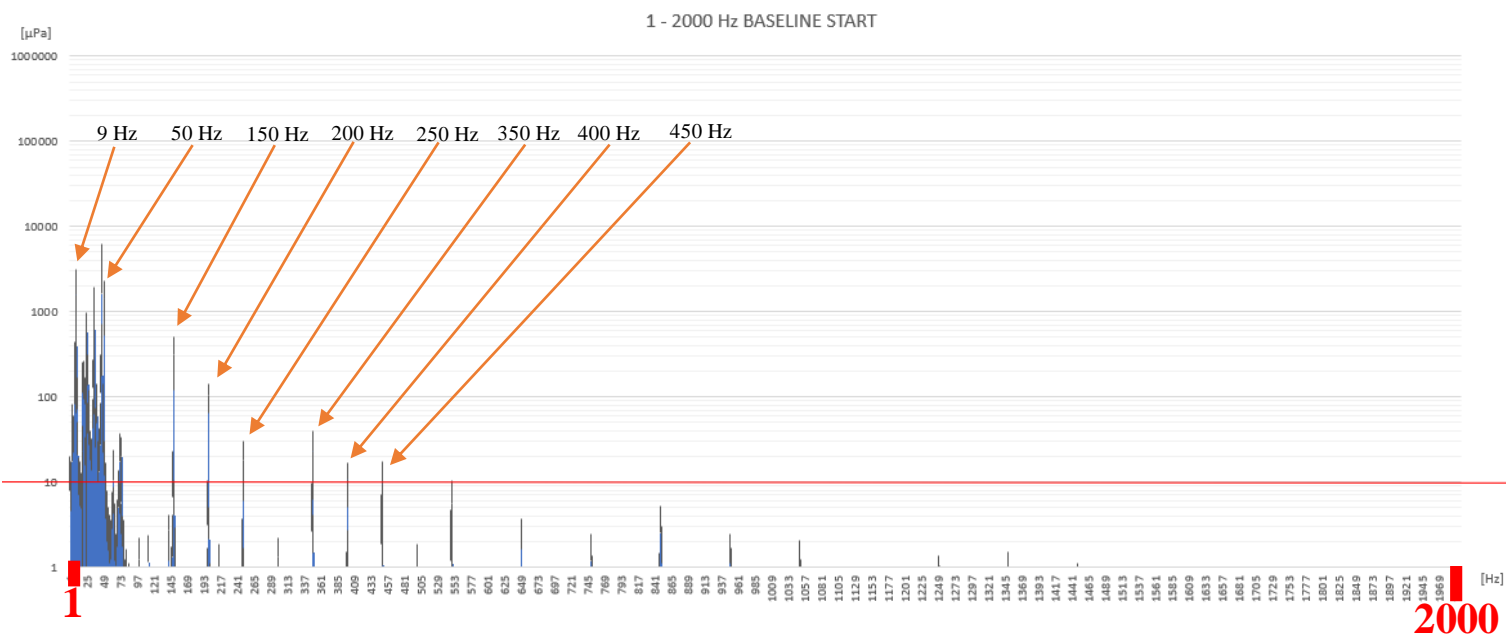


Diagram 1: Overordnet bilde av frekvensspekteret ved baseline start

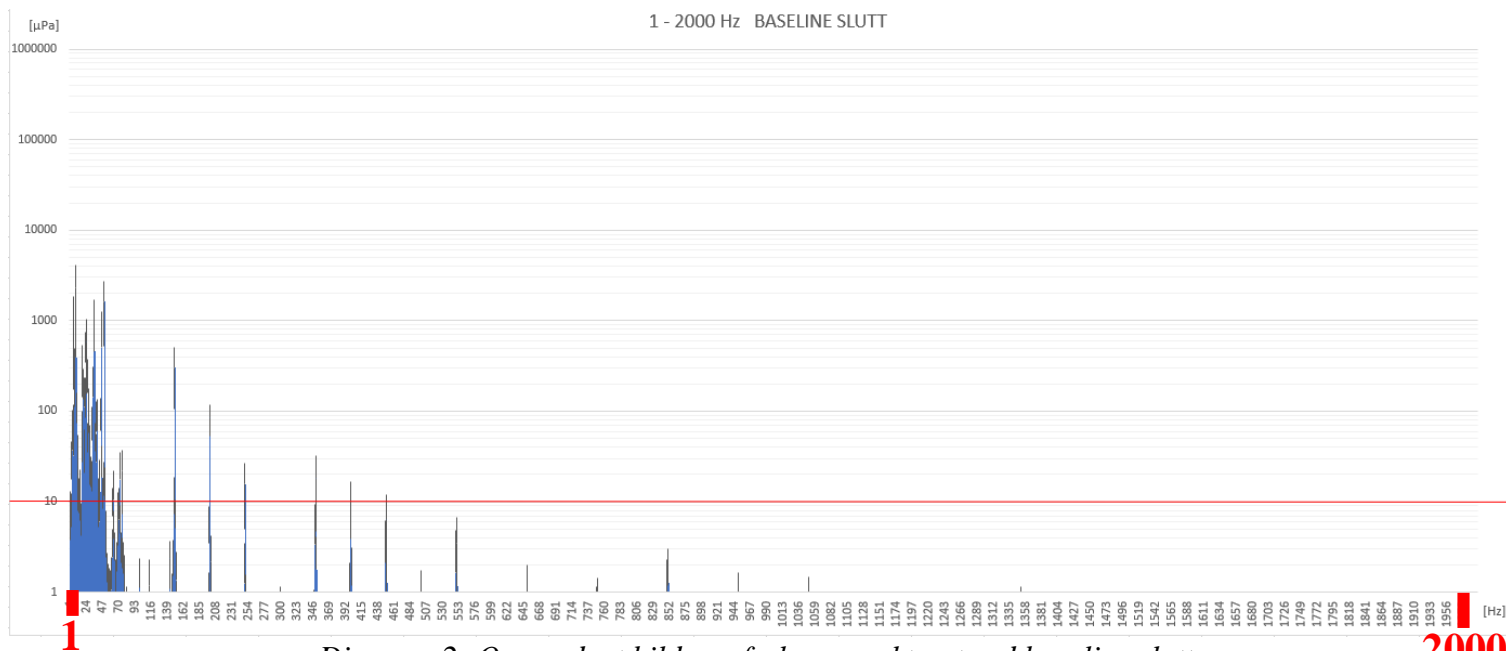


Diagram 2: Overordnet bilde av frekvensspekteret ved baseline slutt

Y-aksen har enhet μPa , og er en logaritmisk skala. Denne aksene indikerer intensiteten til de ulike frekvensene. Som vi ser er det en rød linje ved $10 \mu\text{Pa}$, og som vi nevnte i 3.2 Resultater vil vi ikke analysere utslag som er under denne. X-aksen har enhet Hz, og viser dermed de ulike frekvensene som oppstår. Videre kan vi se at vi et frekvensspekter som strekker seg til 1979 Hz. Det er imidlertid ikke topper som går over rød linje etter 450 Hz, og dermed kommer vi ikke til å se på disse.

Diagram 3 viser frekvensområdet fra 1-60 Hz, og det er her det skjer mest ved baseline. Vi ser fire grupper med frekvenser med størst topp på 9, 25, 35, 46 og 50 Hz. Tykk linje viser gjennomsnittet mens tynn linje er standardavviket. Som vi ser, er standardavviket større enn gjennomsnittet til 46 Hz. Dette kan tyde på at det er en ugyldig måling, og det er vanskelig å trekke noen fullstendige konklusjoner ut av denne. Vi ser også at det er en topp på 50 Hz, som vi mistenker kommer fra strømnettet.

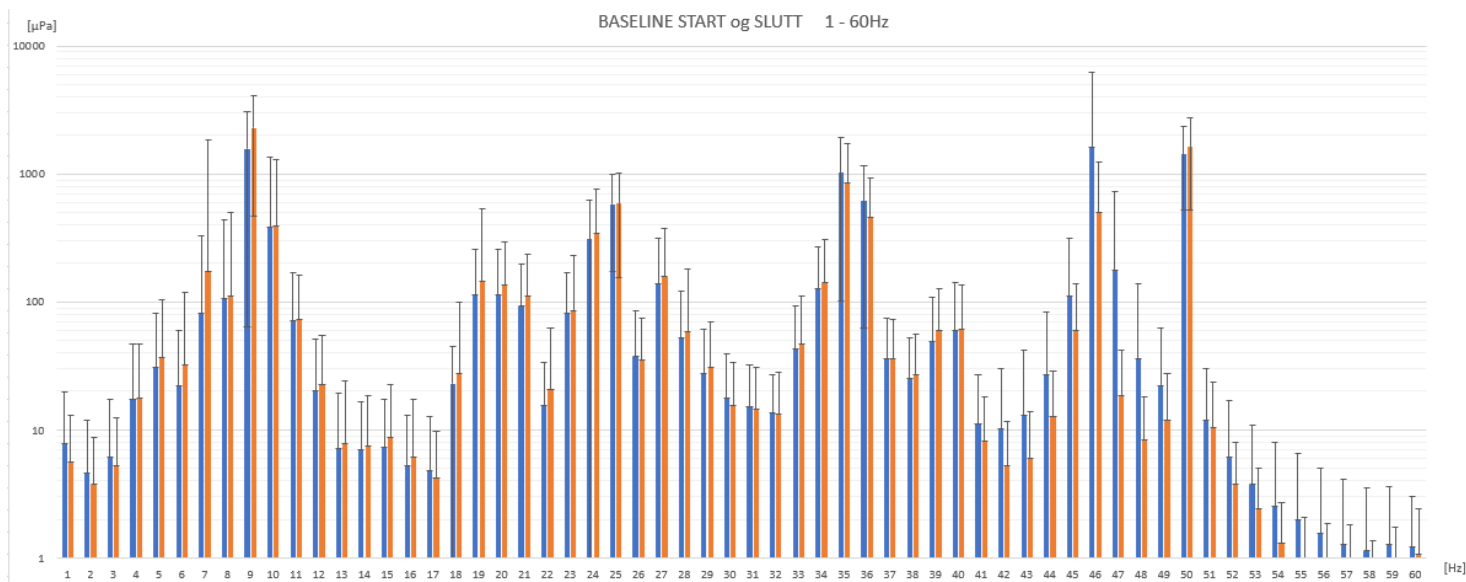


Diagram 3: Frekvensområde 1-60Hz ved scenario 1 og 26: Baseline start (blått) / slutt (oransje)

3.2.1.2 Scenario 2: med varmluftvifter

Som nevnt i 3.2.1 Scenario 1: Baseline, har vi noen varmluftvifter som kan skrues av og på. Ved scenario 2 har vi baseline som utgangspunkt, i tillegg til varmluftviftene som stilles til ½. Når de skrues på, kommer det en tydelig durelyd i anlegget. Det er dermed relevant å kartlegge om denne lyden påvirker målingene våre slik at de vises i frekvensspekteret.

Som vi ser i diagram 4, ser det ikke ut til å ha dukket opp noe særlig mer i forhold til frekvensspekteret ved baseline. I tillegg ser det ut som konturen i frekvensspekteret er nok så likt i forhold til det overordnede bildet vi så på ved scenario 1.

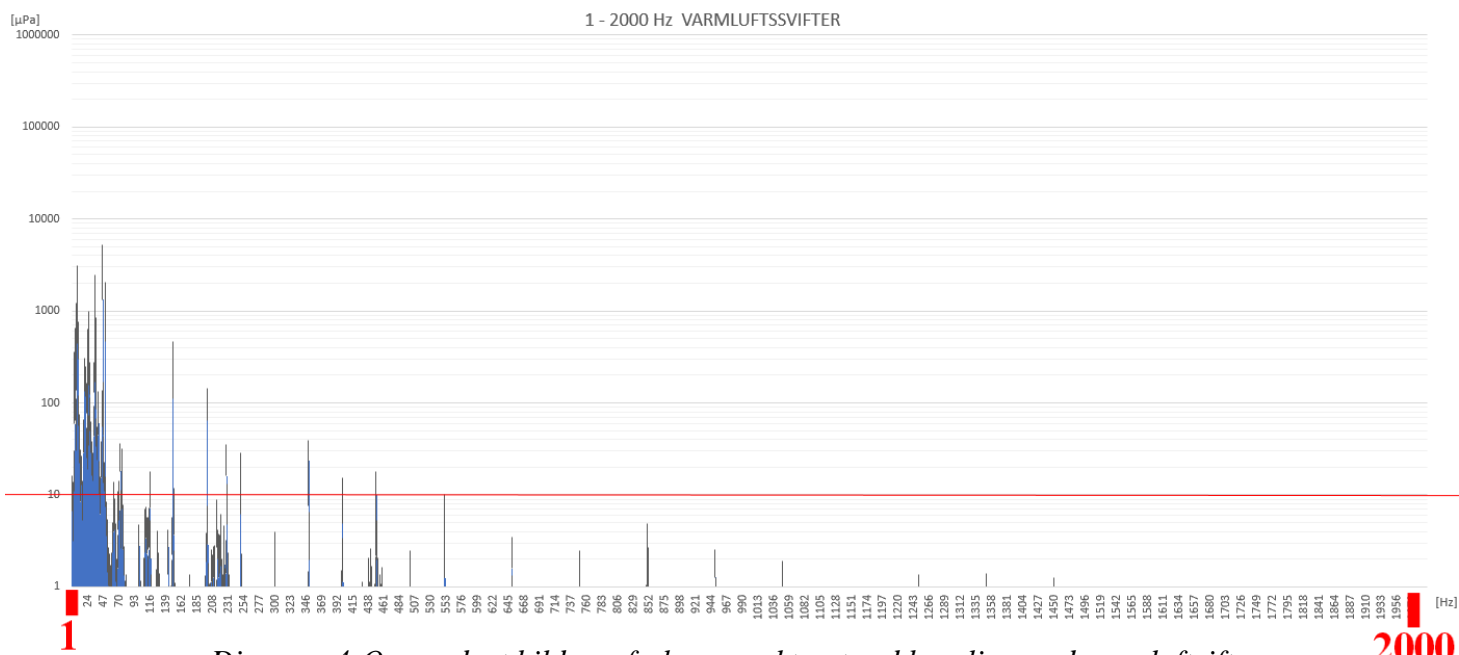


Diagram 4: Overordnet bilde av frekvensspekteret ved baseline med varmluftsvifte.

I forhold til baseline resultatene har det ikke oppstått noen nye utslag eller endringer i frekvensspekteret. Dette kan tyde på at ventilasjonen ikke har hatt noe innvirkning i lydbildet. Dermed vil det ikke presenteres flere frekvensspektre når ventilasjonen er på. Disse kan heller ses i vedlegg B – Testresultater diagrammer.

3.2.1.3 Scenario 3: med lyskastere

Når man gjør kavitasjonsforsøk er det vanlig å bruke to lyskastere som står plassert utenfor luken hvor man kan se inn på propellen. Når lysene skrur på, hører vi en tydelig viftelyd. Dermed er det også relevant å kartlegge om denne medfører ekstra støy i frekvensspekteret. Som vi ser i diagram 5, kan det se ut som det har oppstått mer støy rundt 420 Hz. Ellers ser karakteristikken i frekvensspekteret likt ut.

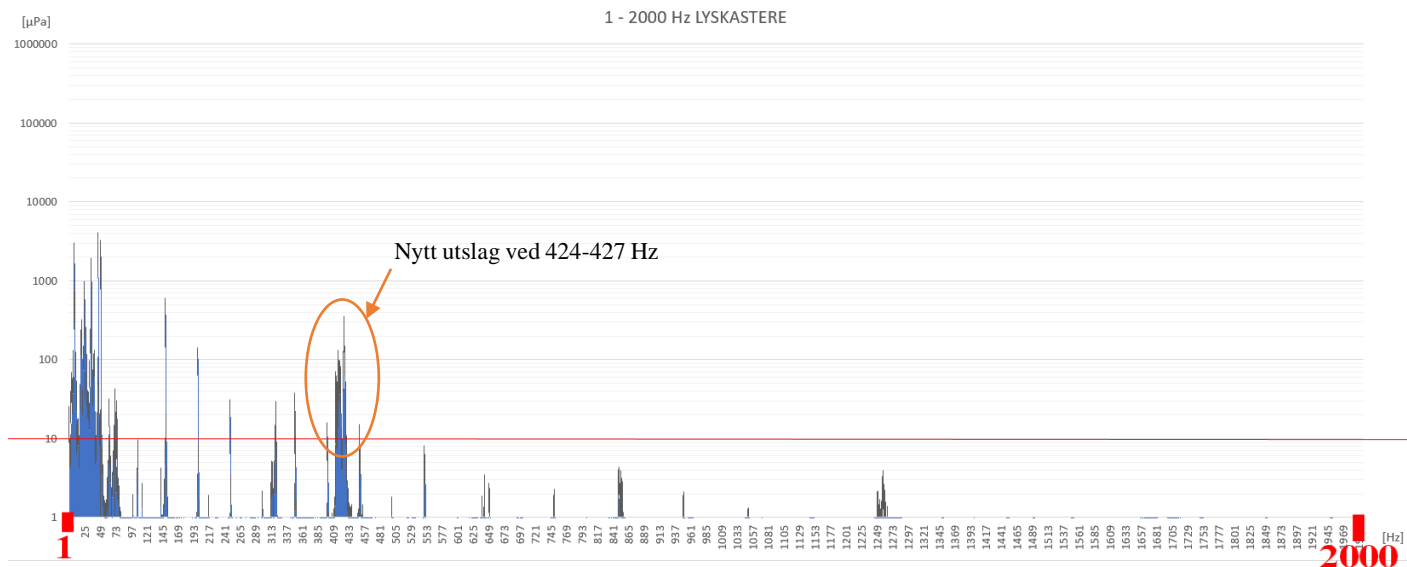


Diagram 5: Overordnet bilde over frekvensspekteret ved scenario 3, baseline med lyskasterne.

Frekvensområdene 1-60, 120-180 og 180-240 Hz ser likt ut som ved baseline og med ventilasjon med utslag på 150 og 200 Hz ved dette scenarioet også. Ved 60-120 Hz er det fremdeles ingen interessante utslag. Det er en liten forskjell i frekvensenes amplituder når man sammenligner scenario 3) lyskasterne med scenario 1) baseline, og 2) ventilasjon, men statistikken vår er ikke nøyaktig nok til at vi kan si om det er en reell forskjell. Vi ser nå nærmere på utslagene ved 424-427 Hz. Som vi ser i diagram 6 er det kommet et lite utslag på 426 Hz som ikke har vært der tidligere. Dette kan tyde på at det oppstår lydstry når lyskasterne står på.

