



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi
F.aman. Jan Kåre Bøe

Maritim ANC & Adaptiv Støyreduksjon for Hav-livet

Marine ANC &
Adaptive Noise Reduction in Ocean Life
Environments

Kaab Al-Nasser

Energi og prosessteknikk
Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi

FORORD

Dette er mitt masterarbeid for Sivilingeniør i energi og prosessteknikk, fakultet for Matematikk og Teknologi, våren 2018 ved Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet.

Mitt første ønske for en masteroppgave var å studere biologisk feedback som en alternativ behandlingsmetode for psykiske lidelser. Jeg begynte studiene, og da jeg diskuterte eventuelle forsøksmodeller med veileder satte han meg i kontakt med senteret for fiskeforsøk ved NMBU hvor jeg observerte fiskene. Senere, etter at jeg studerte skremme-effekter i hav-livet, innså jeg at jeg ikke kunne påføre fisken signaler, analysere reaksjonene og deretter utvikle et system for mennesker, men alt dette fikk meg til å tenke. I stedet for å påføre fisken signaler kunne jeg se hvorvidt det var mulig å dempe støyet fra et transportskip eller en annen maritim industriapplikasjon, i og med at det allerede var fullt av studier som viste enkelte frekvenser og intensiteter som gjør skade for fisken. Jeg lagde en rask modell, for jeg var allerede sent ute, og sendte den til veileder som likte ideen og foreslo et par bøker. Det viste seg å være et omfattende problem med mange hindringer, og så vidt jeg vet har ingen slik modell blitt anvendt i praksis.

Arbeidet var en god introduksjon til signalbehandling og elektronikk. Når en vil at noe skal virke, og en arbeider med det i praksis, er det lettere å forstå konsepter og i tillegg er det gøy å tenke på nye løsninger. Jeg skulle ønske det var ytterligere rom for praktisk forskning, men det har vært nødvendig å selektere mye teoretisk informasjon for oppgaven.

Ofte, under arbeidet, ble jeg nødt til å gå dypere inn i teorien bak instrumenteringer og algoritmer sett at noen konsepter forblir utenfor min fulle forståelsesevne selv om de er viktige for arbeidet, og i fremtiden håper jeg på sjansen til å oppleve noen av dem fra et nytt perspektiv. På et vis har jeg akkurat kommet i gang med det jeg skulle gjøre nå som det er på tide å levere resultatet.

Jeg ønsker å rette en takk til alle som hjelper til på NMBU. En spesiell takk til Jan Kåre Bøe for en interessant veilederprosess, til Senioringeniør Tom Ringstad for instrumenteringshjelp, Odd Ivar Lekang for en nyttig samtale, og Anders Thømt for hjelp med struktur og oppsett. Jeg må også rette en takk til venner og familie som støtter mitt valg å studere det jeg gjør, og til Margie Maria Mijares Gonzalez som holder fokuset mitt på rett plass.

Ås, den 15. mai 2018

Kaab A. Al-Kaabi

SAMMENDRAG

Støyforurensing er et stadig økende problem for det marine liv. En forståelse av hvordan støy påvirker organismer som har utviklet seg i et inkompressibelt fluid er essensielt forskjellig fra hvordan støy vil kunne betraktes på land. Den teknologiske utvikling trenger et element av klarhet, nå som havene stadig brukes til transport og energi-utvinning. Dette studiet sikter mot et bidrag til utformingen av et slikt element. Et helhetlig mål er å utvikle en funksjonell støydempende modell for samtlige maritime industriapplikasjoner.

En tverrfaglig metode som betrakter bølgeformer, kontroll-modellering, signal-analyse, materiallære, biologi og adaptivitet blir sett i lys av et kymatisk vibrasjonsanalytisk perspektiv for å komponere en enhetlig metode for reduksjon av støyforurensing med hensyn til maritime industrielle applikasjoner og deres innvirkning på det marine liv. Transdusere som betraktes i det konseptuelle løsningsforslaget består av piezoelektriske element, som var beleilig med instrumenteringen, men prinsippet å definere vibrasjon som en strukturell dynamisk periodisk egenskap og bruke et syklisk ANC neural-nettverk kontrollsystem kan betraktes for andre energi-omformere, selv om piezoelektriske element er godt egnet til dette.

Et metodisk resultat fremlegges som en konseptuell enhetlig modell forankret i referert bakgrunnsinformasjon og praktiske lærdommer. Funksjonell støydemping i havet krever nye og kreative løsninger, og denne rapporten kan gi innsikt i noen av problemene et slikt system må ta høyde for. Den enhetlige metoden har ikke blitt testet, og kan betraktes som et tidligkonsept av praktiske årsaker. Anbefalinger og videre arbeid er inkludert i rapporten.

Løsningsforslaget består av flere celler, som aktivt demper vibrerende intensitet for sine respektive områder innen et visst frekvensområde med en integrert optimaliseringsprosess. De kobles gjennom et vektlagt neural-nettverk kontrollsystem som kontinuerlig adapterer cellene. NN kontrollsystemet betraktes som en tilbakekoblet krets som adapterer cellene mellom hver syklus etter vibrasjonsintensitet, mens cellens integrerte optimaliseringsprosess kan betraktes som et foroverkoblet ANC-system.

Empiriske verdier for cellens struktur er utvunnet ved produksjon av støy, aktivering og sensing med error-verdi for en sirkulær metall-struktur flytende i vann. Prosessen ble gjennomført uten sanntids mikroprosessor og tilstrekkelige innganger, men likevel ga den en god demonstrasjon av piezoelektriske element, både som vibrasjons-absorbent og utstråler ved hjelp av tids- og frekvens-analyse. Med dagens teknologi trengs ingen spesiell instrumentering for å utlede nyttig informasjon om hvordan hav-livet kan forsvares mot antropologisk støyforurensing. Mens den maritime teknologien blir større og skaper en større innvirkning er det et behov for flere implementeringer som antyder at mennesket er klar over skaden den samtidig fører med seg.

ABSTRACT

Noise pollution is of serious concern regarding marine lifeforms throughout the oceans. Understanding noise effects on organisms that evolved in an incompressible fluid especially differ from the way noise is perceived from the surface. Technological progress is in need of an element of awareness now that the oceans are being used ever more often by humans as a mean for transportation and energy harvest amongst other applications. This study aims to provide a component for such an element. An overall goal is the development of a noise cancelling model that is both practical and applicable in most marine industrial technologies.

A multi-disciplinary method that considers studies of waveforms, control modelling, signal analysis, material science, biology and adaptivity is viewed with a cymatic outlook of vibration to compose a unified method for attenuating noise pollution from marine industrial applications with regard to marine lifeforms. The transducer array considered for the purposed solution consist of piezo-electric elements which coincided with the instrumentation available, but the basic principle of defining vibration as a structural dynamic periodic property and using a neural network cyclic based ANC control system could be applied with other energy converters for the appropriate application, although piezoelectric elements are well fitted for the task.

A methodical result is presented as a conceptual unified model rooted in referenced background information and practical experience. Creative solutions are needed to obtain functional noise attenuation in maritime industrial applications, and this report can provide insights on various concepts associated to this problem. The unified method has not been tested and serves as a trace in the thought process of obtaining a solution to the problem. Recommendations and further work possibilities are included in the report.

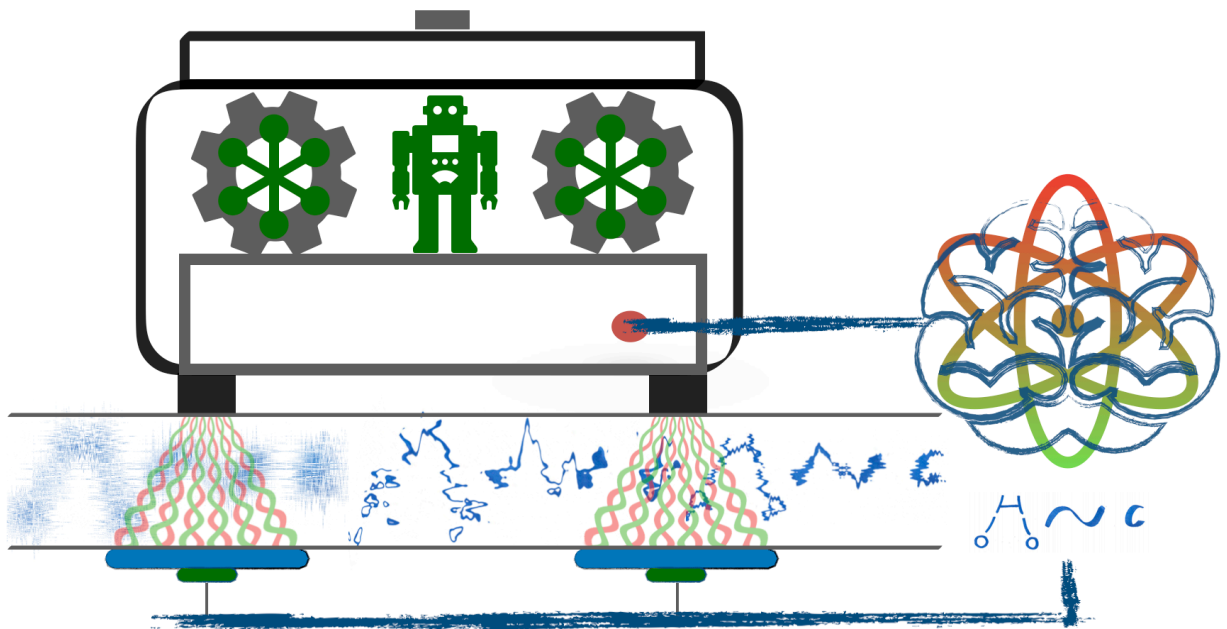
The proposed solution consists of several unit cells that actively reduces vibrational intensity of a certain frequency range for their respective areas with an integrated optimization process. They connect through a weighted neural network control-system that continuously adapt the cells. This NN control-system is a feed-back-loop that adapt the cells between every cycle according to vibrational intensity, whereas the cell's integrated optimization process uses a feed-forward-loop.