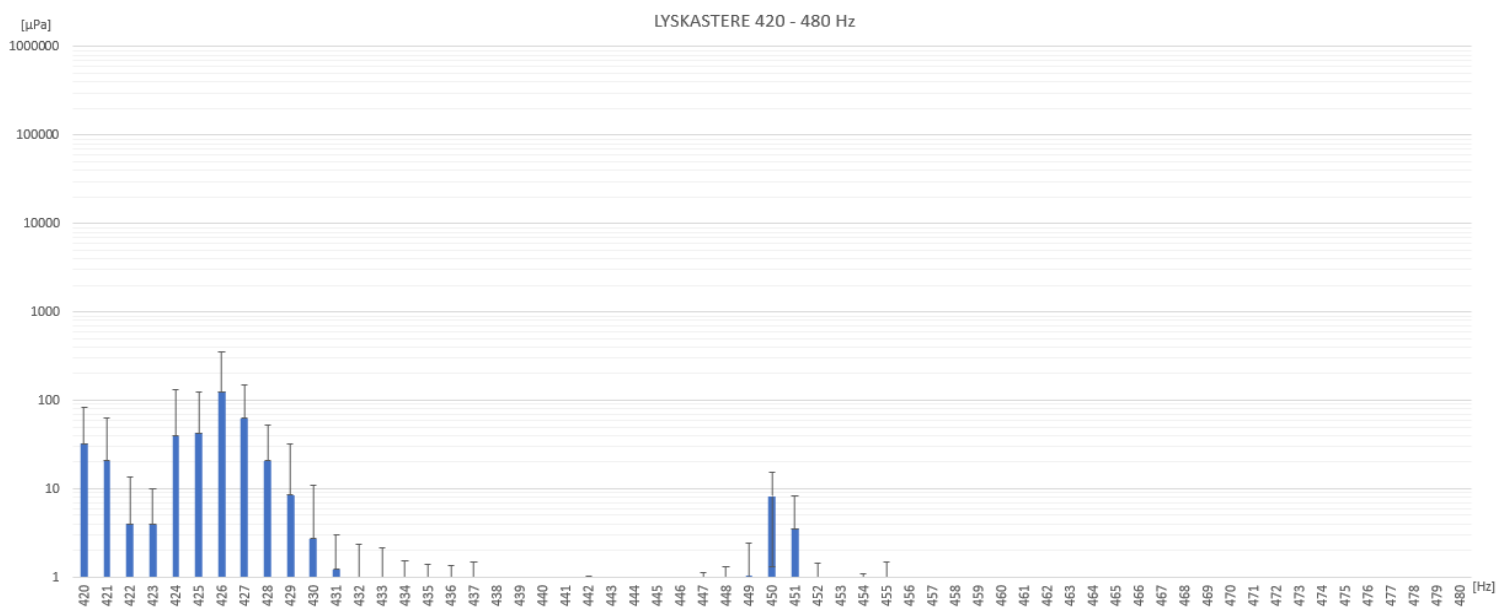


Diagram 6: Utklipp av frekvensområde 420-480 Hz når lyskasterne er koblet inn

3.2.1.4 Scenario 4: med high speed kamera

Ved forsøk i kavitasjonstunellen er det vanlig å bruke et high speed kamera. Dette brukes blant annet til å overvåke og ta bilder av kavitasjon som oppstår rundt propellen, og er et godt hjelpemiddel for å 1) fastslå om det har oppstått kavitasjon når vi ikke visuelt kan se det, og 2) studere effekten av kavitasjonsdempende propell-løsninger. Det er derfor relevant å kartlegge om kameraet sender ut støy.

Som vi ser i diagram 7 virker det som om frekvensspekteret igjen er likt som de tre første scenarioene. Men, på dette diagrammet er enkelte av frekvensene mer intense enn det de har vært i scenario 1-3. Som markert har vi eksempelvis 34 Hz som har gått over 10 000 μPa . Frem til nå har vi ikke hatt frekvenser som har oversteget denne verdien på y-aksen. Det ser dermed ut som intensiteten av de ulike frekvensene har økt betydelig etter high speed kameraet ble slått på. Når vi tok forsøkene med high speed kamera kunne vi se mye variasjon på oscilloskopet. Det tok lang tid før signalene ville stabilisere seg, noe som kan ha noe å si i det totale lydbildet.

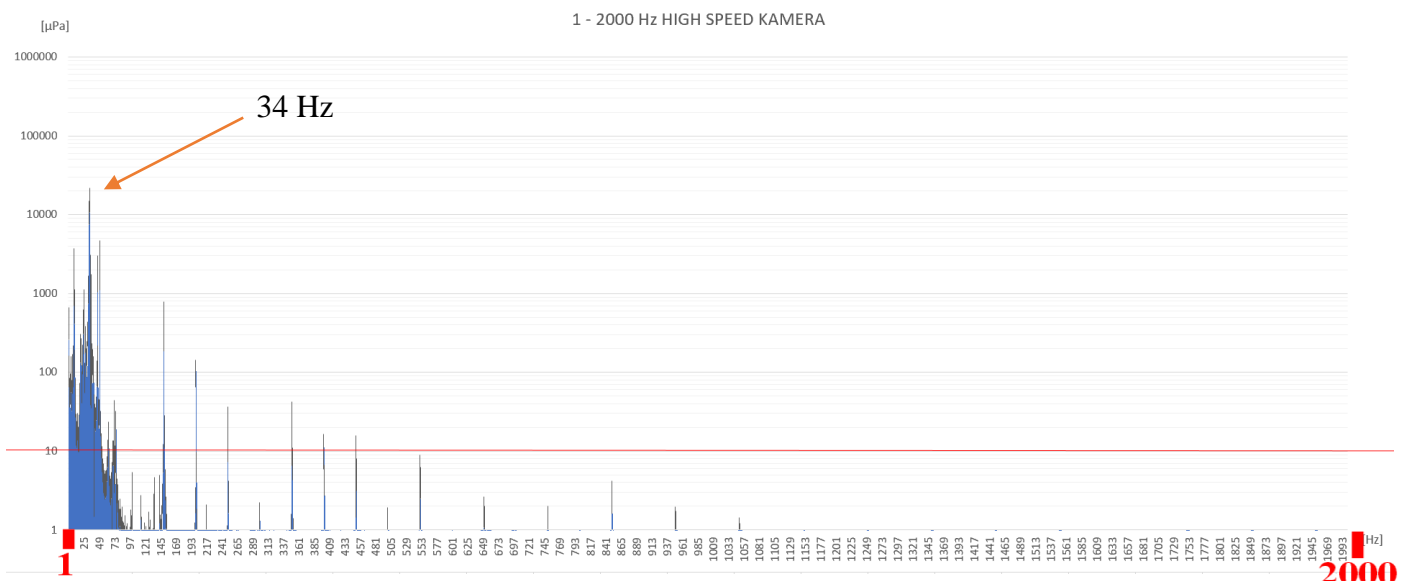


Diagram 7: Overordnet bilde over frekvensspekteret ved scenario 4, baseline med high speed kamera.

Vi ønsker å se nærmere på hvilke av frekvensene som nå har bikket over 10 mPa. Dermed trekker vi frem frekvensområde 1-60 Hz ettersom det er her intensiteten har endret seg. Når vi ser i diagram 8, ser vi samme type karakteristikk i frekvensområdene som vi har sett ved scenarioene ovenfor. Vi har en samling ved 9, 25, 34, 48 og 50 Hz. En ting som skiller seg ut, er hvordan området ved 34 Hz har blitt den mest intense frekvensen. Dette ser vi diagram 8. Fra

tidligere scenarier har denne vært under eller lik 9, 46 og 50 Hz. Foruten om økningen ved 34 Hz har vi også fått en ny liten topp ved 1 Hz.

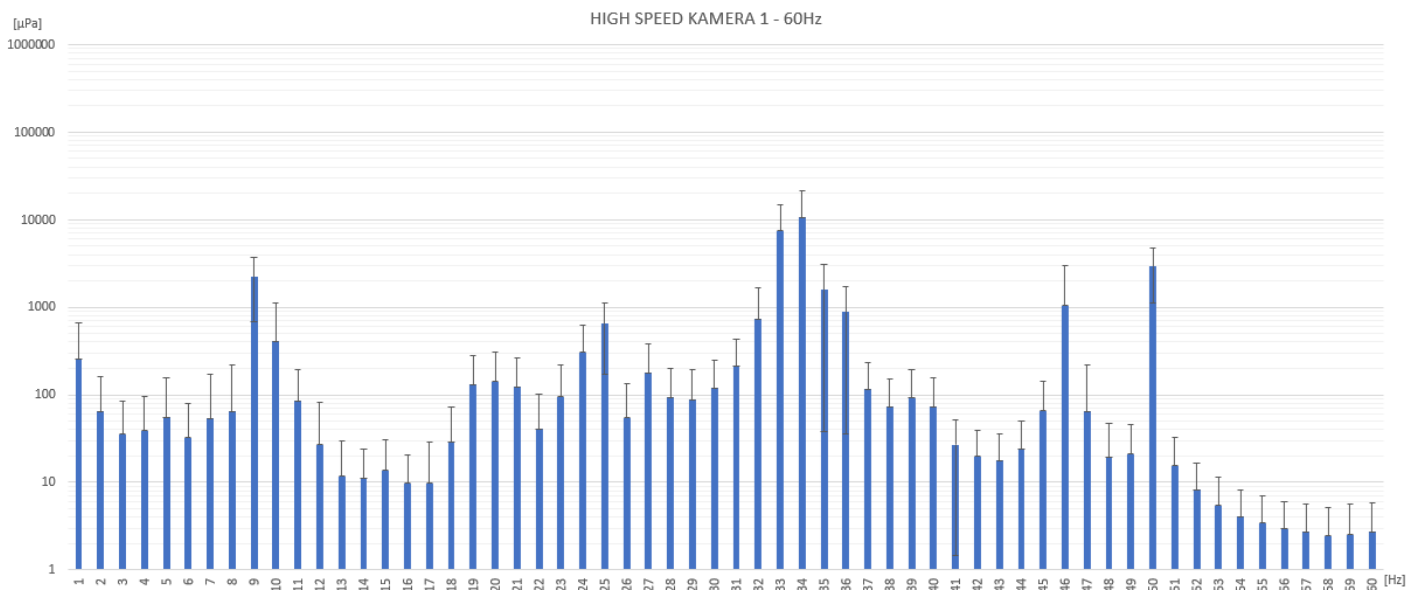


Diagram 8: Uklipp av frekvensområde 1-60 Hz ved scenario 4.

Ved 150 og 200 Hz er amplitudene til frekvensene fremdeles uendret. Vi ser også videre på området 420-480 Hz for å se om frekvensområdet rundt 424-427 Hz forsvunnet igjen etter lyskasterne ble slått av. Som vi ser i diagram 9 er ikke frekvensene lengre til stede, og kan forsterke teorien om at det er lyskasterne som er kilden.

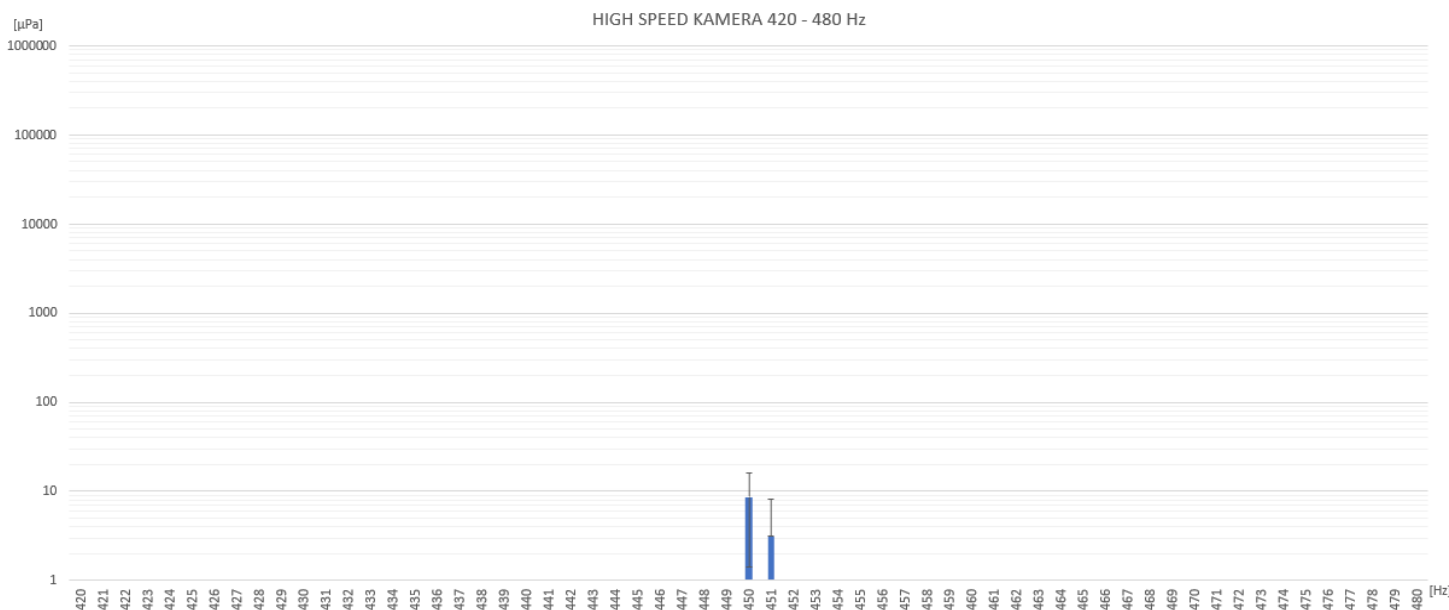


Diagram 9: Utklipp av frekvensområde 420-480 Hz ved scenario 4.

3.2.1.5 Scenario 5: med lys og kamera

For å se sammenhengen mellom de forskjellige komponentene på laben, ønsker vi å kartlegge det sammensatte bilde av baseline med lys og high speed kamera. Som vi ser i diagram 10, ser ikke diagrammet veldig annerledes ut sammenlignet med oversiktsbildene fra de fire siste scenarioene. I tillegg ser vi igjen en økning rundt 425 Hz etter vi tok på igjen lyskasterne.

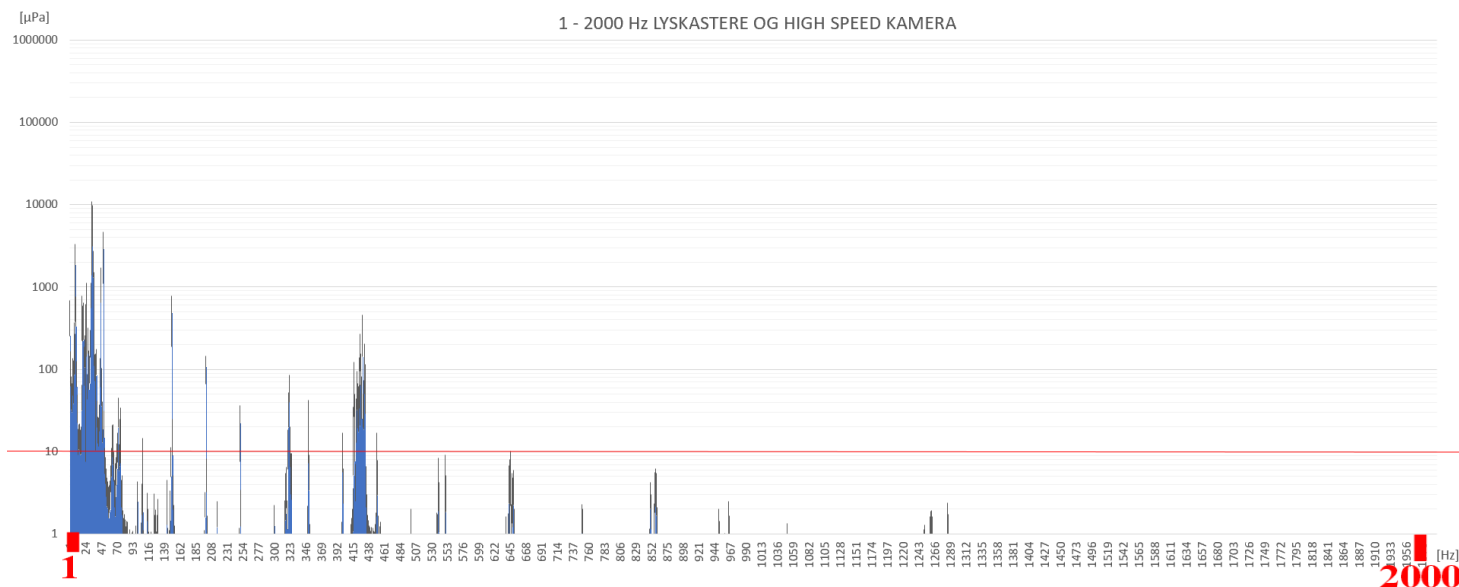


Diagram 10: Overordnet bilde over frekvensspekteret ved scenario 5, baseline med lys og high speed kamera.

Vi ser nærmere på områdene 1-60 Hz og 420-480 Hz. 1-60 Hz området ser nokså likt ut som scenario 4. Imidlertid kan vi se i diagram 11 at 33 Hz har blitt sterkere enn 34 Hz som var dominerende når bare high speed kameraet var innkoblet. Dette kan skyldes feil avrunding i frekvensene, og diskuteres videre i under 4 *Diskusjon*.

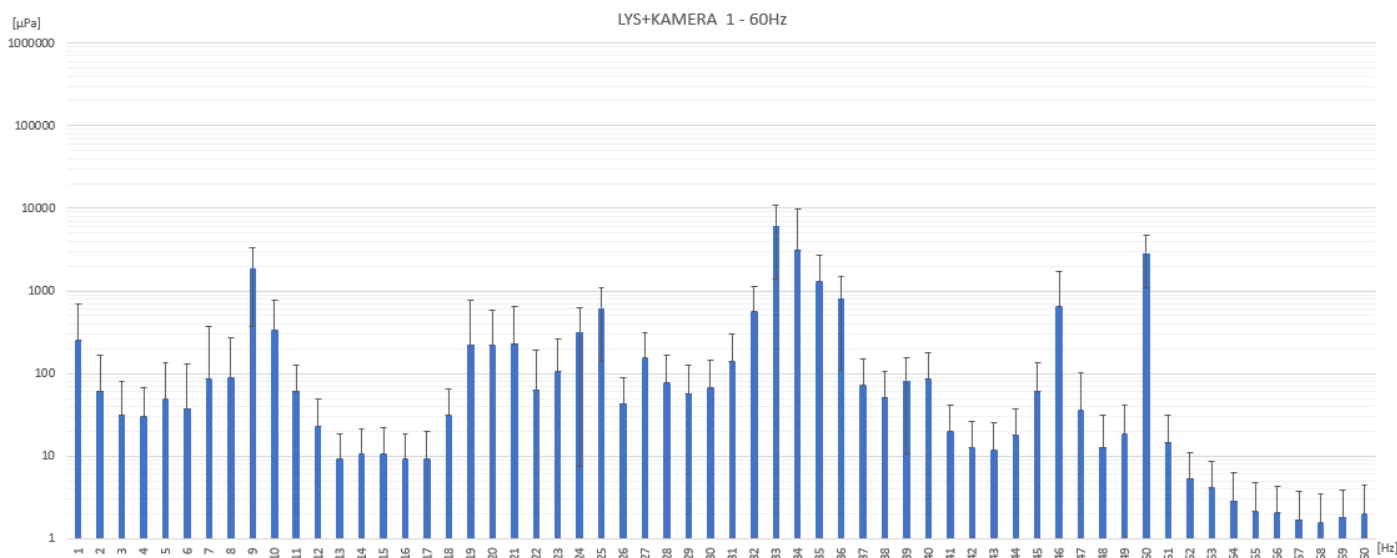


Diagram 11: Utklipp av frekvensområde 1-60 Hz ved scenario 5.

Videre ser vi i diagram 12, at vi igjen har fått utslag i området ved 426 Hz. Dette styrker mistankene om at frekvensene har en sammenheng med lyskasterne.

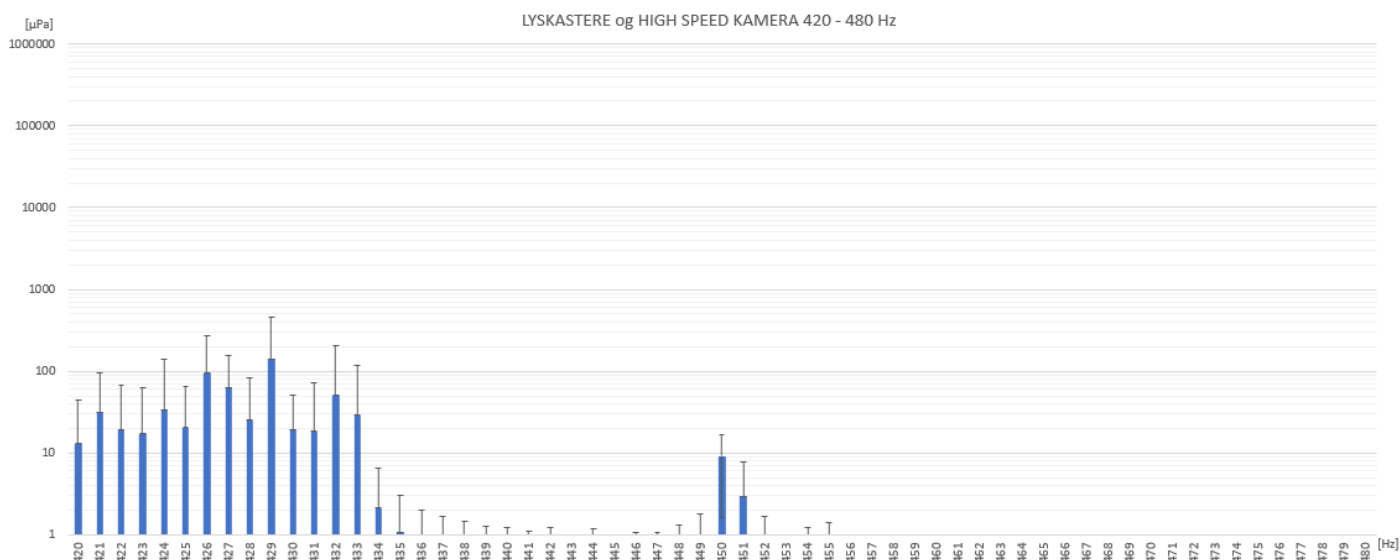


Diagram 12: Utklipp av frekvensområde 420-480 Hz ved scenario 5.

3.2.1.6 Scenario 6: med varmluftvifter, lys og kamera

Vi ønsker også å se på det sammensatte bildet av alle komponenter i kartleggingen vår. Dersom en skal gjøre forsøk med alle komponenter er det relevant å vite hva slags lydbilde dette vil medføre.

I diagram 13 ser vi det overordnede bildet av frekvensspekteret ved scenario 6. Først og fremst ser vi at høyeste amplitude ikke strekker seg over 10000 μPa . Dette er interessant ettersom enkelte av amplitudene ved scenario 4 og 5 gjorde dette. En logisk utvikling hadde vært større utslag enn når high speed kameraet og lys sammen med high speed kamera var innkoblet etter som varmluftviftene nå ble slått på. Dette viser de store forskjellene som spesielt kommer frem i frekvensområde 1-60 Hz. Her har vi i alle scenarioene fra 1-5 sett at frekvensene er de samme, men at amplitudene varierer mye i intensitet. Dette kan være en konsekvens av i hvordan vi har regnet gjennomsnitt i vedlegg A – Testresultater. Ettersom vi har basert gjennomsnittet på alle måleseriene våre, kan en stor endring i lydbildet fra dag til dag gi store variasjoner i frekvensspekteret. Foruten om variasjonene fra 1-60 Hz ser karakteristikken lik ut. Vi ser igjen toppen på 426 Hz.

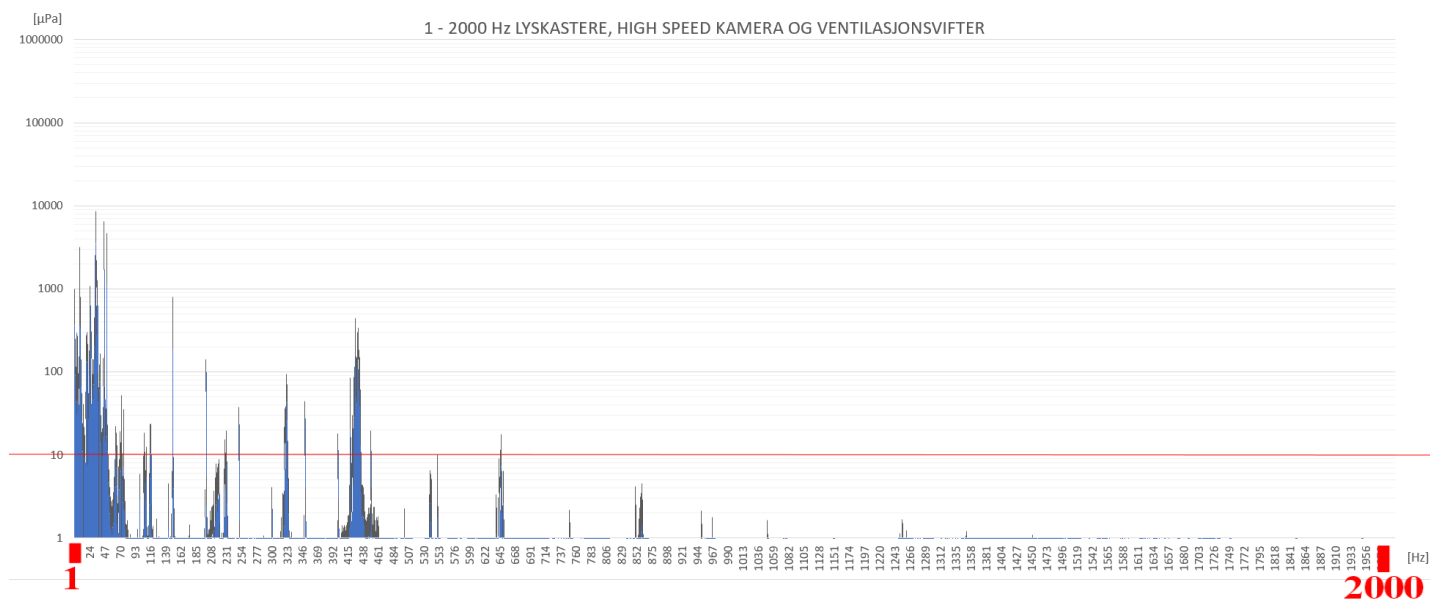


Diagram 13: Overordnet bilde over frekvensspekteret ved scenario 6, baseline med lys, high speed kamera og varmluftvifter.

I likhet med scenario 4) med high speed kamera, er det fremdeles en liten topp med 1 Hz. Denne har vært til stede i både scenario 4, 5 og 6, hvor kameraet er koblet inn alle gangene. Frekvensen på 1 Hz kan dermed ha noe med high speed kameraet å gjøre. Frekvensene som er tilstede ved

området 426-431 Hz er like som de vi har sett på når lyskasterne er innkoblet, og vi trekker dem derfor ikke frem nå.

3.2.2 Resultater når kavitasjonstunellen er i drift

Her kommer vi til å legge frem de mest relevante resultatene fra når kavitasjonstunellen er i drift. Når vi gikk over til å ta målinger mens kavitasjonstunellen var i drift tok vi ned forsterkingen fra 1 V/Pa til 0,1 V/Pa. Dette gjorde vi for å forsikre oss om at forsterkeren ikke gikk i metning når vi kjørte med høye hastigheter som sannsynligvis skaper mye støy. Dette kan ha hatt en innvirkning med tanke på sensitiviteten til hydrofonen. Som igjen kan ha gjort at hydrofonen ikke klarer å fange opp enkelte av frekvensene vi allerede har merket oss fra *3.2.1 Resultater når kavitasjonstunellen ikke er i drift*.

3.2.2.1 Propellmotor og impellermotor påskrudd hver for seg og samtidig

Vi skal nå se på hvilken støy propellmotoren og impellermotoren lager hver for seg og sammen når begge motorene er skrudd på. Motorene går ikke med et turtall, og resultatene i dette avsnittet inkluderer dermed:

- Scenario 7 og 27: Propellmotor 0 rps. Impellermotor avskrudd. Med og uten propell
- Scenario 11 og 31: Impellermotor 0 rps. Propellmotor avskrudd. Med og uten propell
- Scenario 15 og 35: Propell, - og impellermotor 0 rps. Med og uten propell

Hensikten med disse scenarioene har vært å kartlegge om propell- og impellermotoren skaper støy hver for seg eller samtidig uten at de kjører med turtall.

Ved scenarioene er det lite forskjeller mellom når propellen eller hylsen er montert. Dette kan vi se i diagram 14, hvor vi ser at variasjonene ligger i intensiteten og at utslagene er ved de samme frekvensene. Diagrammet viser frekvensområdene 1-60 Hz ved alle scenarioene listet ovenfor. Ved én frekvens er det to søyler. Til venstre er utslaget når propellen er montert, til høyre er når hylsen er montert.

Ved scenario 4) med high speed kamera, 5) med lys og kamera og 6) med varmluftvifter, lys og high speed kamera fikk vi et lite utslag på 1 Hz. Som vi også kan se i diagram 14, har denne nå forsvunnet. Det kan forsterke teorien om at det oppstår lydstry ved 1 Hz når high speed kameraet er på. I tillegg har det dukket opp et utslag ved 39 Hz. Denne har vi ikke sett når vi har gjennomgått *Resultater når kavitasjonstunellen ikke er i drift*. Vi ser også at den bare vises

ved scenario 7 og 27) når propellmotoren er på og 15 og 35) når propellmotor og impellermotor er på. Dette kan tyde på at det har med propellmotoren å gjøre.



Diagram 14: Illustrasjon over forskjellen mellom propell og hylse i frekvensområde 1-60 Hz ved scenario 7, 11, 15, 27, 31 og 35.

At propellen og hylsen har utslag ved samme frekvenser, gjelder for alle synlige frekvenser med unntak av 82 Hz. Når propellmotoren er på og propellen er montert, kommer det en liten topp på omtrent 0,2 mPa. Dette kan vi se i diagram 15, og toppen kommer både når propellmotoren er det eneste som står på og når både propell- og impellermotor står på. Ettersom denne bare kommer frem ved disse tilfellene kan det tyde på at det har noe med propellen å gjøre.

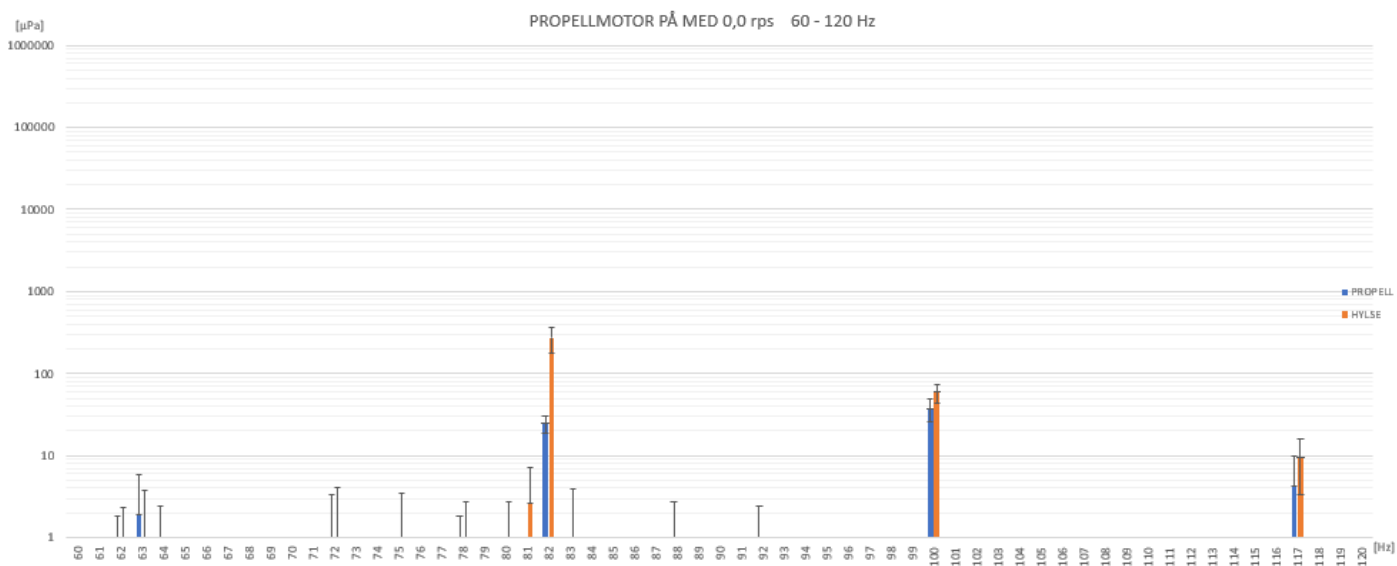


Diagram 15: Utklipp av frekvensområde 60-120 Hz. Vi ser et oppdukkende utslag ved 82 Hz når propellmotoren går og propellen er montert.

Videre ser vi på de overordnede frekvensspektrene ved 1) propellmotor på ved 0 rps, 2) impellermotor på ved 0 rps og 3) propellmotor og impellermotor på ved 0 rps i diagram 16. Vi trekker bare frem resultatene når propellen er montert siden det viste seg (presentert i diagram 14) at det var små forskjeller mellom frekvensspektrene når propell og hyse var montert. Deretter ser vi nærmere på enkelte frekvensområder ut ifra hvilke områder som skiller seg ut. Som vi ser i spektrene, er det mest utslag i frekvensområde 1-60 Hz. Vi ser også at det oppstår nye topper ved 300 og 600 Hz når propellmotoren er på. Disse ser ikke ut til å være like fremtredende når bare impellermotoren er på. Dermed kan det ser ut som at 300 og 600 Hz kommer i forbindelse med propellmotoren. Vi kan også se dem når både propell- og impellermotoren er på. Ettersom vi ikke kan se frekvensene når bare impellermotoren er på kan det virke som om de kommer fra propellmotoren. Foreløpig er ikke utslagene veldig dominerende i frekvensspekteret. Dette kan riktignok endre seg etter hvert.

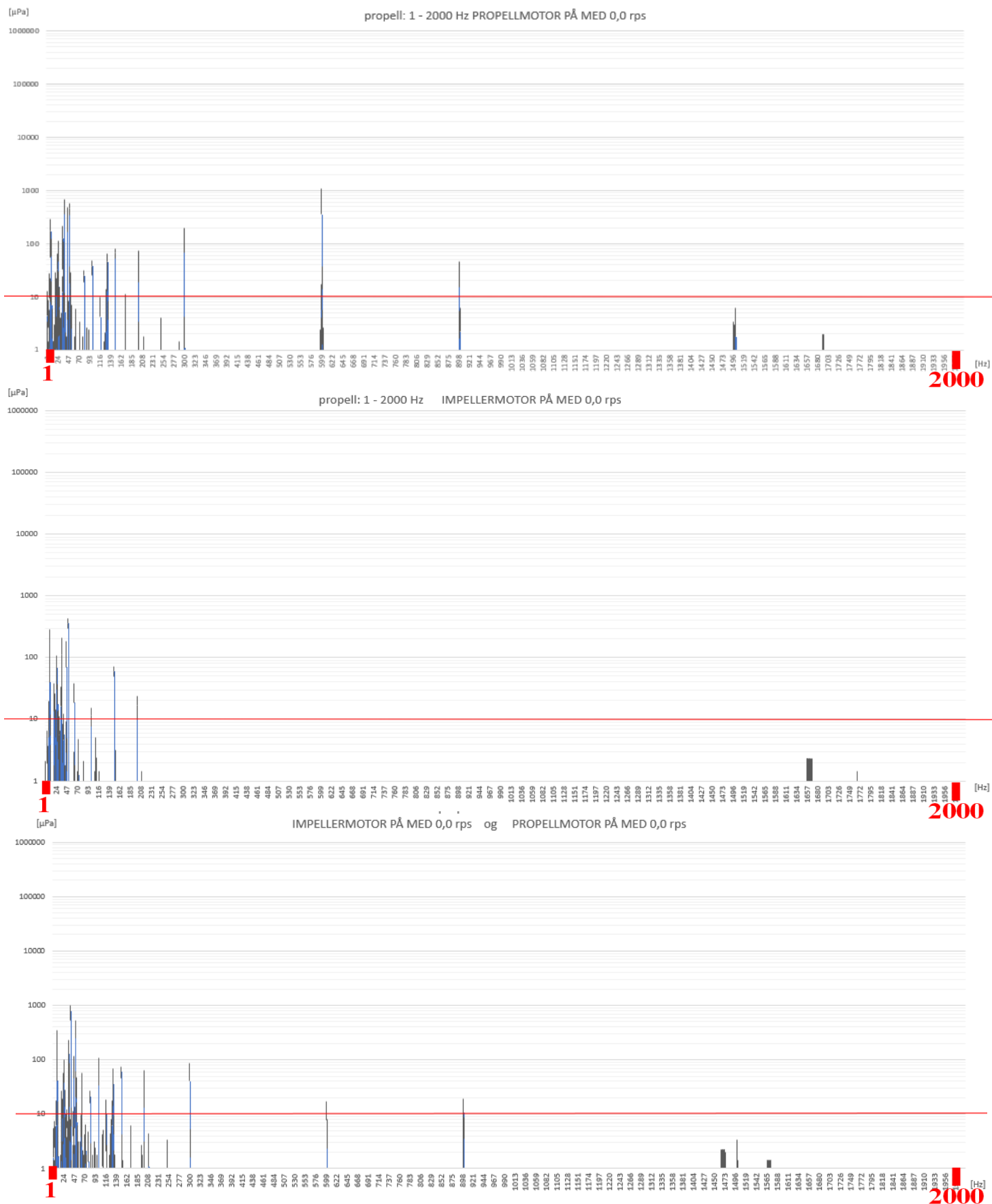


Diagram 16: Overordnet frekvensspekter av scenario 7, 11 og 15.

3.2.2.2 Forskjellige hastigheter på propellmotor, impellermotor avskrudd

Resultatene i denne delen er hentet ut fra:

- Scenario 8 og 28: Propellmotor 1,5 rps, impellermotor avskrudd. Med og uten propell
- Scenario 9 og 29: Propellmotor 8,0 rps, impellermotor avskrudd. Med og uten propell
- Scenario 10 og 30: Propellmotor 11,66 rps, impellermotor avskrudd. Med og uten propell. Ved dette scenarioet har det oppstått kavitasjon på propellen

I 3.2.2.1 så vi på frekvensspektrene som oppsto når 1) propellmotoren var påskrudd, 2) impellermotoren var påskrudd og 3) når både propell- og impellermotoren var påskrudd. Vi skal nå se på hvilke frekvenser som kommer frem når propellen går alene ved forskjellige hastigheter. Hensikten med dette er å kartlegge hvilket støybilde propellen skaper ved lav, middels og høy hastighet. Støyen som oppstår når propellen er montert kan her skyldes at propellakselen dras med til rotasjon og skaper hørbare lyder fra lagre og svingninger. Når hylsen er montert, skyldes støyen trolig vannstrømmingene forbi hydrofonen.

Først ser vi om det er kommet noe mer støy når vi ser på de overordnede spektrene til 1) propellmotor 1,5 rps, 2) propellmotor 8,0 rps og 3) propellmotor 11,66 rps. Som vi ser i diagram 18, ser vi at toppene ved 300 og 600 Hz har blitt mer markante. Fra scenario 7 og 27 var utslagene langt under 1 mPa. I tillegg er det også kommet et tydelig utslag på 900 Hz. Vi ser også at det er større forskjeller mellom propell og hylse når vi ser på toppene 300, 600 og 900 Hz, og at det er mer støy når propellen er montert.

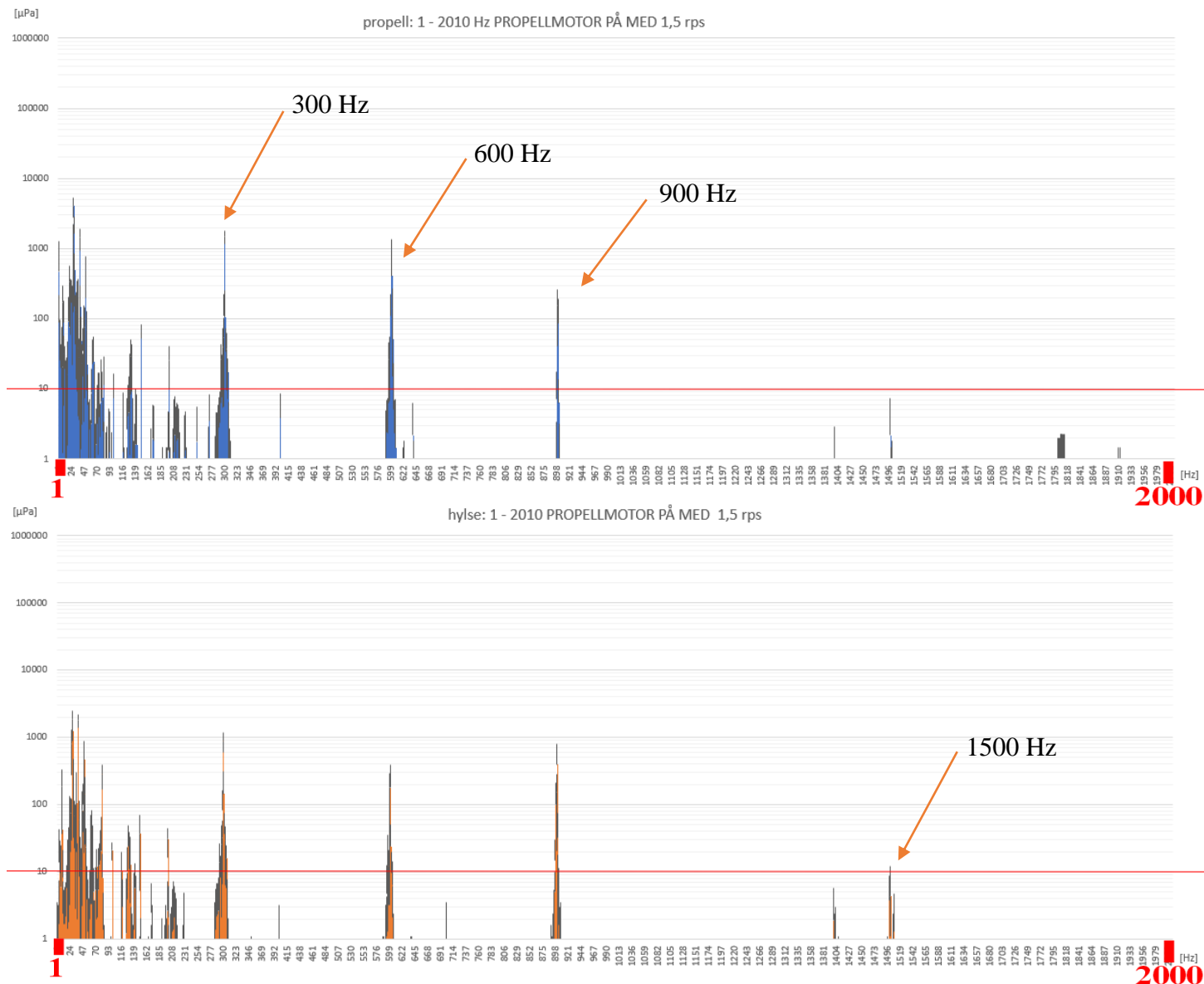


Diagram 17: Overordnet frekvensspekter fra når propellen går med 1,5 rps fra scenario 8 og

28.