Experimental data on the cell structure has been obtained by producing noise, actuating, sensing and providing an error-value for a floating circular metal object in water. The process was obtained without a microprocessor capable of real-time calculation and without sufficient inputs, but nevertheless it gave a good demonstration of piezoelectricity as both a vibration absorber and emitter through time and frequency analysis. In this day and age no expensive instrumentation is necessary to obtain valuable information on how to protect the ocean life from anthropologic noise pollution, and as marine technology ever gets bigger and creates a bigger impact there is need of more implementations that suggests that humans are aware of the damage it leads on.

Maritim ANC & Adaptiv Støyreduksjon for Hav-livet

Av

Kaab Al-Nasser Al-Kaabi



Masterarbeid ved Fakultet for Realfag og Teknologi, Siv.ing

Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet

Våren 2018



Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	III
Del I - Maritim ANC	9
1. INNLEDNING	10
1.1 En vibrerende underverden	10
1.2 Støykontroll	10
1.3 Problemstilling	11
1.4 Oppdragsbeskrivelse	11
2. PROSJEKTPLAN	12
2.1 Målsetting	12
2.1.1 Hovedmål	12
2.1.2 Delmål	12
2.2 Arbeidsplan med milepæler	12
2.3 Prosessplan	13
2.3 Begrensninger	13
3. TERMINOLOGI	14
3.1 Terminologi	14
3.1.1 Begreper og forkortelser	14
3.1.2 Symbolikk	16
3.2 Formler	17
4. TEORIUTREDNING	21
4.1 Hav-akustikk	22
4.2 Aktiv støykontroll	24
4.2.1 Effektivitet og konfigurasjon	24
4.2.2 Optimalisering	25
4.3 Materialelegenskaper	26
4.3.1 Linearitet	26
4.3.2 Negativ stivhet	26
4.3.3 Piezoelektrisitet	27
4.4 Vibrasjon	28
4.4.1 Vibrasjonsdempning	28
4.4.2 Akselerasjonstransdusere	29
4.5 Frekvensanalyse	30
4.6 Kymatikk	31

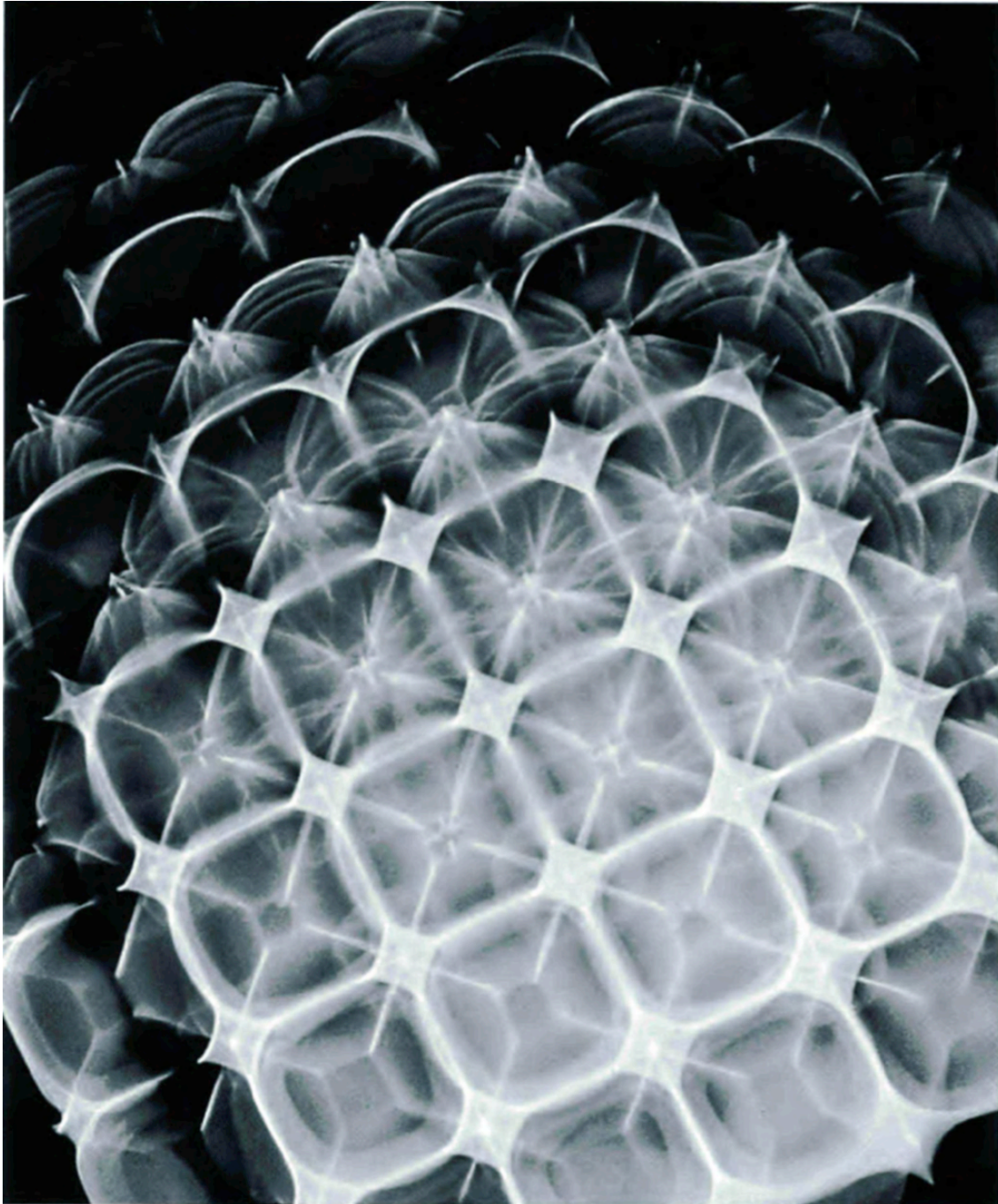
5. TEKNOLOGI OG METODIKK	32
5.1 Vitenskap fra havet	33
5.2 Tolkning og representasjon av lydbølger i havet.....	34
5.3 Kontroll-modellering.....	35
5.3.1 Teknikk 1: Bølgesyntese.....	36
5.3.2 Teknikk 2: Adaptivt hakk-filte	37
5.3.3 Foldingsfeil og rekonstruktive filtre.....	39
5.4 Signalanalyse	40
5.5 Adaptive strukturer.....	41
5.5.1 Aktiv-passiv mode-demping.....	41
5.5.2 Periodiske strukturer	41
5.5.3 Piezo-absorbenter	42
5.5.4 Depolarisering.....	42
5.6 Metodikk.....	43
5.6.1 Innvirkning	43
5.6.2 Signaloverføring	43
5.6.3 Mottaksmekanisme.....	45
5.6.4 Metodikk for utarbeiding av støydempende modell	45
Del II - Adaptiv Støyreduksjon for Hav-livet	47
6. SPESIFISERING	48
6.1 Vektlegging av egenskaper	48
6.2 Hybrid-konseptgenerering: Spesifisert forsøksmodell.....	52
6.3.1 Forsøkstrinn	52
6.3.2 Forsøksplanlegging.....	52
7. INSTRUMENTERING.....	54
7.1 Transdusere.....	54
7.1.1 Piezoelektriske, magnostriktive og treghetsaktuerende transdusere.....	54
7.1.2 Bimorf piezo og piezo-akselerometer.....	55
7.2 Resonans- og filter-egenskaper.....	55
7.3 Struktur	56
7.4 Kontroll, måleverktøy og forsterkning.....	56
8. FORSØK	57
8.1 Forsøk 1: Kalibrering	57
8.1.1 Gjennomførelse kalibreringsforsøk	57
8.1.2 Observasjon etter første forsøk	58
8.1.3 Bemerkninger av første forsøk.....	58
8.2 Forsøk 2: Akselerometer	59
8.2.1 Gjennomførelse andre forsøk	59
8.2.2 Observasjon etter andre forsøk.....	59
8.2.3 Bemerkninger av andre forsøk.....	60
8.3 Forsøk 3: Sekundær og primærkilde (avbrutt)	61

9. RESULTATER	62
9.1 Måle-verdier: Kalibreringsforsøk	62
9.2 Måle-verdier: Akselerometer	64
9.3 Resultatdrøfting	65
10. KONSEPTMODELLERING	66
10.1 Modellutvikling	67
10.1.1 Integrasjon av kontroll-mekanisme	68
10.1.2 Elektronisk arkitektur	71
10.1.3 ANC-modellering.....	71
10.1.4 Innstilling	72
10.1.5 Tilbakeført nettverk.....	72
10.1.6 Ytelsesflate og celle-konfigurasjoner	72
10.2 Enhetlig system	74
10.2.1 Kostfunksjon	75
10.2.2 Hukommelse	75
10.3 Utforming	76
11. DISKUSJON OG PROSESSEVALUERING	77
11.1 Prosessevaluering	77
11.1.1 Kilder	77
11.1.2 Teori og Teknologitredning.....	77
11.1 Instrumentering og måleresultater	78
11.1.1 Piezo	78
11.1.2 Trafo	78
11.1.3 Akselerometer.....	79
11.1.4 Kalibrering.....	79
11.2 Analyse	80
11.2.1 Struktur og dynamikk	80
11.2.2 Relevans.....	80
11.3 Parametere og grensebetingelser	81
11.3.1 Egenfrekvens.....	81
11.3.2 Topografi	81
11.4 Modell	82
11.4.1 Forover- og tilbake-kobling	82
11.4.2 Flere konsepter	83
11.4.3 Forsøksmodeller.....	84
11.5 Metodedrøfting	85
12. KONKLUSJON	86
12.1 Resultater og anbefalinger	86
12.1 Videre arbeid	86

13. REFERANSER	87
13.1 Skriftlige kilder	87
13.2 Nettkilder	88
Vedlegg	A
I. Innstilling og installasjon av ANC – Generell prosessbeskrivelse	A
II. Videreutvikling/modellering av konsept A	C
III. Audio-forsterker skjematikk	F
IV. Ordliste	G

Del I

Maritim ANC



Bilde: Cymatics, Hans Jenny

1. INNLEDNING

Siden agronomiens fødsel har mennesket tatt på seg en kontroll over omverden. Vitenskapens utfoldelse har spilt en sentral rolle for menneskets skjønn på rett og galt med fremtiden i sikte. I en informasjons-verden er det viktig å revurdere den framlagte kunnskapen og kommunisere eventuelle oppdagelser kontinuerlig før kontakten mellom det moderne og det arkaiske mennesket forsvinner i et hav av retningslinjer som ikke lenger kan forankres i naturens sunne fornuft.