Videre ser vi på hvordan frekvensspekteret ser ut når vi kjører med høyere hastigheter på propellmotoren. Når vi ser på diagram 18, ser vi først og fremst at maks amplitude er blitt langt større nå når propellmotoren går med 8 rps. Vi ser også at det er større forskjeller mellom propell og hylse i området 1-24 Hz.

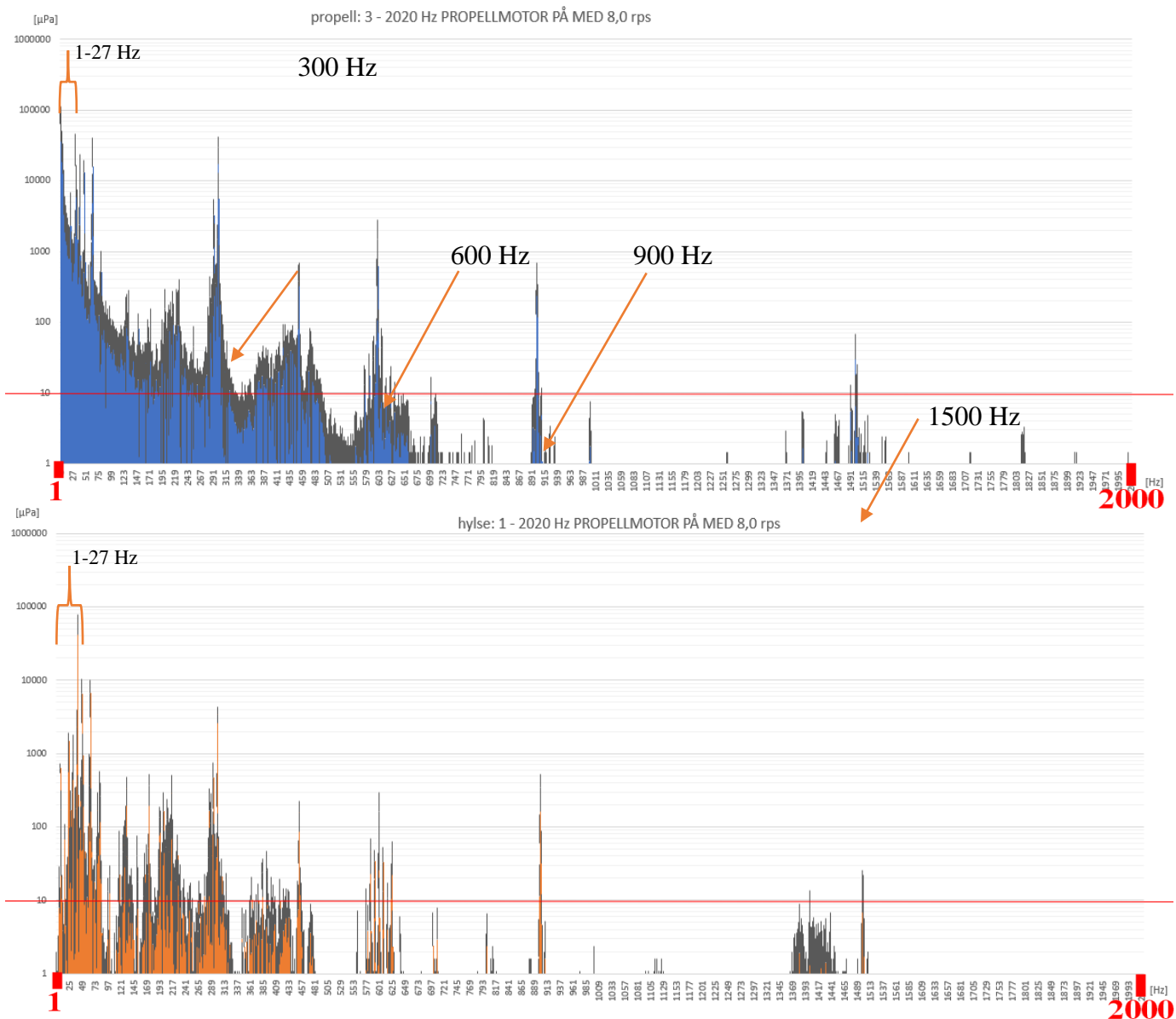


Diagram 18: Overordnet frekvensspekter fra når propellen går med 8 rps fra scenario 9 og

Vi ser også på når propellmotoren går med 11,66 rps. Ved denne hastigheten kan vi høre kavitatsjonslyder, men vi kan ikke fysisk se det med det blotte øye. Generelt sett vil propellen begynne å kavitere fortere når vi ikke har impellermotoren gående i tillegg. Det er dermed ikke umulig at det har oppstått kavitasjon ved 8 rps også, men at vi verken har klart å høre eller se det uten hjelpemider. Vi kan generelt se langt mer støy i området fra 1-530 Hz når propellen er montert. 600 Hz har nå blitt en del svakere, og 900 Hz har styrket i intensitet. Vi ser også mer støy fra 1427-1680 Hz. Dette kan være kavitasjonen vi hørte ettersom dette gjerne kommer med høyere frekvenser.

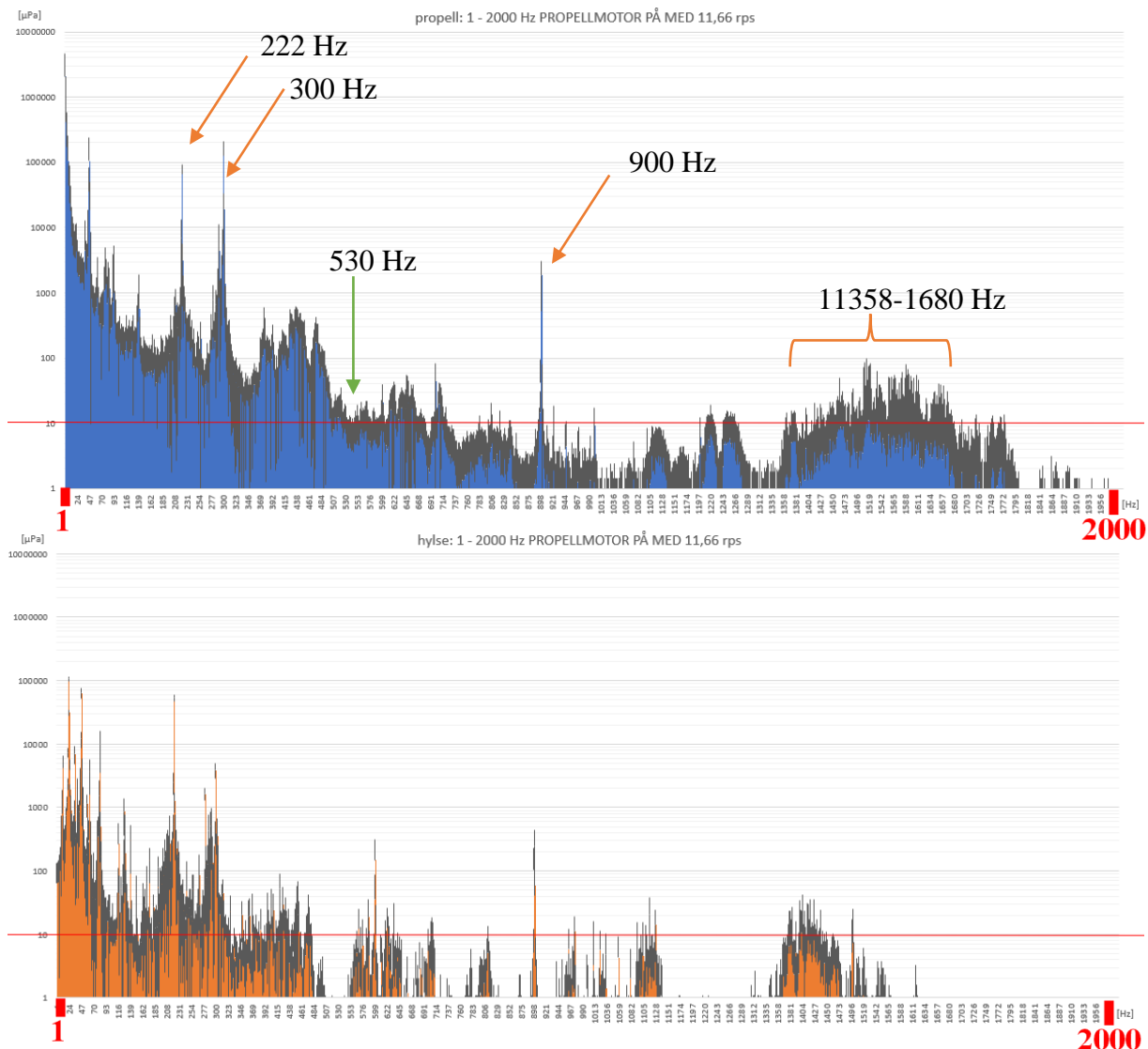


Diagram 19: Overordnet frekvensspekter fra når propellmotoren går med 11,66 rps fra scenario 10 og 30

Vi vil nå trekke frem noen funn ved de overordnede frekvensspektrene i diagram 17, 18 og 19. Primært fokuserer vi på 1,5 og 11,66 rps, ettersom vi ikke er helt sikre på om det har oppstått

kavitasjon på 8,0 rps. Først og fremst er det lite forskjeller mellom propell og hylse når propellmotoren kjører med 1,5 rps. Ved dette turtallet er karakteristikken i spekteret likt, med unntak av de laveste frekvensene. Når propellen er montert kan det nemlig se ut til at det er mer støy rundt 1 Hz.

Ved både 8 og 11,66 rps er det lik karakteristik i frekvensspekteret, og samme forhold mellom propell og hylse. Intensiteten for hver frekvens er imidlertid langt høyere ved disse hastighetene. Maks amplitude for 8 rps er 100000 mPa og godt over 1000000 mPa for 11,66 rps. I tillegg er det forskjeller ved de laveste frekvensene (1-25 Hz) når vi kjører med høyere hastigheter. Dette skal vi se nærmere på. Som vi ser i frekvensområde 1-60 i diagram 20, er det igjen kommet en topp på 39 Hz. Fra resultatene når vi kjørte 1) propellmotor på, 2) impellermotor på og 3) propell, - og impeller motor på, så vi at denne kom når vi hadde propellen på i diagram 14. Ettersom den igjen er synlig har vi fremdeles mistanker om at denne kommer i tilknytning med propellmotoren.

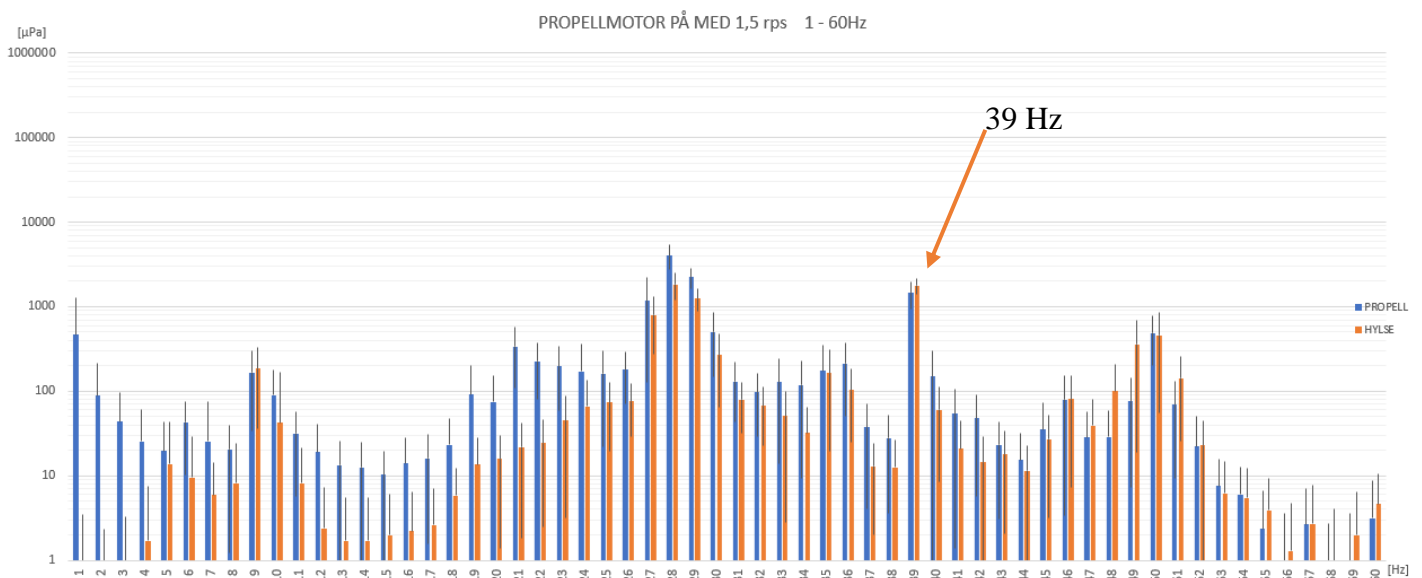


Diagram 20: Frekvensspekter 1-60 Hz når propellmotoren kjører med 1,5 rps

Generelt ser vi langt mer utslag ved høyere hastigheter. For 11,66 Hz har vi hørt kavitasjon ved bladene og det kan være en grunn til at vi har fått flere utslag i frekvensspekteret. Det er også en mulighet for at det var kavitasjon ved 8 rps. For å detektere dette måtte vi ha filmet med high speed kameraet. Uansett virker det som om denne typen karakteristikk har en sammenheng propellen når den går ved høye hastigheter.

Karakteristikken i frekvensområdet 1-10 Hz endrer seg spesielt ved høyere hastigheter. Normalt sett den har første synlige toppen, utenom 1 Hz ved noen tilfeller, vært 9 Hz. Ved 11,66 rps ser vi at amplituden til frekvensene i området 1-10 Hz avtar eksponentielt, og at 1 Hz dermed er den høyeste amplituden. Dette kan vi se tydeligere i vedlegg B Testresultater diagrammer. Her er det også en stor forskjell mellom propell og hylse, og det virker som om denne tendensen kan knyttes til propellens signatur ved høye turtall.

Frem til nå har vi sett en liten topp på 82 Hz. Denne er nå langt mer synlig, i tillegg til at vi har fått en ny topp på 63 Hz. Dette forsterker mistanken om at dette kan komme i tilknytning med propellmotoren. Vi har også fått et stort utslag på 222 Hz. Denne var ikke like markant ved 1,5 eller 8 rps. Det er vanskelig å fastslå hva denne kan være ettersom den bare er markant synlig ved 11,66 rps.

3.2.2.3 Forskjellige hastigheter på impellermotor, propellmotor avskrudd

Måleresultatene som trekkes fram i denne delen er:

- Scenario 12 og 32: Impellermotor 0,5 rps, propellmotor avskrudd. Med og uten propell
- Scenario 13 og 33: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor avskrudd. Med og uten propell
- Scenario 14 og 34: Impellermotor 3,2 rps, propellmotor avskrudd. Med og uten propell.

Ved dette scenarioet har propellen begynt å rotere på grunn av vannstrømning

Hensikten med å kjøre med forskjellige hastigheter på impellermotoren var for å 1) kartlegge hvordan vannstrømningen påvirker støybildet og 2) kartlegge om impellermotoren også skaper akustisk støy. Vi starter med overordnede bilder av frekvensspektrene.

Som vi ser i diagram 21 påvirkes lydbildet av hvilken hastighet vi kjører impellermotoren med. Når vi kjører med 0,5 rps ser vi at det er mindre støy i det overordnede frekvensspekteret enn når impellermotoren kjører ved 3,2 rps. Videre ser vi nå utslag ved 300 Hz. Tidligere har vi ikke sett denne når vi kjører impellermotoren. Dermed er det ikke bare propellmotoren som forårsaker denne støyen selv om den ikke synes når impellermotoren er på ved 0,0 rps. Vi kan ikke se noen utslag ved 600 og 900 Hz, som kan tyde på at disse har direkte tilknytning til propellmotoren.

Med tanke på forskjeller i frekvensspektre når propell og hylse er montert, er frekvensspektrene like, men av ulik intensitet, ved 0,5 og 1,5 rps. Når vi kjører med 3,2 rps, ser vi imidlertid at frekvensspekteret ikke er likt ved de helt lave frekvensene. Dette har trolig med propellen å gjøre. Dette fordi denne begynner å rotere når impellermotoren kjører med 3,2 rps på grunn av den sterke vannstrømningen. Vi kommer dermed ikke til å trekke frem hylsediagrammene ved 0,5 og 1,5 rps. Disse kan heller ses i vedlegg B – Testresultater diagrammer.