1.1 En vibrerende underverden

Fenomenene vibrasjon og lyd er to sider av samme sak. Lyd er, på et fundamentalt nivå, oppfatningen fra vibrasjoner. Et metafysisk prinsipp om hvordan astronomiske relasjoner uttrykker energi som kan kvantifiseres og manifesteres i tall, vinkler, former og lyder i proporsjonale mønstre ble først uttrykket av Pythagoras, og demonstrert i komposisjonen "Musica universalis", hvor solen og alle de kjente planeters bevegelser til enhver tid spiller musikk sammen i perfekt harmoni. Sammen med den vestlige musikk-skala ble konseptene bølgelengde, frekvens og vibrasjon utformet fra dette.

I senere tid, etter at Kepler utvidet den geosentriske (ptolemeiske) modellen til Pythagoras, kom Newton med spikeren i kista og knyttet hele symfoniorkesteret til gravitasjonskrefter, og den klassiske mekanikken slik vi kjenner den i dag ble født. Nå kan de samme prinsippene som Pythagoras demonstrerte i astronomien også demonstreres i elektronikken. Men en ting disse vitenskapsmennene muligens overså idet de strevde med å forstå verden, var at kunnskapen de la frem ga mulighet for uendelig med ideer, og det er mulig å argumentere for at alle disse ideene ikke harmonerer like mye med omverden som planeter og regndråper. En del menneskeskapte teknologier motivert av handel, energi eller rett og slett mat, kan vise å føre med seg ansvar for et økosystem med ringvirkninger som ikke er betraktet i sin helhet. Mesteparten av disse ringvirkninger er antakeligvis ikke innenfor vårt kunnskapsfelt i dag, men løsninger på slike problemer må utredes parallelt med teknologisk utvikling for balanse å finne sted.

1.2 Støykontroll

Aktiv støykontroll-systemer (ANC) reduserer støy ved å blende inn en sekundær lyd i samme lydfelt som støyet, spesifikt konstruert for å utjevne det. Prosessen kan beskrives som destruktiv interferens, slik at vibrasjons-utstrålingen dempes lokalt eller globalt. Teknologien har vært i stadig utvikling, og etter den første patenten på ANC i 1933 av *Paul Lueg*, har systemer blitt utformet spesifikt for en rekke applikasjoner. I 1992 kom den første bilen med ANC til markedet, en Nissan Bluebird U13 som integrerte støydemping fra motoren til førersetet [1]. I dag fasiliterer de fleste nye biler et slikt system, og utfordringen på den fronten er nå å redusere støy fra motorveien. Vibrasjonsanalyse er nødvendig i de fleste motor-installasjoner, og aktiv vibrasjonsdemping blir integrert i helikopter for stabilitet i flykroppen [2].

ANC-teknologi har bidratt til helse og sikkerhet for veldig mange mennesker. Vi er kanskje blitt så komfortable at vi ikke merker hvor fort utviklingen går. Fra propellfly til jetfly til snart el-fly. Stillhet søkes fortsatt, så aktive hodetelefoner blir med på reisen. Men et område med lite betydelig velferdsutvikling er det området som utgjør mesteparten av planeten vår, og med størst diversitet og mangfold av liv.

1.3 Problemstilling

Milliarder av tonn fraktes hvert år gjennom shippingbransjen, og tallet stiger daglig [3]. Kraftforsyning, oljeplattformer, vindmøller, store prosjektplaner. Havet skal brukes. Et skip har gjerne integrert støydemping fra maskinen til førerkabinen, for det er påvist at uønsket støy kan føre til diverse plager hos mennesker [4]. På den andre siden, blir hav-livet påvirket av støyet på en helt annen måte. Vann er en meget god bølgeleder for lyd, mye bedre enn luft. Enkelte fisk kommuniserer med ultralyd, andre med infralyd. Hvaler kommuniserer seg imellom over kontinenter, og utrolig lite er forsket på i havet generelt. Det sies at vi vet mer om verdensrommet enn havbunnen, og selv om det utsagnet er vanskelig å bevise, løfter det en tanke om hva vi egentlig vet.

Den største kilden til uønsket menneskeskapt støy i havet kommer fra shipping-industrien, og nærmere bestemt støy grunnet kavitasjon ved propellbladene [5]. Dette støyet klassifiseres som bredbånds-støy, som vil si støy i mange frekvenser med uforutsigbar natur. Støy fra vindmøller og oljeplattformer er høyest under installasjon, hvor støyet har lignende egenskaper. Det virker som et håpløst prosjekt selv med dagens teknologi å kontrollere disse lydforurensninger, men en ferdig-installert struktur kan betraktes som en mer forutsigbar støykilde. Dette gjelder også for båt-strukturer.

Et spørsmål oppstår. Hvor stor er muligheten for å motvirke menneskeskapt lyd-forurensninger i havet? Sett at spørsmålet er omfattende finnes det flere svar, og hvor svaret kommer fra er essensielt. Fra en humanitær posisjon vil gjerne løsningen hvile på formidling av kunnskap. Av dette fører direkte tiltak, blant annet som å senke fartsgrensen på skip og frede spesielt utsatte områder for skipstrafikk og maritim industri-utvikling. Fra en teknologisk posisjon ligger løsningen i ingeniørkunnskap. Det viktige er å betrakte en felles posisjon hvor alle samarbeider på tvers av fagspråk, for løsningen blir da generell og kunnskapsfeltet bredt.

Selv finner jeg ingen direkte svar på spørsmålet. I de fleste maritime industriapplikasjoner er den romlige utstrekkinga relativt stor, og støy blir generert på flere steder. Noen fundamentale prinsipper må utredes, som eventuelt kan utvides ved hjelp av simuleringer og analyse. En modell på hvordan lyd sprer seg fra støykilder i havet vil integreres. I maritime applikasjoner kreves global demping, med andre ord totalverdien av utsendt lyd i alle retninger skal være mindre ved bruk av lydkansellering. Å bevise dette eksperimentelt kan vise seg ressurskrevende.

Her er utvilsomt en del hindringer og utfordringer, men selv om en direkte løsning på problemet ikke kan utredes i dette arbeidet, vil det fremdeles være starten på en utvikling, og forhåpentligvis et lite bidrag til mer harmoni i vår verden.

1.4 Oppdragsbeskrivelse

Et arbeid skal legges fram som gir innførende kunnskap i hvordan støy kan reduseres i maritime industriapplikasjoner fra et teknologisk perspektiv. Det skal legges opp til en praktisk del, og konklusjoner skal trekkes over generelle plan slik at kunnskapen kan anvendes i fremtidige situasjoner. Arbeidet skal bidra til utvikling av støy-nøytralisert havteknologi samt sette fokus på et sjelden omdiskutert verdensproblem.

En rapport bestående av to hoveddeler skal utformes. Den første del, bestående av teoretisk, teknologisk og metodisk utredning, skal legge en basis for videre metodikk og tankemåte i andre del som består i en konseptutredning med bakgrunn i enkle praktiske forsøk.

2. PROSJEKTPLAN

Arbeidet planlegges og planen dokumenteres. En oversikt over arbeidsforløpet med innledende målsettinger gir rapporten en referanse, og denne vil gi leseren innsikt i prosessen bak rapporten.

2.1 Målsetting

Oppdragsbeskrivelsen kan videre formuleres i noen generelle fokuspunkter for arbeidet.

2.1.1 Hovedmål

“Å utrede og utvikle en praktisk konseptuell løsning for aktiv-støydemping i maritime industriapplikasjoner og utforme en rapport som beskriver alle elementer i arbeidet med tilhørende teknologiske konseptløsninger og anbefalinger.”

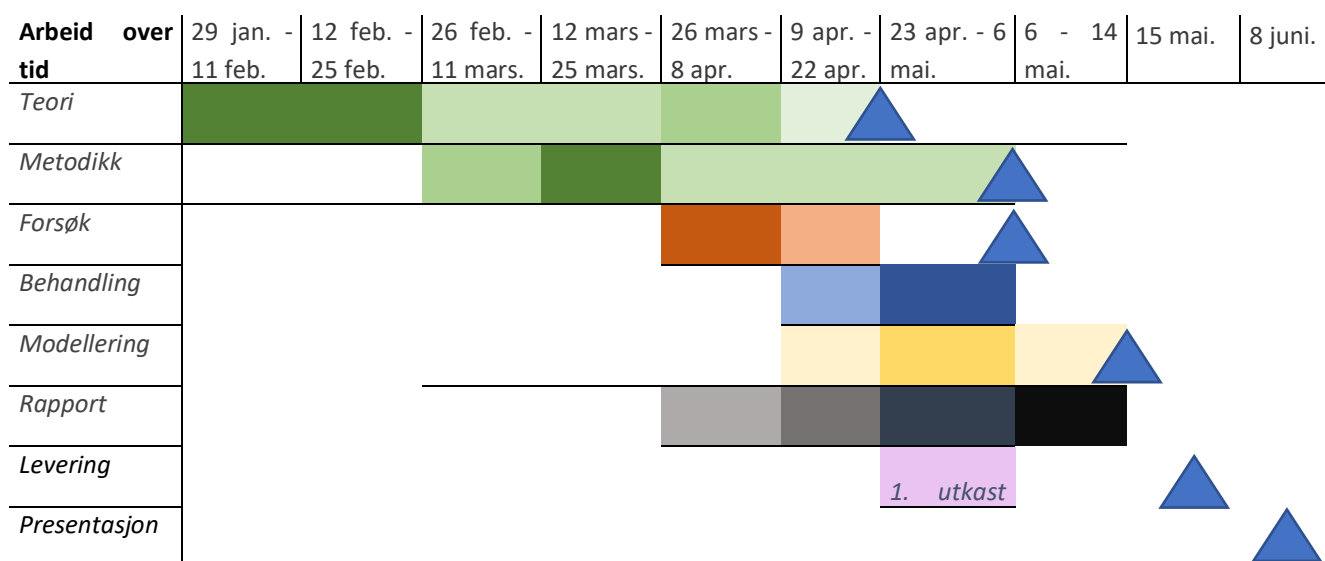
2.1.2 Delmål

- Kartlegge hvilke tekniske løsninger på sammenlignbare eksempler som finnes og studere hvordan de er implementert eller utredet konseptuelt
- Utforske hvilke krav som gjelder for støy-kontrollering i havet og hvilke følger lyd-forurensing har for det marine liv
- Realisere et forsøk som kan gi innsikt til hvordan støyreduksjon-teknologi kan innføres i et marint miljø
- Utrede en basis for applikasjonsområder og tilegne nok kunnskap til å drøfte begrensninger og forskningsmuligheter
- Finne ut hvorvidt det er mulig å konseptualisere forslag til en løsning på støyreduksjon fra vibrerende elementer under vann
- Avlede konklusjoner fra alle lærdommer og resultater gjennom arbeidet, og fremstille dem i en masteroppgave.

2.2 Arbeidsplan med milepæler

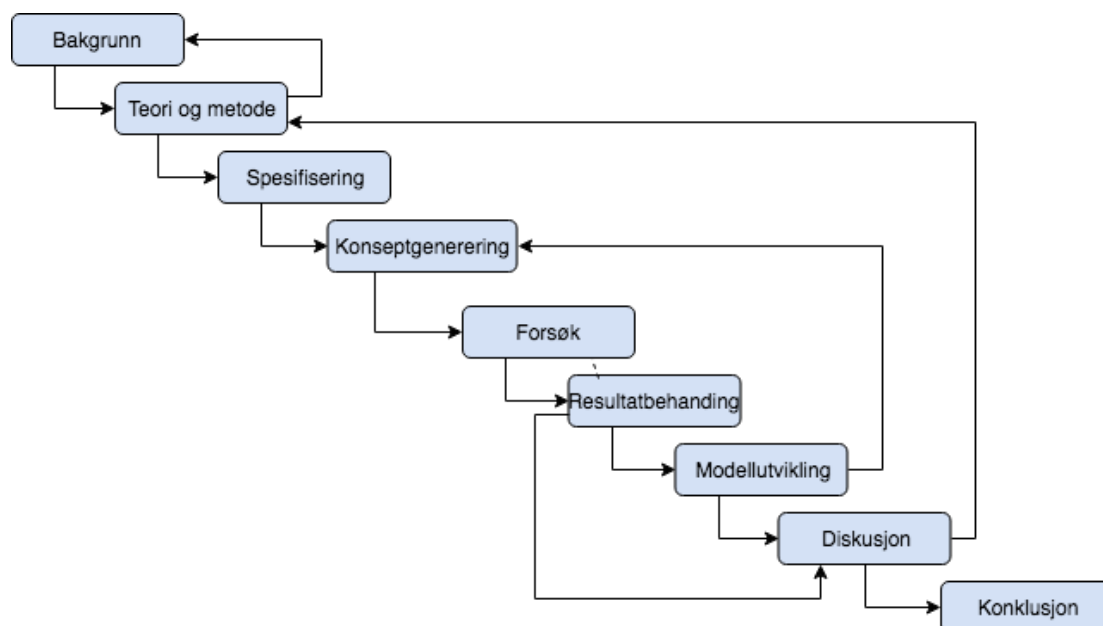
I Tabell 2.1 kan arbeidets forløp og milepæler betraktes. Milepæler peker til en tid hvor det sammensatte arbeid fra en del må avsluttes og integreres i rapporten.

Tabell 2.1: Arbeidsplan med milepæler



2.3 Prosessplan

Fremgangsmåten i arbeidet og prosessens deltrinn kan betraktes i (Figur 2.1).



Figur 2.1: Prosessplan som viser arbeidets deltrinn og tilbake-trinn. Tilbake-trinnene utgjør forbedringsløyfer og brytes i forbindelse med milepæler (Tabell 2.1). Konklusjonen må trekkes før 14. mai.

2.3 Begrensninger

Grunnet tidsrammer, instrumentering og usikkerheter i målsettingens praktiske gjennomførbarhet, må noen viktige begrensninger fremlegges.

- Dette arbeidet fokuserer på en *generell* løsning for ANC under vann, og ingen konkrete bruksområder skal modelleres eller designes. Økonomiske betraktninger er ikke del av utredningen og heller ikke produksjon av produkt verken som integrert enhet eller som komposisjoner.
- Begreper og formler brukes i en kontekst som illustrerer hvilke aspekter som er tatt i bruk fra ulike disipliner. Det er ikke plass i utredningene til en forklaring fra grunnleggende generalitet til bruksområde og funksjon for denne sammenheng ved alle punkter, så kompromisser blir gjort på dette området til gjengjeld for mer direkte. Arbeidet er hovedsakelig teoretisk og metodisk, og formelvedlegget bidrar kun som et supplement til utredningene.
- Et forsøk skal planlegges og gjennomføres og skal på ingen måte knyttes direkte til målet med oppgaven, men brukes indirekte for å se om enkelte muligheter kan legges til rette for å utrede konseptet beskrevet i målsetting. En begrensning på utstyr og tidsrammer medfører også at hvorvidt forsøket kan løfte på målsettingen eller i det hele tatt gjennomføres er situasjonsbetinget.
- Oppgaven skrives basert på at hydroakustikk kan implementeres i signalanalyse, men ingen forskning i noen av feltene er gjort av undertegnede før dette prosjekt. Et realistisk resultat kan være at dette ikke er mulig med de valgte metoder, og diskusjonen blir basert på hvorfor ikke og eventuelle forbedringstiltak.

3. TERMINOLOGI

Et multi-disiplinært fagspråk er nødvendig for å kommunisere konsepter og teorier for teoretisk og teknologisk utredning. I dette arbeidet kan begreper, forkortelser og formler betraktes som disponible for den helhetlige oppbygging og utredning av problemet.

3.1 Terminologi

Alle begreper, symboler og formler defineres etter bruksområde i dette masterarbeidet og inngår hovedsakelig i disiplinene signalbehandling, hydroakustikk, materiallære og vibrasjonsanalyse. En ytterligere ord-liste kan betraktes avsluttende i arbeidet.

3.1.1 Begreper og forkortelser

Kontrollkilde - Utjevneende kilde, ofte høyttaler

LMS - "Least Mean Square", et kodespråk som simulerer og kontrollerer adaptive filtre

WS - "Waveform Synthesis", signaler kombineres

Akustisk impedans - motstand et system gir en akustisk strømning resulterende i et trykk påført systemet

Continuous Wave (CW) - uendelig sinusbølge med konstant amplitude og frekvens

DSP (Digital Signal Prosessering) - klasse adaptive systemer som justerer koeffisienten av digitale filtre mot minimum feil-signal (error) ved hjelp av sanntid numerisk prosessering av digitaliserte signaler

Dynamisk range - mål på forhold mellom minst og størst verdi

Error - differansen mellom total utjevning og støy i frekvensbånd

Fase - brøkdelen av en sinusbølges syklus forløpt relativ til origo, eller posisjonen til en roterende del til ethvert øyeblikk med respekt til et fast punkt

Faserespons - utgangs-fase relativ til inngangs-fase

Filter - elektronisk og/eller programmert prosess som fjerner spesifikke komponenter fra signal

Gruffeforsinkelse - tidsforsinkelsen til de sinusoidale komponenter gjennom en prosess som funksjon av frekvens

Hakk - spesifikt avgrenset intervall i frekvensbåndet

Habituering - redusert respons i sanseorgan hos en organisme til repeterte stimuli

Harmonier - komponenter av samme grunnfrekvens

Impedans - motstanden en elektronisk krets påfører strømning når kretsen påføres spenning

Impulsrespons - utgangssignalet til et dynamisk system når inngangssignalet består av en kort impuls

Initial verdi - differensial evolusjons-ligning som spesifiserer hvordan et system vil utvikle seg med tid gitt innledende betingelser

Interferens - fenomenet at svingning ved et punkt i en bølgeleder er lik summen av svingningene til alle bølgene som går gjennom det punktet

Kausalitet - generelt forholdet mellom årsak og virkning, spesifikt forsinkelsen på inngangs-sensor er mer enn forsinkelse i elektronikken

Klasse - ett av flere undersystem uten felles elementer som sammen utgjør et funksjonelt system

Koherens – sammen-stemmelse, mer spesifikt likhet i faseforhold

Konvergens - utjevning av fase og styrke

Mode - en stående bølge-tilstand, hvor alle komponenter i et system påvirkes sinusoidalt av en bestemt frekvens

Null-verdi - en verdi a for en funksjon $f(x)$ slik at $f(a) = 0$

Plan-bølge-utbredelse - når bølgefronten av en bølge betraktes som uendelig mange parallelle plan

Resonans - egenskap et system har til å svinge i systemets egenfrekvens

Rundstrålende - kan både gi og motta signal

Sample-periode (T) - tidsdifferansen mellom to påfølgende lyd-sampler

Signal-spektrum - representasjon av bølgeformer som summen av et sett sinuser med bestemt amplitude og fase

Statisk støy - forstyrrelse av signal gjennom medium

Størrelsessteg (Step-size) - funksjon i numerisk analyse for å kontrollere error

Støy - uønsket forstyrrelse av signal

Syntese - generering av lyd/signal i auditorisk elektronikk

Tidsvinduering - å gjøre et uendelig signal endelig

Transferfunksjon - matematisk funksjon som gir korresponderende utgangsverdi for alle mulige innganger

Transformasjons-temperatur - temperatur hvor fase-endring i materiale forekommer

Transvers - for en bølge at svingninger oppstår perpendikulært til retning av energioverføring

Vekt - sannsynlighet for utfall

Vibrasjonsintensitet - hvor mye kraft en vibrerende gjenstand overfører til et område

3.1.2 Symbolikk

Tabell 3.1: Sentrale symboler

Symbol	Betydning	SI Enhet
c	Lydhastighet	m/s
f	Frekvens, drivende	Hz
λ	Bølgelengde	m
ρ	Tetthet	kg/m ³
p	Trykk	Pa
k	Stivhet	N/m
T	Sample-periode	s
L	Periode	m
ω	Vinkelfrekvens	rad/s
Δ	Brukes som tidsforsinkelse i signalbehandling, og symbol for differanse i unummerert formel	s/s
A	Amplitude, lydnivå – uttrykkes som rate	dB
i	Indeks som indikerer mediets, materialets eller filter-konfigurasjonens permeabilitet	-
x	Posisjon – uttrykkes som sett av posisjonsvektorer r	m
\mathfrak{p}	Moment – uttrykkes som en bølgefunksjon $\phi(x, t)$	kgm/s
Z	Akustisk impedans	Pa·s/m ³

3.2 Formler

Formler betraktes hovedsakelig i forbindelse med utredninger fra litterære studier og er opplistet kategorisk i Tabell 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 og 3.6.