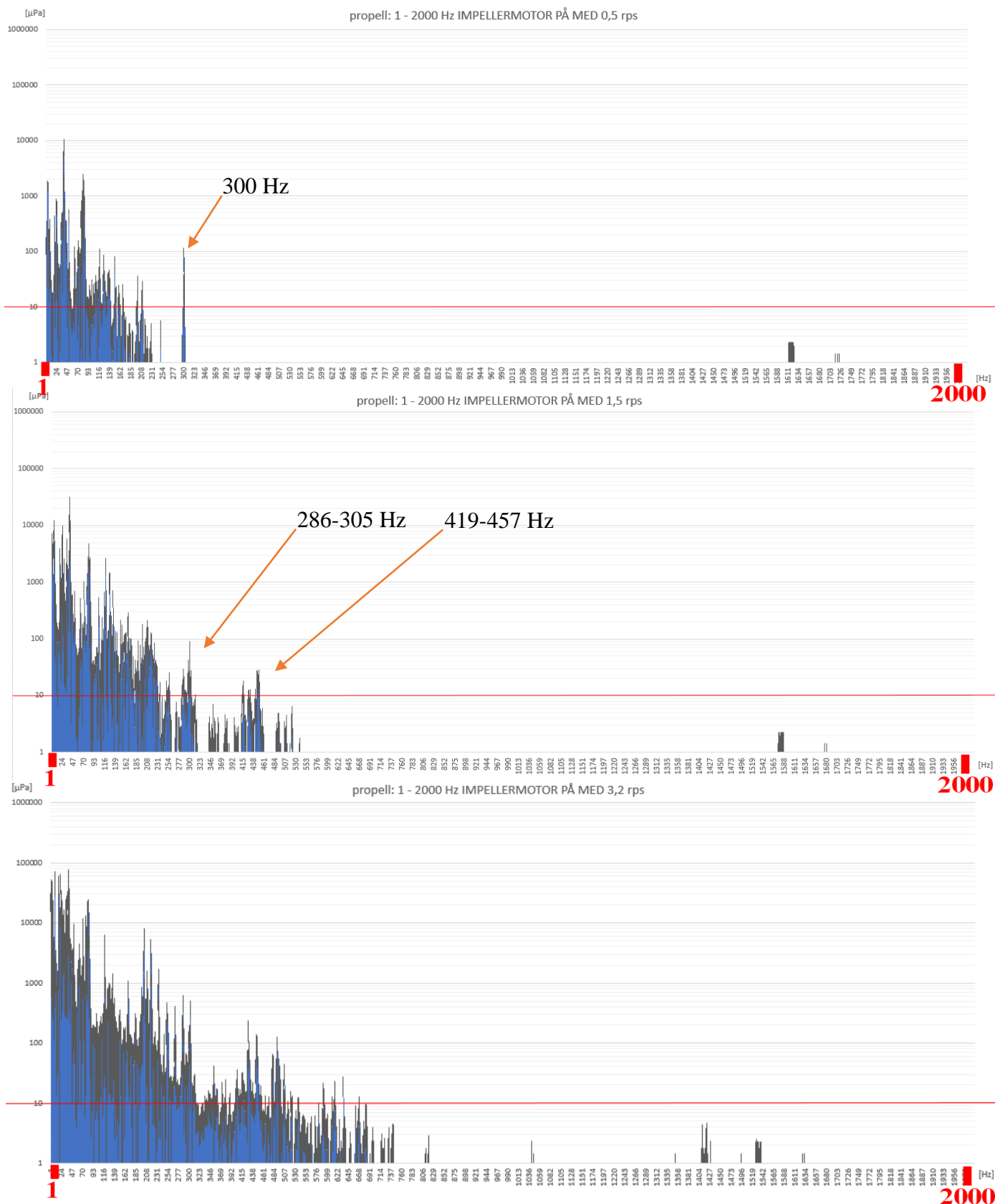


Diagram 21: overordnet bilde av frekvensspekteret når impelleren går med 0,5, 1,5 og 3,2 rps ved scenario 12, 13 og 14.

Vi kommer her også til å trekke frem noen av funnene vi har hatt ved å gå dypere inn på enkelte frekvensområder.

Frekvensområdet 1-60 Hz er annerledes nå når vi kun kjører impellermotoren. Når vi hadde propellmotoren i gang, hadde vi ikke like synlige topper ved 4, 5, 23 og 25 Hz. I stedet for hadde vi utslag på 27-30 Hz, som ikke lenger er synlig når impellermotoren går med 0,5 rps. I tillegg har vi aldri tidligere sett en topp på 39 Hz i tilknytning med impellermotoren. Denne har bare vært til stede når propellmotoren har vært på. Nå har vi i tillegg fått en topp på 40 Hz.

I forhold til når vi kjørte forskjellige hastigheter på propellmotoren, kan også her se tendenser til de eksponentielt avtagende amplitudene i frekvensområde 1-4 Hz. Denne ser vi når impellermotoren går med 3,2 rps. Ved denne hastigheten er propellen begynt å gå som konsekvens av vannstrømningen som øker mistanken om at denne støyen er direkte knyttet til propellstøy eller propellakselens rotasjon.

Generelt sett ser vi samme tendens som vi gjorde når vi kjørte propellen, nemlig at det er flere utslag dess høyere rps vi kjører impellermotoren med. Når vi kjører med 1,5 og 3,2 rps får vi mer støy i områdene 282-305 og 440-457 Hz. Disse områdene er mest fremtredende ved 1,5 rps. Dette tar vi med oss videre ettersom det er denne hastigheten vi skal kjøre impellermotoren med når vi legger inn propellmotoren i tillegg.

3.2.2.4 Impellermotor 1,5rps, propellmotor 1,5 rps, med og uten lyskastere og high speed kamera

Resultatene i denne delen er hentet fra:

- Scenario 17 og 37: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 1,5 rps. Med og uten propell
- Scenario 18 og 38: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 1,5 rps. Med og uten propell, i tillegg er kamera innkoblet
- Scenario 19 og 39: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 1,5 rps. Med og uten propell, i tillegg er kamera og lyskastere innkoblet

Hensikten med å både kjøre propell- og impellermotor sammen var for å kunne se de i det helhetlige bildet av kavitatsjonstunellen i drift. Gjennom tidligere analyse klarer vi forhåpentligvis å trekke paralleller mellom støy som kommer fra propell- og impellermotor. Vi starter med overordnede bilder av frekvensspektrene fra når 1) impeller- og propellmotor går med 1,5 rps. Med og uten propell, 2) impeller- og propellmotor går med 1,5 rps + kamera, med og uten propell og 3) impeller- og propellmotor går med 1,5 rps + kamera og lyskastere. Med og uten propell. Varmluftvifter tas ikke med in noen av disse fordi vi ikke har sett at det har en påvirkning i frekvensspekteret, i tillegg til at det er ikke nødvendig å ha på varmluftviftene når det senere skal gjennomføres forsøk i kavitatsjonstunellen.

Som vi ser i diagram 22 er det igjen mest aktivitet i starten av spekteret. Vi kan også så se utslag ved 82, 100, 130, 300, 600 og 900 Hz området. Til forskjell fra når propellen kjørte med 8 eller 11,66 rps avtar ikke nå amplitudene ved de lave frekvensene lenger eksponentielt. Som vi har nevnt tidligere kan denne eksponentielle tendensen kan ha en sammenheng med hastigheten på propellmotoren.

Merket område i diagrammet viser utslag som karakteristisk sett er helt likt det vi så når vi bare hadde impellermotoren gående på 1,5 rps. Ettersom denne kom til syne igjen nå, og ikke har vært til syne når vi kun har kjørt propellmotoren, indikerer dette at den har en sammenheng med impellermotoren.

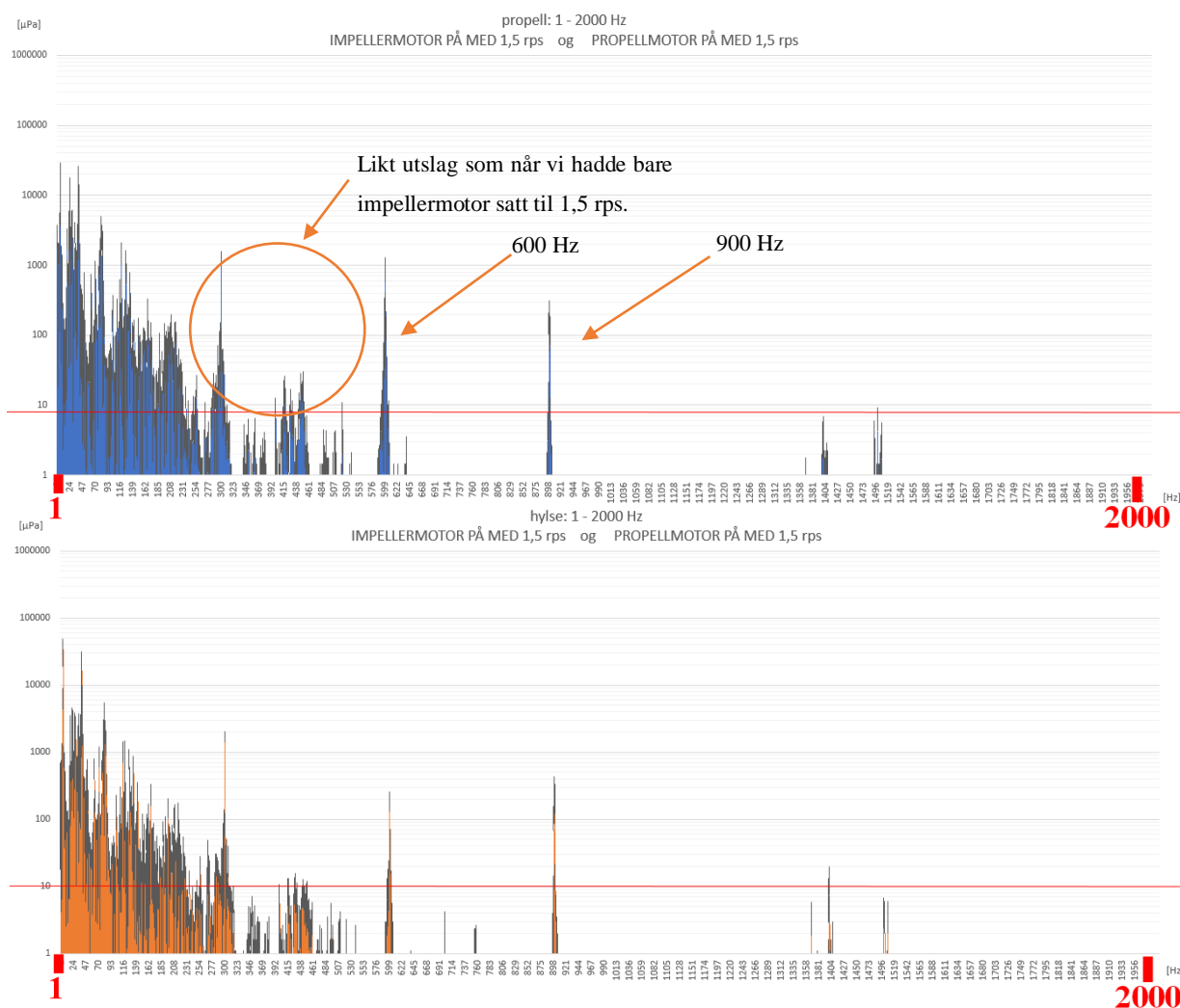


Diagram 22: Overordnet frekvensspekter fra når propell- og impellermotor går med 1,5 rps.

Øverste diagram er når propell er montert, mens laveste diagram er når hylsen er montert.

Scenario 17 og 37.

Vi ser videre på det overordnede frekvensspekteret når high speed kamera og lyskasterne er innkoblet. Dette for å se om disse vil påvirke lydbildet når en kjører med kavitasjonstunellen. For å kunne se om vi ser mer støy ved high speed kamera og lyskasterne innkoblet ser vi alle tre diagrammene over hverandre i diagram 23. Som vi ser er spektrene veldig like, og det ser ikke ut til at high speed kameraet og lyskasterne har betydelig innvirkning i støybildet. Forskjellene ligger i at noen av frekvenstoppene er mer intense. I tillegg kan vi se antydning til mer støy når kun high speed kameraet er innkoblet. Denne er riktignok veldig lav, og blir ikke tatt stort hensyn til. I forhold til støyen vi tidligere har sett fra lyskasterviftene er ikke denne nå like fremtredende.

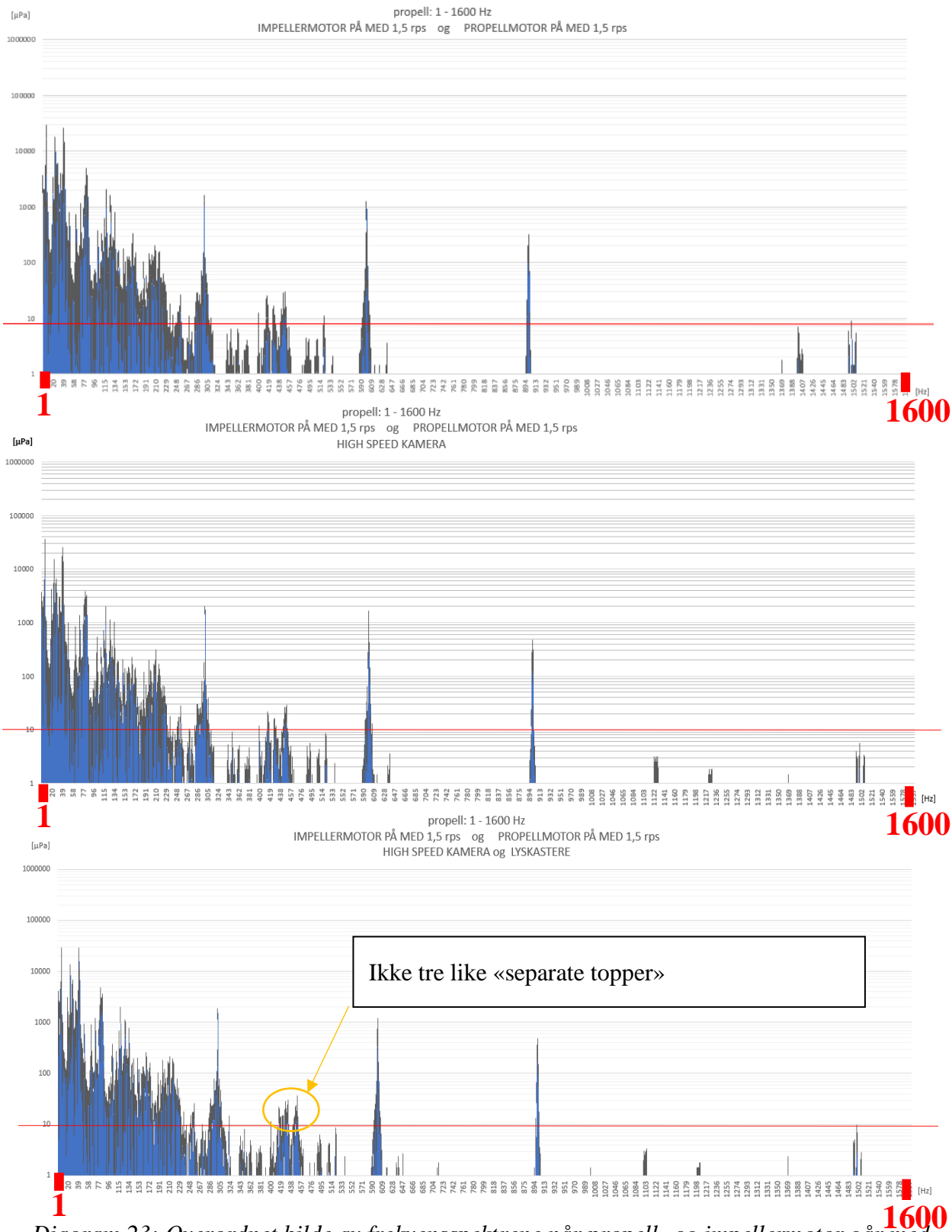
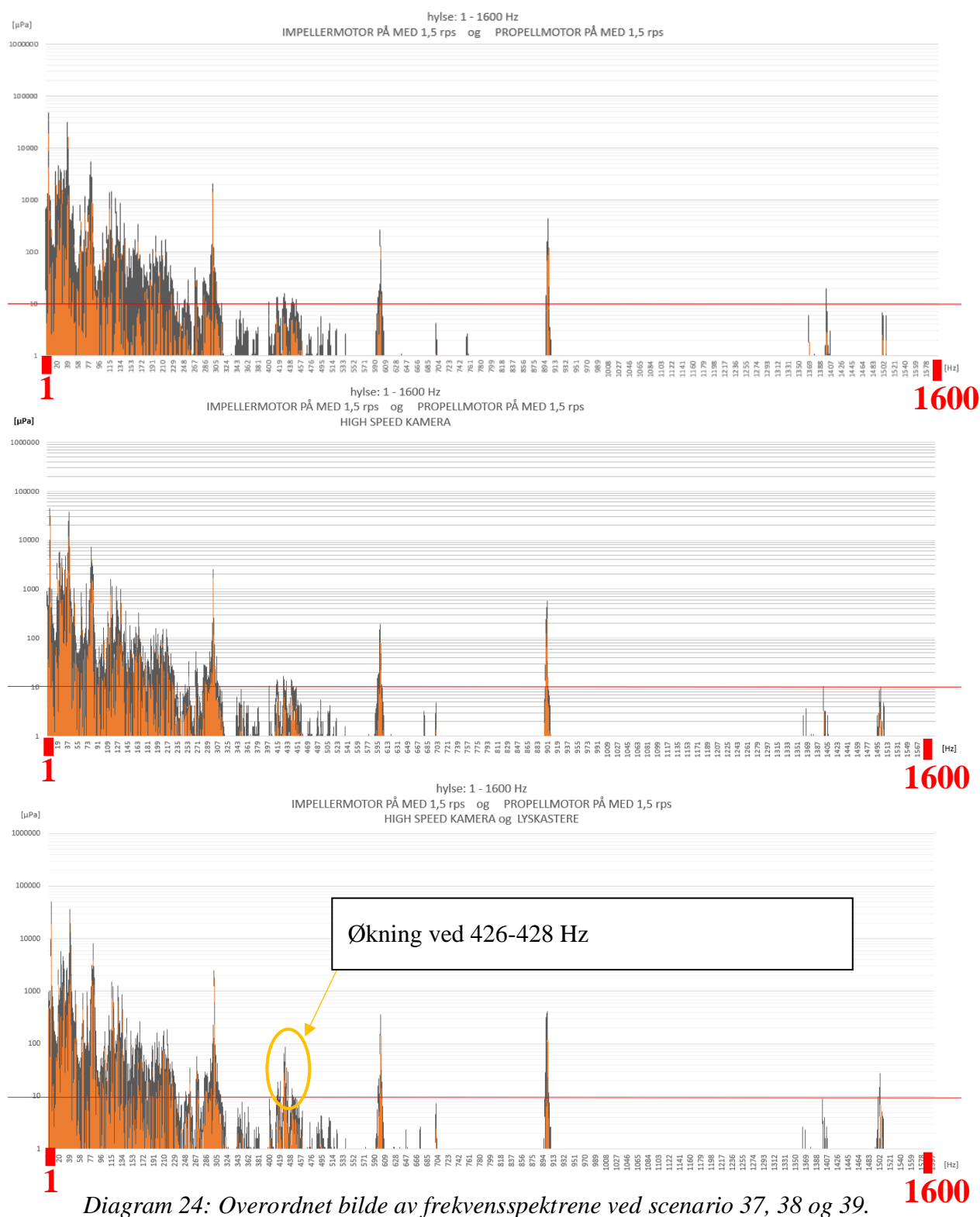


Diagram 23: Overordnet bilde av frekvensspektrene når propell- og impellermotor går med 1,5 rps. Første diagram er uten kamera og lys, andre er med kamera og siste er med kamera og lys. Scenario 17, 18 og 19.

Ser vi på samme oppsettet med hylsen montert istedenfor ser vi her også samme karakteristikk for hvert scenario. Dette kan ses i diagram 24. Her også er det i hovedsak intensiteten på de forskjellige toppene som varierer.



Som vi så tidligere i 3.2.1.3 *Scenario 3: med lyskasterne*, får vi opp et frekvensområde rundt 425 Hz når lyskasterne er koblet inn. Dette er har vi dermed vært interessert i å undersøke om vi finner når vi i scenario 19 og 39 kjører propell- og impellermotor på 1,5 rps sammen med high speed kameraet og lyskasterne. Vi ser her en liten forskjell når vi skrur på lyskasterne. Fra tidligere kjent med at vi får et utslag fra impellermotoren ved 419-457 Hz. Dersom vi ikke visste at lyskasterne tidligere hadde gitt utslag ved 425 Hz hadde vi trolig ikke lagt merke til denne endringen i like stor grad.