Tabell 3.2: Formler Hydroakustikk

Navn	Formel	Prefiks
Lydhastighet	$c = f\lambda$	(1)
Akustisk Impedans	$Z = c\rho$	(2)
Snells Lov	$\frac{\cos\phi(z)}{c(z)} = \textit{konstant}$	(3)
Bølgeligningen	$\nabla^2 p(r, z, t) - \frac{1}{c^2(r, z)} \frac{\delta^2 p(r, z, t)}{\delta t^2} = 0$	(4)
	For trykk, p , i sylindriske koordinater, betegnet av $\mathbf{r} = (x, y)$ og dybde z , hvor positiv retning nedover i en kilde-fri region	
Koeffisient for range	$K^2(r, z) = \frac{\omega^2}{c^2(r, z)}$	(5)
Helmholtz Ligning	$\nabla^2 p(r, z) + K^2 p(r, z) = 0$	(6)
Helmholtz fra punkt	$\nabla^2 G(r, z) + K^2(r, z) G(r, z) = -\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_s) \delta(z - z_s)$ <i>hvor \mathbf{r} er vektor, og s denoterer kilde-koordinater</i>	(7)
Fourier syntese bølglign.	$p(r, z, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) p(r, z, \omega) e^{-i\omega t} d\omega$	(8)
	<i>Tidsbestemt løsning.</i>	
Kilde-spektrum	$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-i\omega t} d\omega$	(9)
	<i>hvor $s(t)$ er puls-kilden hvor tidsdomene-løsning $p(r, z, t)$ betraktes.</i>	

Tabell 3.3: Formler Signalbehandling

Navn	Formel	Prefiks
Høyest fraksjonell reduksjon i kraft-spekter av error-signal	$\frac{See(w)_{opt}}{See(w)_{unc}} = 1 - \gamma^2$ <p><i>Hvor γ^2 er koherens koeffisienten mellom error og referansesignal, See er kraft-spekter til error signal. Opt står for optimal kontroll og unc for ukontrollerte (uncontrolled) signaler. Koherens koeffisienten skal tilnærmes 1</i></p>	(11)
Maksimalt oppnåelig effekt, ideelt ANC	$NR(f) = 10 \text{Log}_{10} \left[\frac{1}{1 - \gamma^2(f)} \right]$	(12)
Synkronisasjons-signal	$\{w_j(n), j = 0, 1, \dots, N - 1\}$ <p><i>Hvor N er antall sampler pr. syklus</i></p>	(13)
memory address pointer (MSP)	$y(n) = w_j(n), 0 \leq j \leq N - 1$ <p><i>Hvor j er en peker</i></p>	(14)
LMS kode	$w_{j-\Delta}(n+1) = w_{j-\Delta}(n) - \mu e(n)$	(15)
Tidsforsinkelse	$\Delta = \frac{\delta t}{T}$ <p><i>δt konstant</i></p>	(16)
Fundamental frekvens	$\omega_0 = \frac{2\pi}{L}$	(17)
Transferfunksjon	$G(z) = \frac{E(z)}{D(z)} = \frac{1 - z^{-N}}{1 - (1 - \mu)z^{-N}}$	(18)
Poler og nullpunkt for transferfunksjon	<p><i>null : $Z_i = e^{\pm j i \omega_0}$</i></p> <p><i>pol : $P_i = (1 - \mu)e^{\pm j i \omega_0}$</i></p> <p>$0 \leq i \leq N - 1$</p> <p><i>hvor i er frekvens-indeks.</i></p> <p>$\mu = \text{"step-size"}$</p>	(19)

Tabell 3.3 forts..

LMS kode, aktivt hakk-filter	$w_0(n+1) = w_0(n) - \mu e(n) x_0(n - \Delta_k)$ <p><i>hvor Δ_k er kompensasjon for effekter av sekundær bane ved harmonisk k, grunnet forsinkelse mellom det adaptive filters utgang og gjenværende error inngang</i></p>	(20)
Kompensasjon	$\Delta_k = t_f f_s$	(21)
Forsinkelse	$t_f = \frac{-\Phi}{2\pi f}$	(22)
Prosesseringstid og sample-periode	$t < T = \frac{1}{f_s}$	(23)
Nyquist kriterium	$f_s \geq 2f_M$	(24)
Modell-lengde i tid eller ekvivalent distanse	$l = N\Delta_s = \frac{Nc}{f_s}$	(25)

Tabell 3.4: Formler Vibrasjon

Navn	Formel	Prefiks
Forflytning	$d = D_0 e^{j\omega t}$	(26)
Amplitude av forflytnings-respons	$D = D_0 X^2 Z$ <p><i>Amplituden til den metriske funksjonen uttrykkes med to dimensjoner av resonans og en av impedans</i></p>	(27)
Modul av impedans	$ Z = [(1 - X^2)^2 + (2X\zeta)^2]^{1/2}$ <p><i>Hvor Z er gjensidig med forstørrelsesfaktor</i></p>	(28)
Resonans-rate	$X = \frac{f}{f_0}$	(29)
Naturlig frekvens	$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$	(30)

Tabell 3.5: Formler spekteranalyse

Navn	Formel	Prefiks
Udefinert forstyrrelse	$\phi = f(ct \pm x)$	(31)
Signalfrekvensforstyrrelse	$\phi = A \cos(k(ct \pm x) + \beta)$	(32)

Tabell 3.6: Formler Materialelegenskaper

Navn	Formel	Prefiks
Kraft	$F = k * d$ Hookes lov	(33)
Youngs Modul	$E = 2G(1 + \nu)$ <i>Hvor Elastisk modul for homogene isotrope elastiske materialer er en funksjon av poisson tall ν og skjærmodul G.</i>	(34)
Stivhetsmodul	$K = \frac{2G(1+\nu)}{3(1-2\nu)}$	(35)
Harmonisk fjær-masse	$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0$	(36)
Dempe-koeffisient	$c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n$	(37)
Naturlig frekvens av dempende oscillator	$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dx}{dt} + \omega_n^2 x = 0$ <i>Løsning approksimerer $x(t) = Ce^{st}$</i>	(38)
Dempede svingninger	<ul style="list-style-type: none"> • $\zeta = 0$: Udempet, med løsning $\exp(i\omega_n t)$ • $0 < \zeta < 1$: Underdempet, med løsning: $\exp(i\omega_n(1 - \zeta^2)^{1/2} t)$ • $\zeta > 1$: Overdempet, dersom s er reell • $\zeta = 1$: Kritisk dempet 	(39)

4. TEORIUTREDNING

Dersom en hurtig lydbølge under vann betraktes, fra en pistolrekes knipseklo, eller fra en mye større industriell propellmotor, oppstår kavitasjon. Fluidets negative trykk gjør at vannet fordamper til bobler som igjen imploderer med et høyt smell og i enkelte tilfeller et lysglimt med temperatur opptil ti ganger solas overflate. Sonoluminescence er fenomenet hvor lyd omformes til lys.

Det var Maxwells ligninger som flettet sammen elektrisitet, magnetisme og lys, senere observert av Hertz som bølger karakterisert med metriske lengder. Bølgers egenskaper kan betraktes i tid og frekvens, men dersom begge parametere betraktes momentant oppstår et problem. Uskarpetsprinsippet sier at enten posisjon eller frekvens for en gitt bølge kan defineres [6].

Lyd beskrives som mekaniske trykkbølger, sett at et medium må til for at bølgene forplanter seg. Luft, vann og metall leder lyd med varierende impedans, avhengig av tettheten og molekylinteraksjonen i mediet, følgelig trykket. En lydbølge, bestående av mekaniske trykkbølger, er en overføring fra et (eller flere) vibrerende element av karakteristisk frekvens. Dette er grunnfrekvensen. Alt etter materielle og geometriske egenskaper vil flere toner oppstå i det respektive fluidmediet, og karakteristikken for en gitt støykilde omhandler dette.

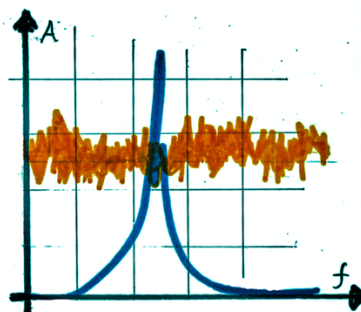
Teoriarbeidet inneholder en rekke innsamlet informasjon om hvordan et ANC-system skal operere effektivt, som vil betraktes videre i Kapittel 5. Informasjonen er sett i lys fra hovedmålsettingen, og dermed har utredelsen stadig inkludert nye aspekter. Prinsipper fra hydroakustikk, materiallære, vibrasjon og vibrasjonsanalyse kombineres gradvis til et kunnskapsfelt som vil benyttes utover i arbeidet.