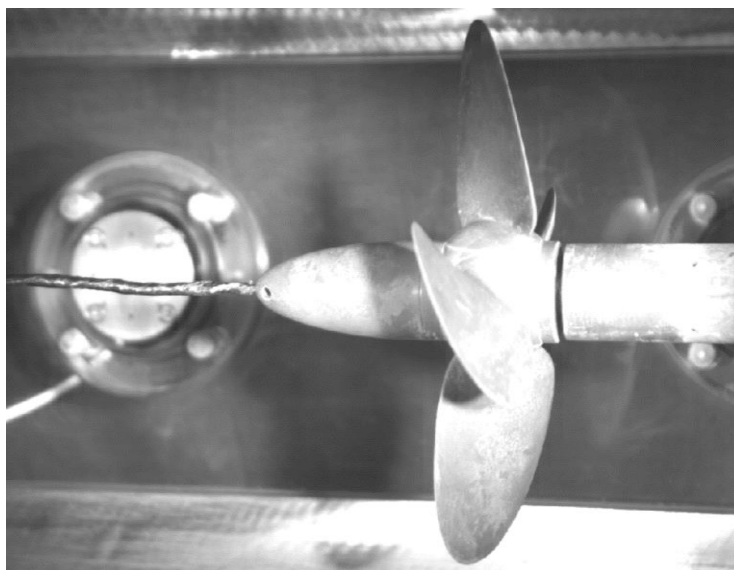
3.2.2.5 Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 15,5 rps, med og uten lyskasterne og high speed kamera

Vi skal nå se videre på:

- Scenario 23 og 43: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 15,5 rps. Med og uten propell. Her har det oppstått kavitasjon
- Scenario 24 og 44: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 15,5 rps. Med og uten propell, i tillegg er kamera innkoblet. Her har det oppstått kavitasjon
- Scenario 25 og 45: Impellermotor 1,5 rps, propellmotor 15,5 rps. Med og uten propell, i tillegg er kamera og lyskasterne innkoblet. Her har det oppstått kavitasjon

Vi har også gjennomført forsøk og fått resultater fra når impellermotor går med 1,5 rps, og propellmotoren med 8,0 rps. Vi har imidlertid valgt å ikke gå inn på dette ettersom vi ikke har sett noen betydelige endringer fra når impellermotor går med 1,5 rps, og propellmotoren går med 1,5 rps. I tillegg er vi ikke sikre på om det har oppstått kavitasjon ved 8,0 rps på propellmotoren eller ikke. Dermed går vi istedenfor videre på scenarioene som er beskrevet innledningsvis i dette avsnittet ettersom vi her med sikkerhet vet at det har oppstått kavitasjon, og at vi ønsker å se på hvordan dette har påvirket lydbildet. Resultatene fra scenarioene når impellermotoren går med 1,5 rps og propellmotoren med 8,0 rps kan ses i ses i *vedlegg B – Testresultater diagrammer*.

Som nevnt har det ved disse scenarioene med impellermotor 1,5 rps, og propellmotor på 15,5 rps oppstått tydelig kavitasjon. Denne kavitasjonen kan ses i figur 24, hvor vi tydelig ser at det har oppstått hub-kavitasjon.



Figur 24: Bilde av kavitasjon, her hub kavitasjon, som har oppstått når impellermotor går med 1,5 rps, og propellmotor med 15,5 rps

Overordnet sett virker karakteristikken i frekvensspekteret igjen likt. Vi ser i diagram 25 at 300 Hz nå er blitt den mest dominerende frekvensen hvor gjennomsnittet strekker seg opp mot 500 mPa med et standardavvik som gir sum opp mot 600 mPa. Ser vi på frekvensspekteret med hylsen montert ser vi at det er langt mindre utslag i intensitet. Her er heller ikke 300 Hz den frekvensen som dominerer i spekteret. Igjen avtar amplitudene ved de laveste frekvensene eksponentielt. Dette er ikke overraskende ettersom de fremtrer når vi kjører med høye hastigheter på propellmotoren. Vi ser også mer støy 1358-1818 Hz. Dette kan være kavitasjon ettersom dette kjennetegnes ved høyere frekvenser.

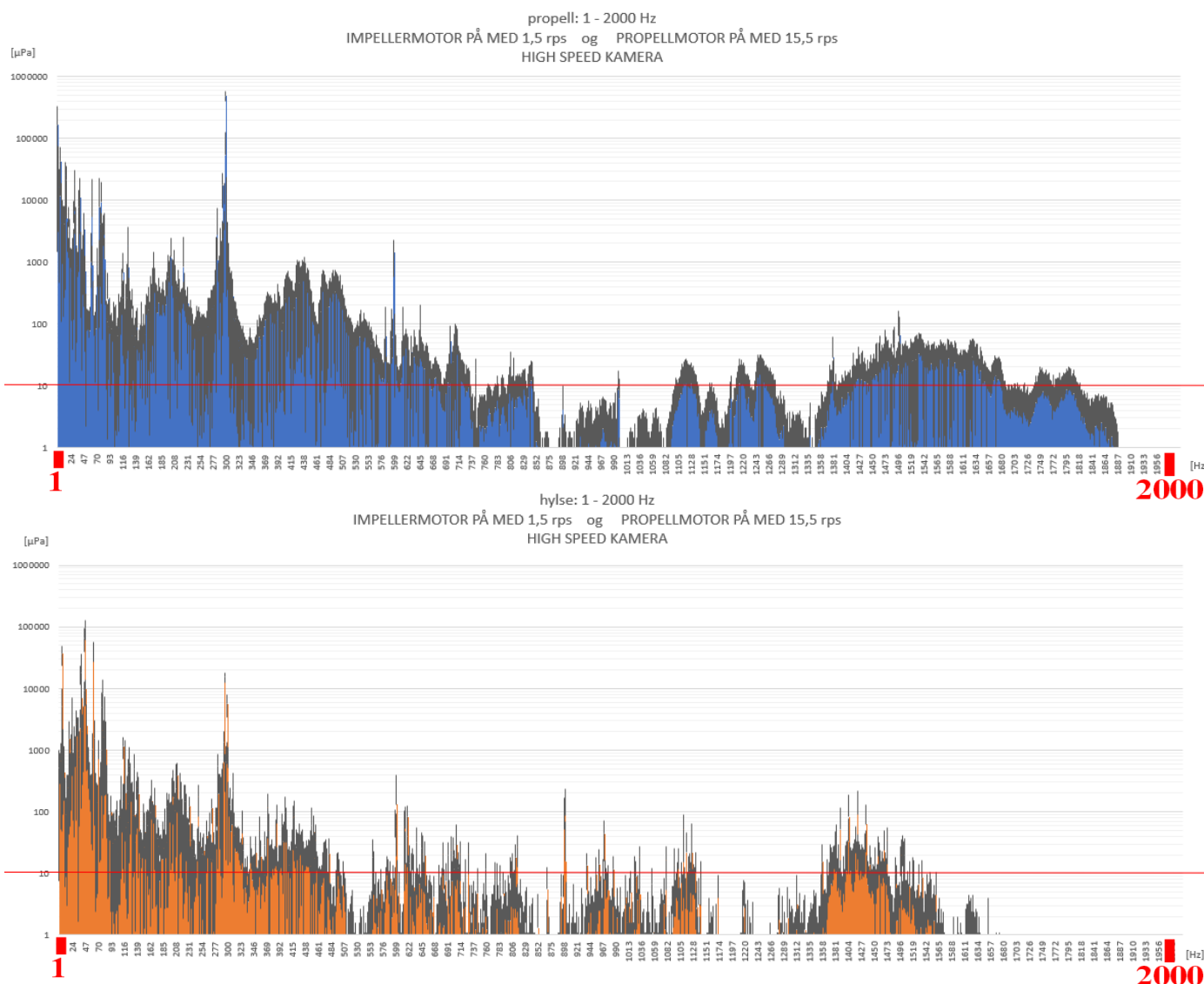


Diagram 25: Overordnet bilde av frekvensspekter når propell og hylse er montert. Scenario 24 og 44.

Noe som skiller seg veldig ut med resultatene fra impellermotor 1,5 rps og propellmotor 15,5 rps er at det kommer gjennomgående støy fra over 370 Hz og opp til 600 Hz. Her ser vi riktignok frekvenser av lav intensitet, samtidig som de er mer tydelig enn de pleier å være. Vi ser at det er mest støy når propellen er montert. Et utklipp at den sammenhengende støyen fra 370-600 Hz kan ses i diagram 26. Her ser vi knapt utslag når hylsen er montert noe som kan tyde på at dette er propellstøy.

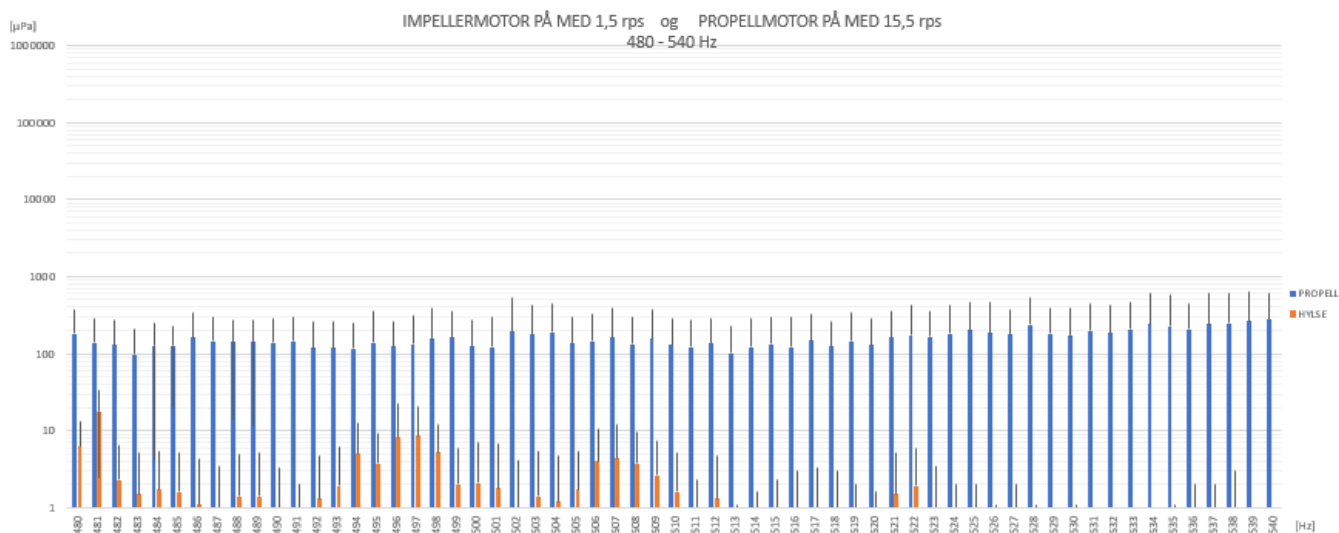


Diagram 26: Utklipp av frekvensområde 480-540 Hz ved scenario 23 og 43.

3.2.3 Undersøkelser av elektrisk støy

Under alle målingene vi har tatt får vi opp en markant topp på 50 Hz, samt overtoner av denne på 150, 250, 350 Hz osv. På grunn av overtonene vet vi at det er en firkantpuls som lager denne støyen. Slike harmoniske forstyrrelser er en konsekvens av utstyr som er koblet til samme strømmnett. Vi vet at vekselspanning fra en stikkontakt er en ren sinus, og er dermed ikke firkantmodulert. Med det sagt må de harmoniske forstyrrelsene komme fra en annen last enn stikkontakten i seg selv. Denne lasten kommer fra en komponent som har en likeretter. Dette kan eksempelvis være elbilladere, strømforsyningen til forsterkeren eller PC-en.

Vi forsøkte å lage et oppsett hvor vi brukte bærbar pc istedenfor den stasjonære. Et problem med dette er at vi ikke har fått tak i batteri til forsterkeren, noe som gjør at vi blir koblet på strømmettet uansett. Vi ønsket likevel å undersøke om det hadde noe innvirkning å bruke bærbar PC kontra den stasjonære datamaskinen som er på laben.

Først forsøkte vi å ta målinger med bærbar PC, oscilloskop og forsterker innkoblet. Vi har ikke noen rådata på dette, men fulgte med på øyeblikksbildene vi får opp på LabVIEW. Her var støybildet likt som hva vi pleier å få opp ved baseline. Ettersom både oscilloskopet og forsterkeren fremdeles var tilkoblet strømmettet var det ikke overraskende at vi fikk opp den vanlige støyen ved disse målingene. Da vi koblet vekk oscilloskopet derimot, fikk vi opp en ren firkantpuls i LabVIEW i tillegg til bare 50Hz og dens overtoner i frekvensspekteret. Umiddelbart virket det dermed som om den generelle bakgrunnsstøyen kom i tilknytning til oscilloskopet.

Ved visuell sjekk så vi jordingstegn på oscilloskopets strømforsyning. Dette kunne vi ikke se på forsterkerens. Vi fikk dermed en mistanke om at oscilloskopet var koblet til jord, mens forsterkeren ikke var det. Mistankene ble større etter vi så at forsterkeren gikk fortere i metning når oscilloskopet ikke var tilkoblet. Det kan dermed virke som om 50 Hz og dens overtoner kommer fra forsterkerens strømforsyning på grunn av likeretting, mens den generelle støyen vi får frem ved baseline kan skyldes jordingssystemet. Dette må riktignok forskes videre på.

3.2.4 Frekvensers utvikling gjennom ulike scenarioer

Når enkelte komponenter skrur på har vi sett antydning til en sammenheng med bestemte frekvenser. Derfor har vi valgt å hente frem frekvensene 50 Hz, 300 Hz og 425 Hz og se på hvordan gjennomsnittet fremtrer fra scenario til scenario. Grunnet avrunding og muligheten for at utslag forflytter seg til nabofrekvensen, har vi i disse diagrammene også valgt å sammenlikne frekvensen under og over.

Disse grafene er fremstilt lineært.

3.2.4.1 50 Hz

50 Hz med sine overtoner merket vi tidlig at stadig var til stede ved de fleste målinger, med ulik intensitet. Denne variasjonen virket også tilsynelatende ukonsekvent. I diagram 27 ser vi variasjonen til 50 Hz. Denne har variasjon over tid, og vi ser ingen umiddelbar tilknytning til enkelte komponenter.

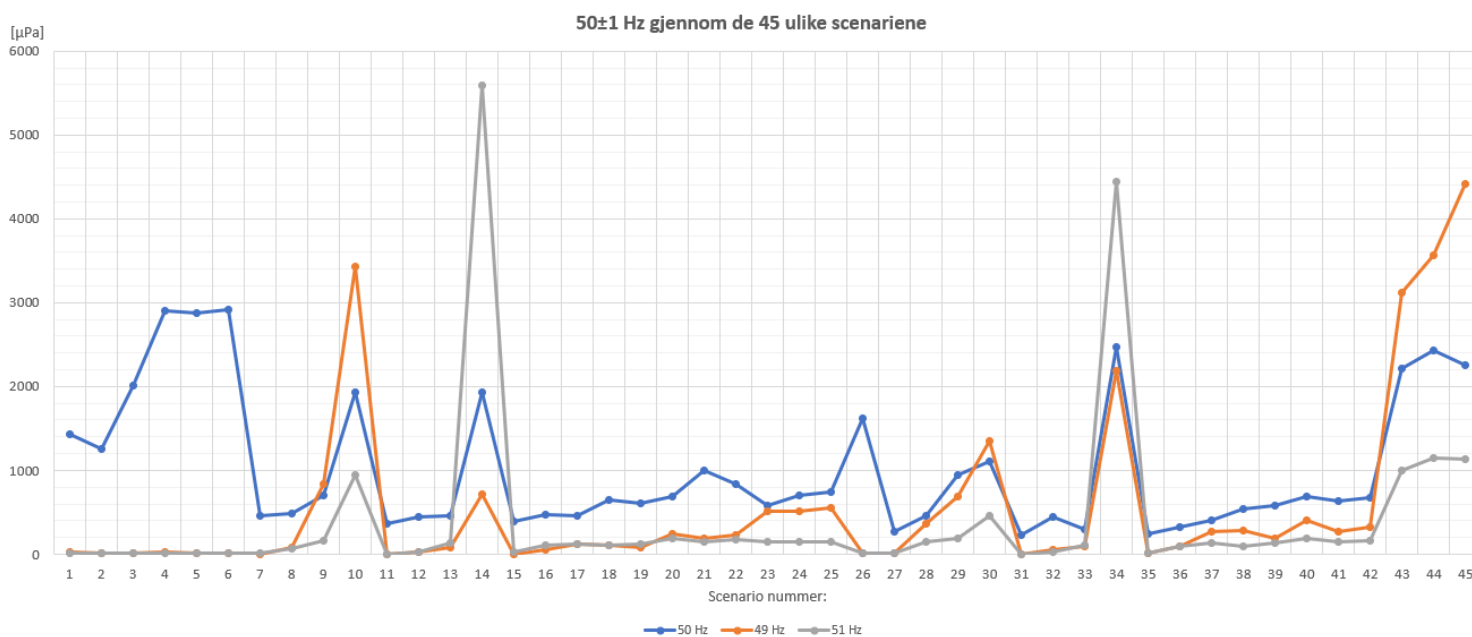


Diagram 27: Utviklingen av 50 Hz gjennom de ulike testscenarioene

3.2.4.2 300 Hz

300 Hz merket vi oss var fremtredende når propellmotoren gikk. Vi ser her tydelig at 300 Hz er til stede ved scenario 9 og 10 når propellmotoren går med 8,0 og 11,66 rps. Vi ser også en jevn intensitet ved scenario 20 – 22, når propellmotoren går med 8,0 rps sammen med impellermotoren og ulike omgivelser. Disse stemmer også godt overens med utslaget ved scenario 9, kun propellmotor 8,0 rps.

Videre til scenarioene når impellermotoren er på og propellmotoren går med hastighet 15,5 rps. Vi ser at disse tre har en felles høy intensitet, men med noen variasjoner. Fra tidligere kjenner vi at når propellen går med denne hastigheten finnes det også en del andre utslag i området som trolig ikke hører til denne sammenhengen.

En interessant observasjon er at 300 Hz er tilstede ved de ekvivalente scenarioene når hylsen er montert, men med tydelig mindre intensitet. Dette er mulig å se i diagram 28 i scenario 29-30 og scenario 40-45.

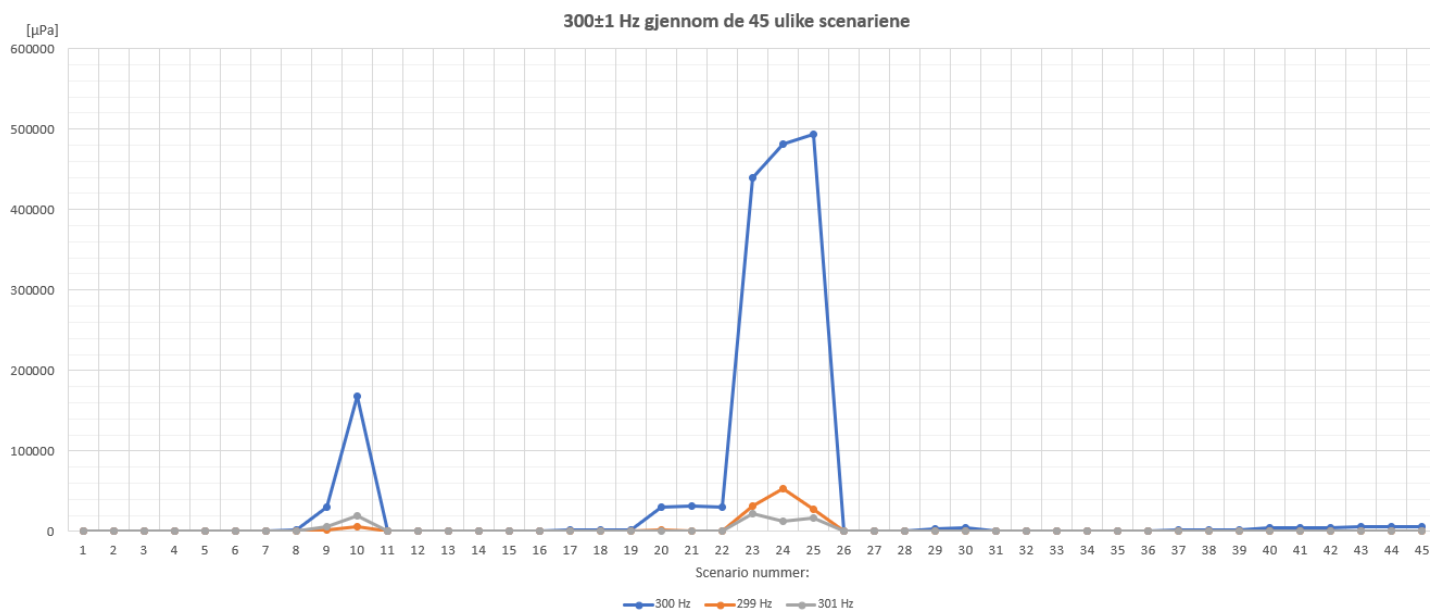


Diagram 28: Utviklingen av 300 Hz gjennom de ulike testscenarioene

3.2.4.3 425 Hz

425 Hz merket vi var en frekvens som viste seg når vi skrur på lyskasterne. Vi ønsket dermed kikke nærmere på denne teorien ved hjelp av en graf som viser variasjonen mellom de ulike scenarioene.