4.1 Hav-akustikk

Essensielt sett finnes det to typer hydroakustisk støy, menneskeskapt og naturlig. Shipping er den dominerende kilde for menneskeskapt støy, men offshore rigger blir mer prominente med tiden. Naturlig støy dominerer ved lave frekvenser (< 10 Hz) og høye frekvenser (> 200-300 Hz). Shipping fyller inn regionen i mellom, og denne komponenten er vist økende over tid [7].

Støy klassifiseres i to grupper som funksjon av frekvens (Figur 4.1)

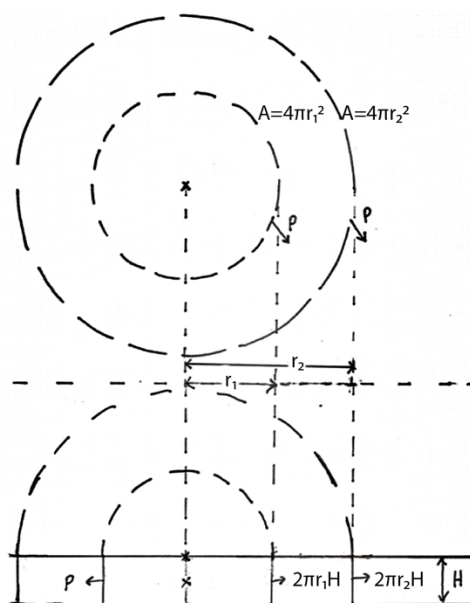
1. Bredbånds-støy: Støy kan skyldes turbulente årsaker, og i disse tilfeller observeres støy som energidistribusjon jevnt over frekvensbånd.
2. Smalbånds-støy: Periodisk støy generert av roterende/repetitive maskiner. Dette støyet observeres i spesifikke frekvenser.



Figur 4.1: Representasjon av frekvensdistribusjon av de to grupper støy. Blå graf representerer smalbånds- og oransje bredbånds-støy

Havets akustikk-egenskaper er mest avhengig av dets lyd-fart-struktur som igjen avhenger av havmiljøet. Lydfarten i havet er en funksjon av temperatur, saltinnhold og omgivelsestrykk som igjen er funksjon av dybde. Fra disse parametere er empiriske formler for lyd-fart i havet utviklet, og kan studeres i [7].

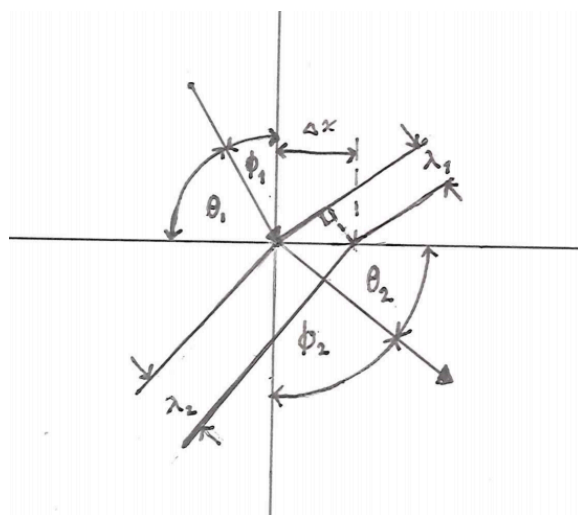
Kvalitativt kan lydforplantning deles i tre klasser: Veldig kort range, dypvanns- og grunnvannsforplantning. I veldig kort range sees trykkamplituden fra en punktkilde i fritt rom som synkende følgelig med kvadratet av avstanden. Dette er sfærisk spredning. Siden lyd ikke vil forplante seg uniformt i alle retninger, men derimot reflekteres i bunnen og overflaten av havet, kan en enkel tilnærming betraktes for sprednings-tap i et medium med øvre og nedre grenser. I denne tilnærmingen antas det at lyden forplanter seg uniformt ut over flaten til en sylinder med radius lik signalets range r og en høyde H korresponderende til havets dybde (Figur 4.2).



Figur 4.2: Sfærisk (over) og sylindrisk (under) spredning.

Dersom en kilde betraktes nærmere overflaten enn havbunnen så vil kilden avgi to hovedbaner. Dette skyldes at overflaten skiller til luft som er en perfekt reflektor. Når disse hovedbaner interfererer vil lyden spres i et mønster som kan betraktes med Lloyd-Mirror effekten. En reflektert bølge kan betraktes med den opprinnelige frekvenskomposisjon bare i motsatt fase [6].

Ved kartlegging av bane-spredning i hav og refleksjoner betraktes Snells lov (Formel 3) (Figur 4.3).



Figur 4.3: Snells lov gir en relasjon mellom bølgers refraksjonsvinkel og endring i bølgelengde mellom forskjellige medier ved hjelp av sinusfunksjonen. I figuren bryter signalet mot horisontal akse, som vil si at mediets indeks 1 er lavere enn indeks 2 (som fra luft til vann) - bølgelengden strekkes for signalet.

Snells lov og Lloyd-Mirror effekten gjelder for samtlige typer bølger. I bølge-partikkel-prinsippet for lys, blir utbredelse bestemt med bølgeegenskaper og energiutveksling mellom lys og materie bestemt av partikkelegenskaper [6].

4.2 Aktiv støykontroll

Konseptet ANC (Active Noise Cancellation) bygger på at en elektroakustisk enhet ut-toner lyd med samme amplitude og motsatt fase (den elektroakustiske enhet produserer "anti-lyd"). Lyd og anti-lyd kombineres akustisk slik at begge kanselleres. Aktiv vibrasjonskontroll kan defineres på samme måte, og er aktuell når en skal isolere vibrasjoner fra maskiner og stabilisere plattformer utsatt for unødig vibrasjon.

Adaptive systemer stiller seg selv mot endringer i systemet under kontroll, og ikke-adaptive systemer opererer med bestemte parametere. I ikke-adaptive ANC-systemer vil meget små akustiske endringer gjøre systemet ineffektivt, og applikasjonen er kun praktisk når et lite område med forutsigbar natur skal kontrolleres, som i aktive hodetelefoner [1].

Digitale filter inngår i adaptive ANC-system. Filteret stilles inn til å filtrere innkommende referansesignal slik at det passer med primær støy i ønsket retning [8]. Et slikt filter kan deles i to kategorier; det fysiske filteret og algoritmen som stiller det.

4.2.1 Effektivitet og konfigurasjon

Effektiviteten bestemmes av presisjonen på fase og amplitude-tilnærming, og av forholdsmessige årsaker i rom-perspektiv, er ANC mest anvendelig ved lave frekvenser, hvor lav sampling-rate er tilstrekkelig og plan-bølgeutbredelse er mulig.

Dersom ANC har inngang for referanse-signaler er dette et foroverkoblet system (Figur 4.4 til venstre), men i noen konfigurasjoner vil ikke systemet trenge signaler direkte fra støykilden. Da kan et tilbakekoblet system være tilstrekkelig (Figur 4.4 til høyre). Foroverkoblet ANC er mest vanlig i industrielle applikasjoner.



Figur 4.4 Til venstre: Foroverkoblet: Referansesignal (R) fra primærkilden (P.K) inngår i kontrollsystemet til sekundær kilde (S.K).

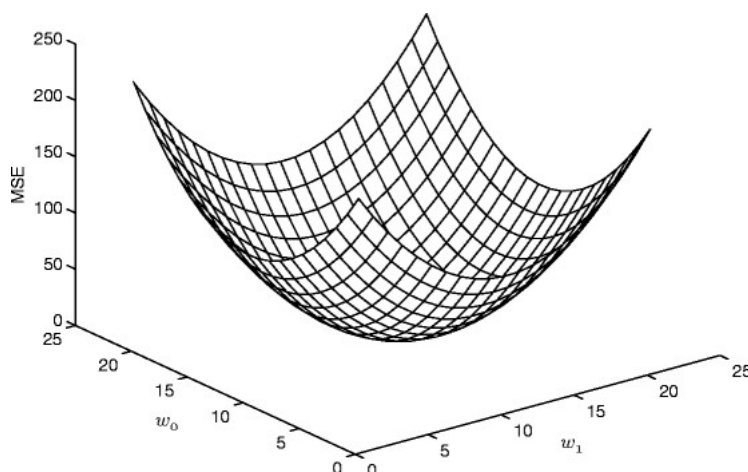
Figur 4.4 Til høyre: Tilbakekoblet: Kontrollsystemet styrer sekundær kilde med tilbakeføring av error-signal (E) uten referanse fra primær støy-kilde.

Arrangement av den utjevne eller sekundære transduser, ofte en lydkilde, er viktigst for systemets ytelse. Plassering av error-transduser, ofte en mikrofon, er nest viktigst, og må plasseres slik at relevante signaler fra primær- (støy) og sekundær-lydfelt (utjevning) oppfattes. Dersom konfigurasjonen er foroverkoblet, er kvaliteten på referansesignalet den tredje prioritering, og ytelse på kontroller den siste prioritering for et optimalt system [1].

4.2.2 Optimalisering

Ofte for et foroverkoblet system, kan en akustisk tilbakeføring fra kontrollkilde til referansesensor oppstå, og i noen tilfeller må resonanser kontrolleres i systemet. I disse tilfeller må et uendelig impuls-respons filter vurderes. Et endelig impuls-respons filter (FIR) vil i prinsippet kun filtrere harmonier av grunnfrekvensen som bearbejdes [8].

Optimale FIR-koeffisienter for stasjonær støy kan utledes ved å bruke krysskorrelasjonen mellom referanse og ønsket signal, og autokorrelasjon av referanse. MSE (Mean Square Error) minimeres av optimale filter-koeffisienter. Ved ikke-stasjonær støy er det ikke mulig å utlede optimale filter-koeffisienter fra korrelasjons-egenskapene til innkommende signaler, og koeffisientene må stadig kalkuleres. Utregningen kan da bli stor, og systemets effektivitet synker. Alle koeffisienter utgjør en $(N + 1)$ kvadratisk ytelses-flate, hvor N er antall koeffisienter. Flaten er skålformet, med et unikt bunnpunkt (Figur 4.5). I enkelte situasjoner vil området være tidsavhengig, som skyldes at settet av optimale filter-koeffisienter endrer seg. Den mest brukte metoden for å adaptere FIR filter for raskeste konvergens er sadelpunkt-metoden.