Som forventet ser vi utslag ved scenario 3, 5 og 6 som er de innledende scenarioene for å kartlegge komponentene utenfor kavitatsjonstunellen.

Vi får også tydelige utslag på scenarioene 9, 10 og 14, her er lyskasterne avskrudd. Dette trenger ikke bety at teorien som sier at lyskasterne har en påvirkning på 425 Hz, men kan fortelle oss at det er flere komponenter som kan ha innvirkning på denne bestemte frekvensen.

Ser vi videre til scenarioene 20-25 ser vi et utslag på samtlige av disse, vel å merke med ulik intensitet. Dette kan komme av både lyskasterne, men også i kombinasjon med utslagene vi så ved propellmotor og impellermotor på 9, 10 og 14. Vi ser også utslag ved de ekvivalente scenarioene 29, 30, 14 og 40-45 når hylsen er montert.

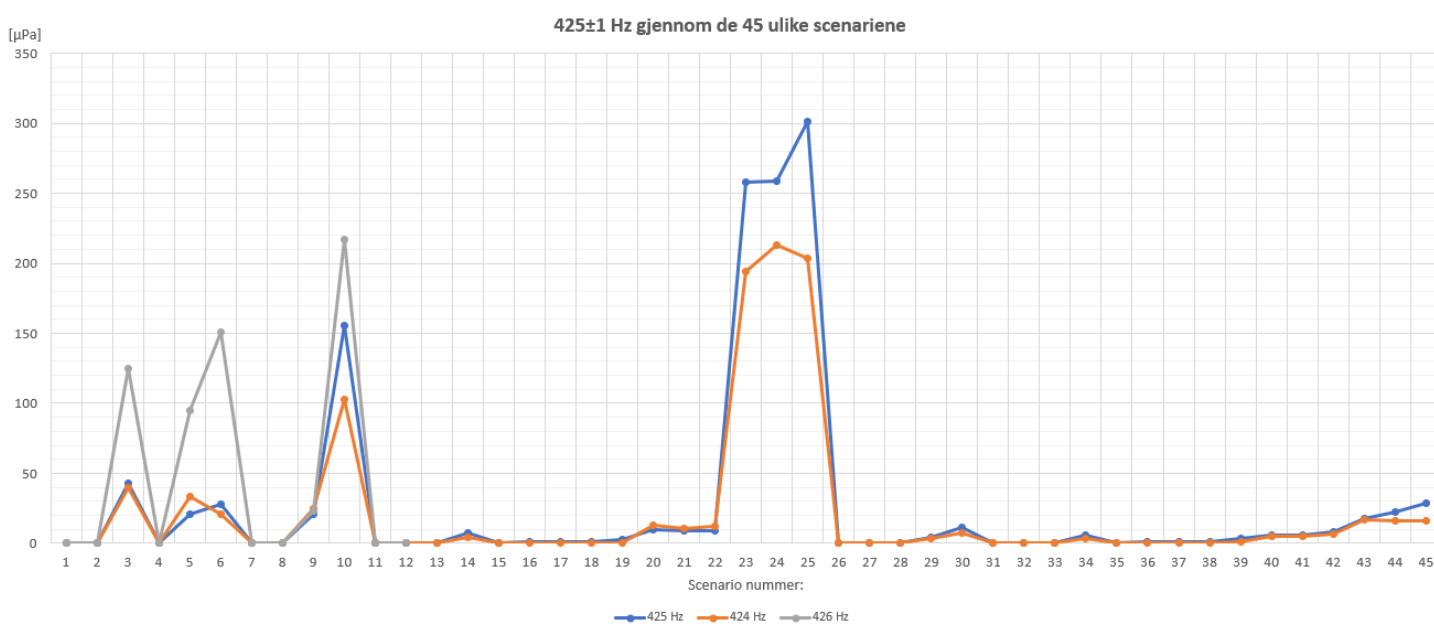


Diagram 29: Utviklingen av 425 Hz gjennom de ulike testscenarioene

4 Analyse

I denne delen kommenterer vi på relevante aspekter ved fremlagte resultater, og sammenligner enkelte av dem opp mot hverandre. Vi diskuterer også forskjellige innvirkninger, funn og feilkilder.

4.1 Sammenligning

4.1.1 Komponenter fra laben

I de innledende målingene våre, når kavitasjonstunellen ikke er i drift, er karakteristikken i frekvensspekteret mer eller mindre helt likt for hvert scenario. I likhet med når kavitasjonstunellen er i drift, er det absolutt mest støy i frekvensområdet 1-60 Hz. Normalt for toppene som dukker opp i dette området er at det er et stort standardavvik i forhold til selve gjennomsnittet. Hvilken betydning dette har kommer vi tilbake til i avsnitt *4.2.3 Gjennomsnitt og standardavvik*, men dette kan være en indikasjon på urelle målinger.

Videre er det imidlertid noen forskjeller 1 Hz når high speed kamera er innkoblet og støy rundt 225 Hz når lyskasterne er skrudd på. Det er vanskelig å si om kameraet har hatt lik innvirkning i målingene når vi tok forsøk med kavitasjonstunellen i drift, kontra når vi tok målinger uten kavitasjonstunellen. Etter hvert som vi tok forsøk med impeller- og propellmotor fikk vi nemlig store utslag på 1 Hz også. Å skille mellom hvilken støy ved 1 Hz som kommer fra high speed kamera og hva som er propell har vi ikke klart å se. Uansett var utslagene av 1 Hz såpass lav når kavitasjonstunellen ikke var i drift at high speed kameraet ikke har påvirket de senere målingene i særlig stor grad.

At lyskasterne ga tydelig støy, og ikke eksempelvis varmluftviftene, synes vi var overraskende. Ved senere ettertanke kan dette ha hatt en sammenheng med at lyskasterne er montert direkte på kavitasjonstunellen som gjør at det dannes en støybro som gjør det lettere for lyden å forplante seg enten gjennom metallet til hydrofonen, eller inn til vannet for så å gi utslag på hydrofonen. High speed kameraet med tilhørende lys og varmluftviftene er ikke i direkte kontakt på samme måte. Kameraet sto med lengre avstand fra kavitasjonstunellen, og står på egne ben. Varmluftviftene er montert enda lengre unna tunellen, montert oppe under taket langs veggene i maskinlabben. Etter vi tok målinger med kavitasjonstunellen i drift sammen med lyskasterne så vi ikke samme utslag som tidligere. Dette kan være fordi lyden fra impeller- og propellmo-

toren er såpass markante at de overdøver støyen som kommer fra lyskasterne. I tillegg nedjusterte vi forsterkningen etter vi satt på kavitasjonstunellen. Dette kan ha medført at denne delen av hydrofonsignalet som skyldes lyskasterne ikke er blitt forsterket og blitt med videre til samplingen.

Selv om vi kan se noen utslag fra komponentene når kavitasjonstunellen ikke er i drift, er det ingen klare indikasjoner på at high speed kameraet eller lyskasterne har betydelig innvirkning i målinger på propell. Karakteristikken i frekvensspektrene er nærmest helt like foruten at intensiteten varierer. Med tanke på intensiteten kan vi heller ikke fastslå om high speed kameraet eller lyskasterne medfører høyere μPa . Noen av utslagene er nemlig høyere når disse komponentene ikke er koblet til. Dette kan ha noe å gjøre med gjennomsnittsmålingene våre og de høye standardavvikene vi har spesielt i starten. For å fastslå om komponentene på laben har en betydelig innvirkning i målingene våre måtte vi gjort enda flere målinger, og gjerne forsøkt å beregne gjennomsnittene på en annen måte.

Varmluftviftene har vi ikke vurdert opp mot når kavitasjonstunellen er i drift. Dette fordi det er en enkel komponent å eliminere, og det er ingen vesentlig grunn til at disse må være på når man gjennomfører målinger. I tillegg kunne vi ikke se noen merkbar endring i frekvensspekteret da de var skrudd på.

4.1.1.1 Delkonklusjon

Det er absolutt mest aktivitet og variasjon i området 1-60 Hz. Normalt sett er det topper i frekvensområdene 8-10, 19-25, 31-36, 46 og 50 Hz. Ved mange av tilfellene har toppene et større standardavvik en selve gjennomsnittet, og vi burde dermed ha langt flere målinger for kunne fastslå nøyaktig hva disse frekvensene er. Vi har imidlertid en 1 Hz som kommer frem når high speed kamera slår inn, i tillegg til at kameraet påvirker intensiteten på spesielt 33 og 34 Hz. 50Hz mistenkes å være lekkasje fra nettet ettersom anlegget går på 50 Hz.

Foruten om frekvensene i området 1-60 Hz har vi en 150 Hz som er en overtone av 50 Hz. Størrelsen av denne vil variere ut ifra hvor intens 50 Hz er. 200 Hz viser seg å være stabil i alle tilfeller, og gjennomsnittet pleier å ligge på 100-200 μPa .

Når kameraet kobles inn, kommer det et utslag på området 425-430 Hz. Det anbefales å ikke bruke lyskasterne hvis mulig, og at en kun bruker lyset som skrur på i sammenheng med high speed kameraet. Dersom en vil bruke lyskasterne, må en være obs på topper som kommer i området 425-430 Hz.

Varmluftviftene anbefales å la være av. Det ser ikke ut som om disse har noe særlig innvirkning i støybildet, men det er en lett komponent å eliminere.

4.1.2 Propell vs. Hylse

Ved å sammenlikne scenarioer hvor hylsen eller propellen er montert, men resten av oppsettet ellers er likt kan vi forhåpentligvis finne sammenhenger mellom hvilke lydsignaturer som hører til støykilder som propellens signatur, akselens rotasjon, propellmotoren eller impellermotoren.

En generell tendens er at når propellen er montert ser vi de samme frekvensmønstrene som det vi ser når hylsen er montert, men med sterkere intensitet. Alle propeller har en akustisk signatur, i tillegg til at når det oppstår kavitasjon vil det også komme akustisk støy fra bobler som imploderer. Vi ser allikevel på det som et interessant funn at den ekstra støyen som oppstår når propellen er montert er i de samme frekvensområdene som vi har utslag på når det kun er hylsen som er montert. Dette tyder på at propellen har en forsterkende effekt på støy som allerede er til stede. En måte å bekrefte eller avkrefte denne teorien på kan være å gjennomføre liknende forsøk med en propell av annen karakteristikk for å sjekke om den har samme forsterkende effekt, eller om den vil gi utslag ved andre frekvenser.

En annen begrunnelse på denne intensitetsforskjellen kan være at våre målinger med propellen ble gjennomført i uke 45 2022, mens målingene med hylse ble gjennomført i uke 46 2022. Her kan det være forskjell i ytre forutsetninger som ikke har blitt kartlagt, som for eksempel værforhold. Da det ble montert om fra propell til hylse måtte tunellen delvis tømmes for vann før det deretter ble etterfylt igjen. Dette kan ha påvirket vannets tetthet eller noen millimeter med vann. Om dette hadde vært av betydning ville det trolig vært en indikasjon på dette i trykkmåleren inne i kavitasjonstunellen.

Vi gjør derimot et annet funn ved 370 – 600 Hz når propellmotoren og impellermotoren går. Her er det akustisk støy kun til stede når propellen er montert, og ikke når det er hylsen som er montert (*Diagram 26, s. 70*). Dette er tydelig indikasjon på at denne støyen kan knyttes direkte opp mot propellens egenstøy eller kavitasjon.

En annen faktor som skiller scenarioene når propellen er montert fra når hylsen er montert er en liten økning i vannstrømningen forbi hydrofonen. Propeller er laget for å skape et skyv gjennom vannet, når det propellen er montert til ikke lar seg flytte vil propellens skyv øke vannhastigheten. Dette kan også ses i sammenheng med scenarioer når impelleren er av i forhold til når

den er påskrudd og med turtall. Når vannet er med strømming øker det totale lydbildet, vannstrømmingene forbi hydrofonen kan være med å påvirke trykket hydrofonen registrerer.

Ved scenario 14 og 34 var hastigheten på impelleren satt til 3,2 rps, av den grunn at dette var hastigheten på vannet som var nødvendig for at vannstrømmingen skulle trekke med seg propellen og få akselen til å rotere uten pådrag fra propellmotoren. Der vi sto som observatører var det en hørbar synging fra akselen, trolig lager, når propellakselen gikk rundt. Tross dette er det ingen markant forskjell på målingene når propellen er montert og når hylsen er montert, dette gjør det vanskelig å hente ut hvilken frekvens den nevnte aksellyden gir utslag på.

Det er allikevel en gjennomgående observasjon på frekvensspektrene når impellermotoren går og propellen er montert på akselen. Når propellen er montert ser vi en litt forsterket, men ellers tilnærmet lik, karakteristikk som når hylsen er montert. Om disse utslagene er signaturen på vannstrømmingene kan det skyldes at propellen blokkerer strømmingen enkelte steder og tvinger deler av vannstrømmen rundt propellen. Her er det også viktig å huske på, som nevnt tidligere, at de ulike oppsettene av kavitasjonen førte til at disse målingene måtte gjøres ulike uker og det kan dermed også være andre faktorer som spiller inn på følsomheten til hydrofonen.

Disse små forskjellene mellom når propellen og hylsen er montert er også ofte såpass små at de de havner innenfor hverandres standardavvik. Dette kan være en indikasjon på at det er for stor variasjon i målesystemets virkemåte og målenøyaktigheten ikke er stor nok. Selv om det ved våre konkrete forsøk viser antydning til litt sterkere intensitet ved propellmålingene, kan dette skyldes tilfeldigheter i måletidsrommet og at de egentlig havner innenfor samme intensitet. Dermed er det en mulighet for at propellresultatene og hylseresultatene flere av disse stedene hadde nærmet seg hverandre om det ble gjennomført flere forsøksgjennomføringer.

4.1.2.1 Delkonklusjon

Når propellen er montert kommer det jevnt over en forsterket intensitet på de samme frekvenskarakteristikkene som er til stede når hylsen er montert. Denne økningen i intensitet er stort sett såpass liten at det kan være flere grunner til at vi kan konkludere med at dette er en forskjell mellom hylsen og propellen basert på de resultatene vi sitter på.

Når både propellmotoren og impellermotoren går ser vi derimot en markant forskjell mellom propellresultatene og hylseresultatene i området 370 – 600 Hz. Dette utslaget når propellen er montert er av såpass ulikt mønster fra hylsen at det kan konkluderes med at dette er frekvenser tilhørende propellens egenstøy eller kavitasjon.

4.2 Diskusjon

Vi går nå inn på diskusjon av forskjellige elementer ved forsøkene våre, som eksempelvis elektrisk støy, utstyr og nøyaktighet.

4.2.1 Forsterkning og omgjøring til Pascal

Under forsøkene har vi gjort målinger med forsterkningene 0,1 V/Pa og 1 V/Pa. I resultatene er målingene omgjort til Pascal som er det faktiske målet på hvor stort trykk hydrofonen ble utsatt for av lydbølgene.

Disse omgjøringene er gjort på følgende vis: For resultater målt med forsterkningen 1 V/Pa multipliseres målt verdi med 1 Pa/V, mens for resultater målt med forsterkningen 0,1 V/Pa multipliseres målt verdi med 10 Pa/V. Til slutt multipliseres alle målinger med 10^3 mPa/Pa. De største amplitudene er fra 10 mPa for baseline til over 100 mPa når propell kjøres med 11,66 rps.

Datalagringen i LabVIEW er programmert til å lagre 7 siffer i datalagringsfilen, dette utgjør en presisjon på 1 μ V. Kombinasjonen med de ulike forsterkningene i omgjøring fra pascal til volt er grunnen til at de første målescenarioene får en oppløsning på 1 μ Pa, mens scenarioene fra og med 7 har en oppløsning på 10 μ Pa. Dette vil si at det ikke er lagret data om de laveste intensitetene, når vi går videre til senere scenarioer. Dette kan være forklaringen på hvorfor vi ser antydning til utslag på enkelte frekvenser ved de første målingene, men som ser ut til å forsvinne når vi legger på flere komponenter. Forklaringen her er da at de lave signaturene ikke forsvinner, men ikke lenger blir fanget opp ved den svakere forsterkningen.

4.2.2 Avrundninger i LabVIEW

I LabVIEW -programmet gjennomføres Fast Fourier Transformasjon fra tidsdomenet til frekvensdomenet med en oppløsning på 1 Hz. Når oppløsningen er satt til 1 Hz vil utslag som havner mellom hele frekvenser enten rundes opp eller ned avhengig av hvilken verdi som befinner seg på tiendedelsplassen.

Når det gjennomføres samplinger er det avhengig at når på lydbølgene samplingene blir gjort. Dette kan resultere i at enkelte topper ikke blir fanget opp og at bølgen blir tolket som en nesten-lik-frekvens. Når det er snakk om kun tiendedeler i forskjell kan dette være nok til å vippe opp

til frekvensen over, eller ned til frekvensen under. Derfor er det også av interesse å se på frekvensene i nærheten av en interessant frekvens, og eventuelt summen av disse for å vurdere om den totale intensiteten kan være tilsvarende det vi har sett ved andre scenarier.

4.2.3 Gjennomsnitt og standardavvik

Vi har benyttet oss av det totale gjennomsnittet i grafene vi har kikket på, dette gjennomsnittet er på hver enkelt frekvens gjennomsnitt av hver enkelt serie i den frekvensen med det gitte målescenarioet. Deretter har vi benyttet oss av standardavvik for populasjoner for å få en indikasjon på variansen innenfor hver frekvens i det gitte målescenarioet. Dette standardavviket forteller oss om variansen mellom hver enkelt måleserie. En måleserie er totalt på 2 sekunder, hvor det første sekundet samler verdier, mens i det andre sekundet blir samplingene behandlet med Fourier-transformasjon som presenteres som en graf på skjermen og lagres i et .txt-dokument. Vi er dermed kjent med at det blir en viss varians fra måleserie til måleserie.

En annen måte dette kunne vært gjort på er om vi som totalgjennomsnitt istedenfor hadde tatt gjennomsnitt av de mindre gjennomsnittene fra hver enkelt måling. Dette ville gitt oss et gjennomsnitt av de 10, 6 eller 4 målingsgjennomsnittene, og ville gitt oss et totalgjennomsnitt med standardavvik som istedenfor ville vært beskrivende for hvilket gjennomsnitt som kan forventes av en måling på 20 serier.

4.2.4 Elektrisk støy

For å undersøke den elektriske støyen på laben tok vi noen målinger med bærbar pc. Vi klarte ikke å få måleoppsettet totalt uavhengig at nettet ettersom vi ikke hadde et forsterkerbatteri, i tillegg til at oscilloskopet heller ikke er batteridrevet. Vi merket imidlertid at det var en effekt av å benytte oss av bærbar PC. Vi klarte fint å se tendenser til en firkantpuls sammensatt av mange signaler.

Mens oscilloskopet er koblet til jord, er ikke forsterkeren det. For å teste innvirkningen av oscilloskopet gjorde vi noen tester hvor vi bare hadde forsterkeren tilkoblet til nettet. Når vi gjorde dette endret bildet seg drastisk på oscilloskopet. Fra en firkantpuls sammensatt av mange signaler kom det nærmest en ren firkantpuls. Dessuten, når vi koblet vekk oscilloskopet gikk forsterkeren i metning mye fortere, ettersom vi fjernet jordingen til oppsettet.

I alle forsøkene våre av baseline har vi mye støy i området fra 0-50 Hz. Når vi koblet bort oscilloskopet ble denne borte. Det kan tyde på at støyen kommer fra jordingen av systemet. At

vi nærmest fikk en ren firkantpuls i tillegg til at forsterken gikk i metning kan skyldes at den ikke klarer å forsterke innsignalene på samme måte som når systemet er jordet. Den eneste frekvensen som kommer til syne når vi har denne tilstanden er 50 Hz og overtoner av denne (150, 250, 350, osv.). Dette kan tyde på at frekvensen kommer fra strømforsyningen til forsterkeren, og at den vil bli borte dersom vi hadde hatt et batteri i forsterkeren. For å undersøke dette videre bør det dermed kjøpes et batteri av typen Nickel-Metal Hydride Rechargeable Battery QB-0048 med lader.

Et annet moment med den elektriske støyen er at den kan påvirkes ytterligere av elbilene som står til ladning utenfor. Dette kan ha vært med å påvirke målingene våre ettersom bilene vil trekke mer fra nettet dess flere biler som står der. Videre medfører dette gjerne en skjev fasefordeling i anlegget som videre fører til overharmoniske svingninger.

4.2.5 Utstyr

På et tidspunkt fikk vi problemer med den stasjonære datamaskinen underveis i forsøkene. Dette kan være en konsekvens av at programvaren på maskinen er Windows 7, som begynner å bli veldig utdatert. Når enkelte program går lenge, kan dermed maskinens hukommelsesområde fylles opp slik at de ikke fungerer optimalt. Det kan dermed være hensiktsmessig å stanse eksempelvis LabVIEW slik at en kan rydde i maskinens hukommelse. Maskinen har i tillegg ikke noe backup lagring. Dersom den krasjer, vil all data som er lagret på maskinen bli borte. Selv om det vil være en dyr affære, anbefales det å oppgradere datamaskinen og sørge for at den har backup. Dette vil være en investering opp mot fremtidig forskning og undervisning på maskinlaben.

Oscilloskopet er et godt hjelpemiddel når det gjelder å observere variasjoner og unøyaktigheter i innsignalene. Ved enkelte av komponentene, spesielt når vi tok på high speed kamera med tilhørende lyskaster, så vi at dette medførte mye variasjoner på oscilloskopet. Signalet tok lang tid før det stabiliserte seg om 0, og dersom vi hadde startet å ta lydmålinger mens denne stabiliserte seg, ville vi fått en stor 0 Hz på frekvensspekteret. I forhold til alle de andre frekvensene, hadde denne vært mye mer markant. Videre diskusjon rundt 0 Hz, og hva denne har å si, kommer i *4.2.3 Støyfiltrering*.

Maskinlaben i sin helhet er ikke gunstig tilrettelagt for å gjennomføre lydmålinger. Mellom laben og kavitasjonstunellen er det ikke lagt til rette for lydisolering, noe som medfører mye metall mot metall-støybroer. Oppe ved måleseksjonen på kavitasjonstunellen står vi på en plattform bygget som et stillas. Denne har direkte kontakt med tunellen, som også er av metall.

Ettersom metall er noe som leder mye lyd, blir det store utslag i signalet dersom noen beveger seg på plattformen mens det tas forsøk. Dette har vi hatt stort fokus på i våre gjennomføringer, men det er viktig å være klar over at flere komponenter som propellmotoren, datamaskinen og high speed kameraet står direkte på dette samme andreetasje-stillas og er i direkte kontakt med kavitasjonstunellen.

I tillegg er kavitasjonstunellen festet direkte til felles betonggulv som resten av utstyret i maskinlabben. I en ideell situasjon hadde kavitasjonstunellen stått på et eget fundament med demping som begrenser støybroer. Samtlige komponenter som står i tilknytning til kavitasjonstunellen kunne hatt større fokus på støybroer og overføringen av lyd inn til vannet og direkte påvirkning av hydrofonens egen innfestning.

Varmluftsviftene derimot er en komponent som er relativt høylytt når vi er inne på laben, og er en komponent vi forventet kom til å gi store forstyrrelser på våre målinger. Vi har imidlertid sett at disse viftene har hatt minimal innvirkning på lydbildet. Grunnen til dette er trolig at lyden hovedsakelig bærer gjennom luft og har ingen direkte støybro inn til kavitasjonstunellen og hydrofonen.

4.2.6 Samplingsfrekvens

Samplingsfrekvensen ble satt til 30 kHz med en Nyquist-frekvens på 15 kHz, for så å filtreres ned med et lavpassfilter på 10 kHz som et antialiasingfilter. Disse frekvensene ble valgt med bakgrunn i samtale med FMA hvor vi konkluderer med at hoveddelen av fartøyssignaturer ligger rundt 8 kHz. I tillegg er kavitasjonslydstøy fra implosjon en typisk høyfrekvent lyd som befinner seg på et par tusen Hz.

I våre resultater ser vi kun små utslag på gjennomsnittet opp til 2 kHz, og selv disse befinner seg godt under grensen vi har satt på 10 μ Pa. Dette kan trolig bety en av to ting. Første mulighet er at lydbildet i kavitasjonstunellen ikke består av høyere frekvenser enn det vi ser antydning til opptil 2 kHz. En annen mulighet er at kombinasjonen av hydrofon, forsterkning og antall lagrede desimaler ikke er tilstrekkelig for å fange opp lavere intensitet av frekvenser som er en del av lydbildet, men har frekvenser over 2 kHz.

Dersom lydbildet til kavitasjonstunellen kartlegges videre, eller lignende forsøk tas, er det hensiktsmessig å være klar over dette. Gjennom flere forsøk kan dette bekreftes/avkreftes ved å lagre flere siffer i tekstfilen, samtidig som en er observant i forhold til metning på hydrofon og forsterker.

4.2.7 Støyfiltrering

En del av oppgaven har vært å undersøke hvordan vi kan filtrere bort enkelte frekvenser vi finner ut hva er. Dette fordi vi da kan rette fokus mot støybildet vi ikke har fått kartlagt. Når vi eksempelvis tok målingene våre, fikk vi til tider store utslag på 0 Hz. Denne skyldes en like-spenningskomponent i signalet som forskyver likevektslinjen for vekselspenningen bort fra null volt. Ettersom det ikke er noe lyd ved 0 Hz, er det ikke noe relevant informasjon i denne frekvensen som vi bør forske på. Dermed er dette en frekvens vi har fjernet i den grafiske fremstillingen vår i excel.

I fjerning av frekvenser må vi riktignok huske på at flere komponenter kan gi fra seg en støy ved en spesifikk frekvens. For å trekke frem 50 Hz som et eksempel er ikke denne noe vi bare kan fjerne på samme måte som 0 Hz. Dette fordi det ikke er sikkert det bare er strømmettet som påvirker intensiteten av nettopp 50 Hz. Denne typen databehandling kan trolig gjøres i excel ved å eksempelvis finne den gjennomsnittlige støyen ved hvert frekvensintervall og enten subtrahere eller addere usikkerheten, for å deretter trekke den fra målingene vi gjør i excel. Til tross for at det trolig kan gjøres i excel er det nok mye mer hensiktsmessig å gjøre noe slikt i eksempelvis python eller matlab. Forslag til fremtidig oppgave kan dermed være å modifisere databehandlingen av forsøksresultater med primærfokus på støyfiltrering.

Foruten om å fjerne deler av støyen vi kjenner ved de ulike frekvensene, kan vi også benytte oss av LabVIEW's innebygde frekvensfiltre. Her vil vi riktignok fjerne enkelte frekvenser fullstendig basert på de ulike områdene vi ønsker å se på. De frekvensfiltrene vi benyttet oss var forsterkerens innebygde lowpass filtre. Dette fungerte bra når vi fant ut hvordan det skulle gjøres, men en ulempe er at vi ikke kunne velge akkurat den frekvensen vi ønsket. Dermed kan det være hensiktsmessig å sette seg inn i filtreringsmulighetene LabVIEW har for å tilpasse når en kutter vekk frekvenser. Dette vil også være en mer datateknisk oppgave.

4.2.8 Feilkilder

4.2.8.1 Driftsforhold

Vi har forsøkt å holde alle driftsforhold mest mulig like. Som standard har vi alltid tatt tester når vannivået i tanken er fylt. Vannivået endret seg imidlertid litt når vi monterte hylsen istedenfor propell på akslingen. I den anledning måtte vi tappe ned vannet slik at vi fikk montert på hylsen for å så fylle tunellen igjen. Dette medførte at nivået var høyere når vi fikk montert

hylsen inn. Grunnen for at nivået ble høyere skyldes at for å få ut luftboblene som oppsto under demonteringen og monteringen, måtte vi fylle resten av tunellen mens vakumpumpen gikk.

Videre er det også vanskelig å holde temperaturen og trykket i tunellen stabil. Dette avviket med ± 1 på tunelltrykk og $\pm 0,2$ ved tunelltemperatur, og kan ha hatt en innvirkning i forsøkene våre.

4.2.8.2 Variasjon fra gjennomsnittet

Måten vi har valgt å regne ut hovedgjennomsnittet ved hvert målescenario er å ta gjennomsnitt og standardavvik av samtlige måleserier. I og med at enkeltserier er øyeblikksbilde av et lydbilde er det mye mindre presist og derfor også uinteressant i forhold til gjennomsnittet av den bestemte målingen. Variasjonen mellom hver enkelt serie blir veldig stor og gir et stort standardavvik som ikke forteller nevneverdig mye om forventningene vi kan ha til liknende forsøk.

En alternativ måte å regne hovedgjennomsnitt og standardavvik på hadde vært å ta gjennomsnitt av gjennomsnittene fra hver måling. Og på samme måten tatt standardavviket mellom hvert av de mindre gjennomsnittene. På denne måten ville vi fått et gjennomsnitt og standardavvik som fortalte oss hvilket gjennomsnitt vi kan forvente, og sannsynligheten for å havne innenfor standardavviket når en måling består av 20 måleserier.

4.2.8.3 Ytre påvirkninger

Vi har ikke tatt særlig høyde for ytre påvirkninger, og vet dermed ikke om dette påvirket målingene våre negativt. Med ytre påvirkninger mener vi her elbillading, vær, sjøgang og aktivitet på kaien. Trolig har ikke vær, sjøgang eller aktivitet på kaien hatt særlige påvirkninger, fordi denne støyen har vært mindre merkbar enn den som kommer fra varmluftsviftene. I 4.1.1 så vi at disse viftene ikke har hatt noen innvirkning i lydbildet.

Som vi tidligere har vært inne på har vi sterke mistanker om at vi får utslag fra elektrisk støy i anlegget. Blant annet mistenker vi at utslagene vi får i området 1-60 Hz ved baseline kommer fra dårlig jording. Når vi i ulike scenario får mer støy i dette området, har det vært vanskelig å dra konklusjoner av hva som er elektrisk støy og hva som er støy fra en annen komponent. Videre har vi snakket om at 50 Hz og dens overtoner komme fra en komponent som er en likeretter. Elbil laderene er en likeretter som betyr at disse kan forårsake firkantpulsene som her skaper 50, 150, 250, ..., osv. Hz. Dersom dette er tilfellet, kan det påvirke lydmålingene våre. Dette fordi intensiteten av 50 Hz kan variere avhengig av hvor stor last som trekker fra strømmettet. Lasten kan avhenge av hvor mange biler som står og lader.

5 Konklusjon med anbefaling

Denne oppgaven er en kartlegging av støybildet i og ved Sjøkrigsskolens kavitasjonstunell. Den har tatt for seg et måleoppsett som er fornuftig å bruke og den har tatt for seg resultater med påfølgende analyse av forskjellige scenarioer vi har kjørt. Hensikten med oppgaven har vært å legge til rett for fremtidig forskning på eksempelvis stillegående propeller på Sjøkrigsskolen. Ved en kartlegging av egenstøyen i og ved kavitasjonstunellen kan man skille mellom hva som er støy fra anlegget/andre komponenter og støy som kommer fra det faktiske måleobjektet.

Resultatene viser at hydrofonen i kavitasjonstunellen klarer å ta opp reelle frekvenser. Dette har vi undersøkt ved kontroll av hydrofon og analogsystem, i tillegg til at de viser forskjeller ved de forskjellige scenarioene. Dette tyder på at vi klarer å fange opp diverse komponenter og deres egenstøy. Likevel er ikke maskinlaben gunstig tilrettelagt for å gjennomføre lydmålinger. Blant annet er det ikke lydisolering mellom kavitasjonstunellen og anlegget i sin helhet. Dette medfører stor fare for forstyrrelser i lydmålingene dersom man beveger seg på plattformen ved målestasjonen mens lydmålinger pågår. Dersom det skal forskes på lyddempende løsninger for propell er det dermed viktig med et stort fokus på å være stille mens lydmålingene pågår.

Ved alle resultatene er det en viss usikkerhet på grunn av en rekke forhold som kan påvirke hver måling. Likevel er alle målinger gjennomført med likest mulig driftkondisjoner. I vedlegg *A – Testresultater* har vi tatt for oss variansen fra hver måling for å synliggjøre resultatene med mest usikkerhet.

Som grunnlag for videre arbeid anbefales det å forske videre på den elektriske støyen i anlegget. En metode for videre forskning på dette er å investere i et forsterkerbatteri. På den måten kan man lage et måleoppsett som ikke er tilkoblet strømmettet, for å så fastslå om støyen som kommer til syne ved baseline er elektrisk støy eller noe annet.

Når det kommer til filtrering av frekvenser anbefaler vi at våpenteknikere ser videre på dette i forhold til databehandling. Her trengs et program som kan behandle data slik at deler av forskjellige frekvenser kan fjernes.

Av utstyr anbefales det at Sjøkrigsskolen investerer i å oppgradere maskinlabens stasjonære datamaskin. Maskinen per nå er utdatert i forhold til programvare, i tillegg til at den ikke har noe backup dersom den skulle krasje. Det er ikke usannsynlig at mange ingeniørkadetter kommer til å benytte seg av både datamaskinen og kavitasjonstunellen, og dermed er det vesentlig at datamaskinen ikke slutter å virke. En slik type oppgradering av maskinen vil være en investering til kommende kull.

For forskning på støydempende løsninger for propell anbefales det å benytte seg av oppgavens funn og erfaringer rundt støymåling. Dette kan være hensiktsmessig for å forstå egne resultater fra lydmålinger.

5.1 Delkonklusjoner om frekvenser

0 Hz er en konsekvens av at signalene ikke svinger om 0. Denne frekvensen gir ikke noe indikasjon om lydbildet og filtreres dermed bort.

50 Hz og overtoner av denne er til stede i hver måling. Det tyder på at denne kommer fra strømforsyningen til forsterkeren. Videre anbefales det å skaffe et forsterkerbatteri for å bekrefte dette.

Støyen mellom 1 og 50 Hz ser ut til å komme fra jordingen til oscilloskopet, og forsvinner når denne er tilkoblet. Dette gjelder ved *baseline*. Når andre komponenter som eksempelvis propell- og impellermotor skrur på kommer det mer støy i dette området som naturligvis ikke stammer fra jordingssystemet.

Frekvensområdet 1-4 Hz avtar eksponentielt når vi kjører propellen med høye hastigheter. Det virker som om dette er propellstøy, ettersom vi ikke får utslag med hylsen montert. Andre utslag vi får når propellen er montert, ikke hylsen, antas også å være støy fra selve propellen.

Ved impellermotor satt til 1,5 rps får vi utslag i frekvensområdene 286-305 Hz og 419-457 Hz. Disse er også til stede ved 3,2 rps, men er ikke like tydelig.

425 Hz kommer til syne i det vi kobler inn lyskasterne. Denne er ikke like synlig når kavitasjonstunellen er i drift. Dette kan skyldes at vi bruker en lavere forsterkning slik at disse frekvensene ikke fanges opp eller at støyen overdøves av vannstrømningen eller den roterende propellakslingen.

300 Hz kommer når vi koble inn propellmotoren. Virker som om den kommer fra viften til denne.

5.2 Delkonklusjoner om forsøk

Varmluftsviftene er en enkel komponent å eliminere ved lydmålinger. Vi har ikke klart å påvise at disse påvirker støybildet betydelig, men det anbefales likevel å kjøre forsøk uten denne.

Ved tilstrekkelig lys fra kameraets lyskaster anbefales det å benytte seg av denne istedenfor lyskastere fastmonterte i kavitasjonstunellen. Dette fordi vi har sett at disse kan medføre en støy på 425 Hz.

Ved lydmålinger i kavitasjonstunellen er det viktig å være så stille som mulig under forsøkene. Det anbefales å følge med på et oscilloskop under forsøkene for å være sikker på at signalene som fanges opp av hydrofonen er

Lagring av data påvirker oppløsningen i videre analyse av frekvenser. Vi har hatt flere frekvensområder som har vist et relativt jevnt mønster, men på grunn av oppløsningen vi har satt er det ikke sikre nok resultater for oss å analysere. Vi anbefaler derfor å lagre flere siffer ved hver måling, eller benytte en annen forsterker som tåler større belastning før den går i metning.

Maskinlaben er ikke optimalt tilrettelagt for lydmålinger i kavitasjonstunellen ettersom det er et rom med mange støykilder samlet i ett og samme rom. Fundamenteringen til kavitasjonstunellen og andre maskiner på laben er ikke bygget med fokus på lyddemping. Dermed er det mange potensielle støybroer inn til kavitasjonstunellen som enten forplanter lyden til vannet, eller påvirker hydrofonen direkte gjennom lydbroer og vibrasjoner.

Litteratur

Bøker:

Breslin, John P & Andersen, Poul (1996). Hydrodynamics of ship propellers (1.utg). Cambridge: Cambridge University Press

Fahy, F. (2001). Foundations of Engineering Acoustics (1.utg). Academic Press.

Haykin, S. (1983). Communication Systems (2.utg). John Wiley & Sons inc.

Jonsdottir, H. (2016). Usikkerhet og støy i målinger. Fagbokforlaget

Kjerstad, N. (2010) Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer for maritime studier (4. utg.). Tapik Akademisk Forlag.

Kong, Q., Siau, T & Bayen A. (2020) Python programming and numerical methods. Elsevier. Hentet fra: [Discrete Fourier Transform \(DFT\) — Python Numerical Methods \(berkeley.edu\)](#)

Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (1995): Power Electronics. Converters, applications and design (2. utg). John Wiley & Sons

Van de Vegte, J. (2001). Fundamentals of Digital Signal Processing (1. utg). Prentice Hall.

Vistnes, A, I. (2013). Svingninger og bølger. Eget forlag.

Rapporter og studier:

International towing tank conference (2021). ITTC Quality Manual: *Model-Scale Propeller Cavitation Noise Measurements*.

O'Brien, P og Michels, R. (2020). European defence agency: *Radiated noise generatet by non-cavitating propellers – Literature review and recommended methods*

Renilson, M. og Ryan, C. (2014), Reducing underwater noise from commercial ships: *Current status and future directions, Journal of Ocean Technology – April 2014*.

Kompendium:

Tveita, L, O. (2012). Kompendium i sensorteori: Svingingar og bølger.

Manualer:

Brüel & Kjær. (2015). The NEXUS Range of Conditioning Amplifiers Types 2690, 2691, 2692 and 2693. Hentet fra: [Product Data: The NEXUS Range of Conditioning Amplifiers Types 2690, 2691, 2692 and 2693 \(BP-1702\) \(bksv.com\)](#)

Cussons Technology Ltd (2013). *K23 Cavitation Tunnel – Operating Instructions*, Rev Feb 2013, Cussons. Technology Ltd Marine Research Systems Division, Manchester: England

Internett:

Apple (2022) Lyd og hørsel. Hentet fra: [Lyd og hørsel - Apple \(NO\)](#)

Digital Audio Fundamentals (2020, 31. mars). *Signal paths* [video]. YouTube. [1. Signal Paths - Digital Audio Fundamentals - YouTube](#)

Obeid, H, Khettab, H, Louise Marais og Boutouyrie, P. (2017). *Evaluation of arterial stiffness by finger-toe pulse wave velocity: optimization of signal processing and clinical validation*. Hentet fra: [The four common filters. \(a\) Low-pass filter, passes signals with a... | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)

Propulsion Committie of the 28th ITTC section 7.5-02-03-03 Cavitation. Sec 75-02-03-03.3, 2014 Rev 2. «Recommended Procedures and Guidelines – Procedure –Description of Cavitation Appearances», <https://www.ittc.info/media/8037/75-02-03-032.pdf>, Lastet ned: 17.10.2022

Sandstad, J & Johnsen, R. (2018). Frekvensanalyse. Store norske leksikon. frekvensanalyse – Store norske leksikon (snl.no)

Store norske leksikon (2022). *Elektrisk støy*. Hentet 13.12.22 fra https://snl.no/elektrisk_st%C3%B8y

Bacheloroppgaver:

Andersen, B. (2021). *Syngende propell: studie av anti-syngekantsegenskaper*. [Bacheloroppgave]. FHS Sjøkrigsskolen.

Vedlegg

Vedlegg A – Testresultater

Vedlegg B – Testresultater diagrammer

Vedlegg C – Oversikt over scenario og rådata