Figur 4.5: Kurven eller ytelses-flaten som representerer kvadratisk $N=2$ MSE, hvor w_0 og w_1 betraktes som vektens koeffisienter. Lineær regresjon for konvergens uttrykkes som en linje $w_0 w_1 + b$, hvor b representerer en verdi for partiskhet. (Bilde: Researchgate)

Koherens mellom referanse og error-sensor kan måles. Til dette brukes spekteranalyse. Maksimal oppnåelig effekt av et ideelt ANC-system estimeres med Formel 2. Ved flere error-sensorer (flere kanaler) brukes kvadratisk optimalisering [2].

ANC må stimulere strukturelle og/eller akustiske moder som aktiveres av primær støykilde og måle responsen. Funksjonen er både kontroll og observasjon. Numerisk modellering vil kunne brukes til å uttrykke akustisk potensiell energi eller lyd-trykk ved error-sensorer som funksjon av hastigheter eller krefter. Ved å finne de optimalt kontrollerende kreftene og maksimal reduksjon i hydroakustisk potensiell energi, eller minimum nivå på lydtrykket ved vektet error-sensor er systemet optimalt. Konseptet bestemmes av omgivelser, og det første som betraktes her er materialeegenskaper.

4.3 Materialelegenskaper

Selv i en diamant vil elektronene, som utgjør de kovalente bånd mellom atomene i den kubiske krystallstrukturen, ha vibrerende egenskaper i samspill med nukleus. Alle materialer vibrerer og radierer dermed bølger i omgivelsesmediet, men som synsfeltet til mennesker er også hørsels-spekteret bestående av en liten fraksjon bølgelengder samsvarende med dens biologiske funksjon.

4.3.1 Linearitet

Et materiale vil opptre lineært dersom stivhet k er konstant over tid (Formel 33). Stivhet er en funksjon av materiale og geometri, og vil ofte kunne defineres av Youngs Modul som en relasjon av mekanisk spenning og strekk. Linearitetsområdet er der hvor strukturen opptrer elastisk og tar sin opprinnelige form dersom energitilførselen opphører. Dette området vil kunne forbindes med et systems dynamiske energi, og som en fjær strekker det seg opptil et belastningspunkt før egenskapene blir plastiske. Den dynamiske modul er en funksjon av frekvens, og i kompositter er dette avhengig av bestanddeler og morfologi [9].

En annen forutsetning for lineær analyse, siden kalkulasjoner baseres på initial geometri, er at materialets form ikke endres betraktelig, slik at ingen deformasjon oppstår signifikant nok til å endre materialets stivhet. Deformasjonsherding går ut på å øke styrken til materialets stivhet, og innebærer reduksjon av formbarhet. Logisk nok kan dette oppnås ved kaldbearbeiding, som demonstrerer hvordan temperatur påvirker lineariteten til materialet.

Viskoelastisitet betraktes som elastisitet med en tidsforsinkelse grunnet indre friksjon i materialet under deformasjon. Denne egenskapen kan defineres for et materiale eller en sammensatt struktur, og den viskoelastiske egenskapen for et vibrerende system vil kunne modifiseres med et belegg som absorberer lydenergi fra kilden. Dersom ulineariteter mellom belegg og primærstruktur skal unngås, kan et funksjonelt gradert materiale betraktes. Et slikt inhomogent komposittmateriale vil kunne gi mulighet for tilnærmet lineær analyse av et valgt system, med variert komposisjon og struktur spredt gradvis over primærstruktur og studeres i [10].

4.3.2 Negativ stivhet

Et deformerende materiale kan lagres med eller tilføres energi slik at stivheten k blir negativ. I analytisk sammenheng er dette en ustabil situasjon som ofte oppstår ved brudd, men det er vist teoretisk at negativ stivhet kan stabiliseres i en positiv stivhetsmatrise. Når en kraft deformerer et elastisk materiale med disse egenskaper vil forflytningen skje i motsatt retning fra kraften.

I en vitenskapelig artikkel fra Universitetet i Wisconsin-Madison [11], betraktes ferro- og viskoelastisk demping med materialer av disse egenskaper. Når temperaturen til noen ferro-elastiske kompositter senkes, kan instabilitet grunnet skjærspenning føre til at krystallstrukturen endrer form. Landau-teori impliserer at fri energi har en relativ maksimalverdi korresponderende til ustabilitet under materialets transformasjons-temperatur [12]. Kompresjon av denne energi-funksjonen korresponderer til en modul, og artikkelen diskuterer forutsetninger for en negativ modul.

Siden et ustabil material vil danne bånd, eller domener, vil ikke negative moduler observeres uten restriksjon. Kontinuum teori for elastisitet viser hvilken type instabilitet som forventes av isotrope elastiske faststoff, og omfanget defineres med Poisson-tallet fra $-1 < \nu < 0.5$. Positiv verdi krever at

skjær- (G) og kompresjons- (K) moduler er positive for materialet. Fra grensebetingelser for trekkraft i elastisitetsteorien er forutsetningen her at overflate-krefter er spesifisert.

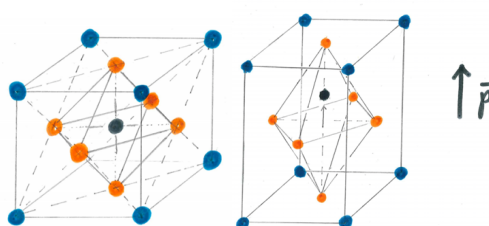
To-dimensjonale, to-fase kompositter med Poisson-tall nærmere -1 er funnet [9]. For å oppnå negativ verdi for kompositt av to materialer må stivheten til det ene være 25 ganger det andre, og dersom den negative verdien skal approksimere -1 må stivhets-forskjellen være enda større. En rekke mikroporøse polymere med negativt Poisson-tall har blitt utviklet, og produksjon av faste polymere med negativ verdi utvikles på molekylær skala.

Området for elastisk restriksjon for isotrope faststoff er enten $G > 0$ og $\nu < 0.5$ eller $\nu > 1$. Sett at Formel 34 og 35, vil negativ Youngs Modul E og negativ kompresjons-modul K være mulig. Meget flattrykte materialer er stabile med respekt til formasjon av bånd. Det er vist at materialegenskaper assosiert med dette rangerer fra positiv definititt til flattrykt, og Poisson-tall $\nu < -1$ er mulig.

Spontant strekk assosiert med fase-transformasjon for samtlige adaptive strukturer kan dermed utforskes. Deformasjon av en slik aktiv struktur kan forsterkes og kontrolleres via balanse mellom positiv og negativ stivhet. Kompositter som oppnår spontane volumetriske ekspansjoner under eksitasjon har potensialet for negativ kompresjons-modul dersom transformasjonen skjer under volumetrisk begrensning. Adaptive strukturer vil diskuteres nærmere i Kapittel 5.

4.3.3 Piezoelektrisitet

Enkelte atomiske gitter-strukturer kan beskrives som rombiske eller kubiske celler av atomer ladet med ioner som har flere stabile kvanteposisjonstilstander. Dersom gitteret deformeres eller utsettes for et elektrisk felt kan tilstander skifte posisjon, og koblingen mellom det sentrale ionet og gitteret gir en basis for transformasjon av mekanisk spenning til interne elektriske felt-skift og vice versa. Dette fenomenet er systemets piezoelektriske effekt, og ble først demonstrert av Curie-brødrene i 1880 [13]. Materialer som har denne egenskapen er blant annet naturlige og syntetiske krystaller og keramikk, naturlige materialer, polymerere og organiske bein og nanostrukturer (Figur 4.6).



Figur 4.6: Tetragonal enhetscelle av piezo-elektriske blytitanat. I figuren representerer blå sfærer Pb^{2+} og røde sfærer O^{2-} , kjernen er av Ti^{4+} , Zr^{4+} (eksempel hentet fra Wikipedia).

Piezo-koeffisienten til et materiale korresponderer til en modul. Denne kan ha direkte- eller skjær-egenskaper, og forteller hvordan forflytningen oppstår under eksitasjon eller i hvilken retning strukturen skal forflyttes for å oppnå spenning. Piezoelektriske materialer reagerer fort, men krever høy spenning for deformasjon. Spenningen og deformasjonen er relatert lineært, og en depolariserings-temperatur gir elementet en temperatur-restriksjon.

4.4 Vibrasjon

Resonans er hvordan vibrerende energi effektivt kan overføres fra en fysisk enhet til en annen. Mange objekter er utrustet med en naturlig frekvens, slik at ved eksitasjon vil objektet svinge i en unik (eller noen unike) frekvens(er), avhengig av egenskapene til materialet objektet er laget av. Et enkelt eksempel av naturlig frekvens kan betraktes med masse-fjær modellen (Figur 4.7). De eneste parametere er massen og fjærens stivhet, og Newtons andre lov gir en matematisk relasjon for systemets naturlige frekvens i Formel 30.

Fra Kapittel 4.3 kan en se at fenomenet vibrasjon for et legeme avhenger av den materielle tilstand, og eksempelvis kan linearitet og stivhet betraktes. En strukturell egenskap er også innvirkende, og piezoelektrisitet og resonans er begge eksempler av responderende fenomen av vibrasjon. Avsluttende for Kapittel 4.1 blir et bølge-partikkel-prinsipp i henhold til energiutveksling og bølge-egenskaper nevnt. Elektrisitet kan også demonstreres i like tankebaner, og det er ikke tilfeldig at piezoelektrisitet beskrives med partikkelegenskaper. For dempe-egenskaper vil heller bølge-egenskaper betraktes, for hvilken modell som brukes til hvilke formål avhenger av hvordan fenomenet vibrasjon kan observeres for et gitt problem. Analyse av vibrasjon er dermed en utfordring i seg selv, og ofte må et kompromiss tas dersom det enda finnes naturlige fenomener som ikke forstås i sin helhet.

4.4.1 Vibrasjonsdempning

Alle støykilder, med unntak av aerodynamiske støykilder, assosieres i praksis med vibrerende overflater. Vibrasjon defineres som svingning av et legeme eller en overflate om en moderat posisjon mellom to ekstremer og oppstår til en grad i alt industrielt maskineri. Fenomenet kan karakteriseres med akselerasjon, hastighet, forflytning, overflate spennings- eller deformasjons-amplitude og frekvens [2].

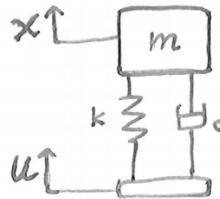
På en overflate vil vibrasjon og relativ fase normalt variere med lokasjon. Enhver struktur vil vibrere med enkelte moder, og hver mode responderer mest ved en tilhørende resonansfrekvens. En mode karakteriseres med romlig amplitude av respons-fordeling, noder og anti-noder. Noder beskrives som linjer med minimum respons over hvor brått fase-endringer oppstår fra fase til motfase relativ til en referanse, og anti-noder beskrives som regioner med maksimal respons mellom noder. Dersom en reell kraft er sammenfallende både i romlig distribusjon og frekvens med en strukturell mode vil den drive moden (responsen styrkes med bedre samsvar av kraftfeltet til mode-respons av strukturen).

Dersom den strukturelle mode drives til resonans vil responsen begrenses av dempingen til moden. For å unngå overflødig vibrasjon må et mekanisk system forsikre at sammenfallet av eksitasjonsfrekvens og den strukturelle resonansfrekvens unngås. Dynamiske egenskaper til et system kan forutses i designer-fasen ved hjelp av element/energi-analyse.

4.4.2 Akselerasjonstransdusere

En akselerasjons-transduser består i hovedsak av et akselerometer festet til en vibrerende overflate som måler vibrasjons-bevegelser. Den mest brukte form for akselerasjons-transduser består av en piezoelektrisk krystall, lastet med en fysisk vekt, og utformet til å ha en naturlig resonans godt over antatt eksitasjonens frekvens-område. Dersom dette ikke er mulig implementeres et mekanisk filter i systemet.

En masse-lastet piezoelektrisk krystall kan betraktes som et system med én frihetsgrad som drives ved basen av strukturen (Figur 4.7).



Figur 4.7: Prinsippskisse av piezoelektrisk akselerometer. Krystallen (lastet som kompresjon i skjærkraft) gir systemet stivhet og demping samt litt bidrag til treghets-masse. Mesteparten av treghets-massen utgjøres av lasten. Responsen av et slikt system, som drives godt under resonansen, kontrolleres av krystallens stivhet [2].

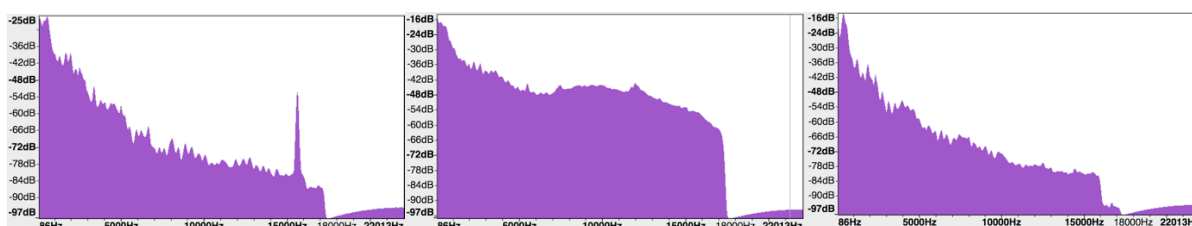
I frekvens-område vil bevegelse ved basen til akselerometer formidle fase-bevegelse til vekten på krystallen som resulterer i små strekk i krystallen. Indusert ladning på krystallen oppfattes av en høy-impedans-spennings-krets. Akselerasjon måles i kvantitet, men flere kommersielle integrerte kretser gir utgang for fart og forflytning. En del slike konfigurasjoner kan studeres i [2].

Forflytning d av en bevegelse beskrives med Formel 26. I (Figur 4.7) kan amplituden av forflytnings-respons D av akselerasjons-masse m beskrives med Formel 27, 28 og 29.

4.5 Frekvensanalyse

En forplantende lydbølge kan beskrives som en udefinert forstyrrelse (Formel 31) eller en signalfrekvens-forstyrrelse, som for eksempel Formel 32. Et spekter for en udefinert forstyrrelse beskriver sammensatte smale frekvensbånd, hvor alle båndene er karakterisert av frekvensområde.

Frekvensanalyse er prosessen hvor et tidsvarierende signal transformeres til frekvenskomponenter. Det kan brukes til kvantifisering av støy eller representasjon av frekvensdistribusjon for et sammensatt signal (Figur 4.9). Dersom tonale komponenter identifiseres ved hjelp av frekvensanalyse, er det en fordel å behandle disse forskjellig fra bredbånds-støy. Frekvensanalysen bestemmer effekt av kontroller for et ANC-system, og i noen tilfeller vil den kunne identifisere kilder.



Figur 4.9: Frekvens-spektrum. Fra venstre: 'Lost Art of Communication', 'Louder Than Words' og 'Things Left Unsaid' fra musikkalbum 'Pink Floyd – The Endless River'. (Analyseverktøy: Audacity)

Frekvensanalyse kan avdekke informasjon som klangfargen til et signal i form av spektroskopi. Klangfargen kan fremstille signalets forskjellige overtoner, og de forskjellige toners dynamikk i henhold til hverandre. Dette innebærer informasjon om hvor fort toner dør ut eller resonnerer. Mye av karakteristikken, og da spesielt strukturen av mediet kan analyseres med denne metoden, men i studiet av vibrasjons-egenskaper er det enkelte fundamentale aspekter som ikke kan avdekkes med digital analyse.

4.6 Kymatikk

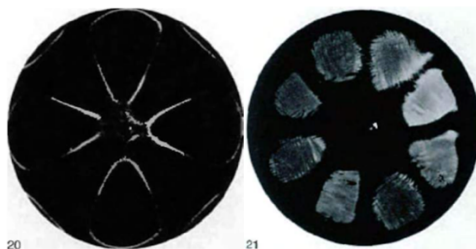
Chladini (1756-1827) eksperimenterte med fiolinbuer på metallplater med strøsand, og gjorde dermed vibrasjons-prosessen synlig [14]. Vibrasjonen fra bue-stryket gjorde at pulveret beveget seg fra anti-node-linjer til node-linjer, og slik ble de eksperimentelle akustiske prinsipper utformet i *die Akustik* i 1802. Rundt 1832 gjorde Faraday forsøk på vibrasjon i forskjellige fluider, og observerte mønstrene som oppsto på fluid-overflaten. Selv om han ikke fant noen applikasjon for resultatene sine så ble de ulineære stående bølgene, eller de såkalte Faraday-bølger, vist analoge til de Broglie-bølger i kvantemekanikken i 1924 som beskriver en bølge-partikkel dualitet [15, 16].

I senere tid har piezoelektriske krystaller spilt en stor rolle for eksperimentell akustikk, eller kymatikk (Figur 4.10). Ved å eksitere vibrasjoner i disse krystaller kan blant annet antall impulser bestemmes med høy presisjon med eksiterende generator, slik at den strukturelle frekvensen og amplituden kan fastslås. Videre kan det presise stimulerings-området defineres i tid.



Figur 4.10: Piezoelektrisk effekt på stålplate med strøsand. (Bilde: [14])

Som indikator brukes gjerne strøsand, men dersom en veske blir brukt i stedet forsvinner node-linjene, og anti-nodene oppstår som bølgefelt (Figur 4.11).



Figur 4.11: Begge plater er like og eksitert med samme frekvens. Til venstre er strøsand og til høyre en veske. (Bilde: [14])

I dag er kymatisk forskning knyttet mye mot det medisinske felt, og ledende forskere på området er fortsatt usikre på hvorfor ultralyd fungerer som terapi i generell praksis. Et annet tema som er interessant å betrakte er hvordan sneglehuset (lat. cochlea) i menneskets øre kan ha en lengde på rundt 30 mm, men lydbølger på 12 meter kan registreres av sanseorganet umiddelbart. Et forslag til hvordan dette forekommer er at informasjonen på hvert punkt i lydbølgen bærer identisk vibrerende data, helt ned til molekylnivå i lydmediet. Dersom et slikt prinsipp kunne utnyttes i ANC-teknologien, ville tidsforsinkelser fått en helt annen betydning.

5. TEKNOLOGI OG METODIKK

Teknologi er en ekstensjon av menneskets fysiske form som gradvis omfatter mer av verden vi lever i. I 1822 utledet Joseph Fourier en serie formler som ga matematikken enda en metode å betrakte vibrerende fenomener på. Fourier ideen sier at enhver kompleks bølgeform som endrer seg med tid kan dekomponeres til rene sinusbølger med forskjellig frekvens og amplitude. I tillegg fungerer den motsatt, slik at enhver kompleks bølgeform kan komponeres av rene sinusbølger til enhver tid. I dag er denne funksjonen integrert i en rekke programvare, og sammen med stadig oppdatert maskinvare brukes den til å behandle lyd og lys i signalprosessering, løse differensielle ligninger, spektroskopi og kvantemekanikk samt til å analysere en rekke naturlige og menneskeskapte prosesser.

Faradays lyd-representasjoner i vann kan observeres som et sett tilsynelatende statiske krefter som holder fluidet i en viss posisjon respektivt til frekvens og medium, men slik kan det ikke beskrives i sin helhet. Nodene er bestemte og antinodene oscillerer periodisk, som vil si at oscillasjonen må defineres som en komposisjon av tid og frekvens over en romlig distribusjon. Denne relasjonen er fundamental for all vibrasjon.

Luis DeBroigle viste, ved hjelp av relativitetsteorien, hvordan et elektrons moment kunne assosieres med bølgelengden til sin stående bølge-bane på samme måte som fotonets energi relaterer til fotonets frekvens. Moment og frekvens viste seg universelt proporsjonale, og uskarphetsprinsippet defineres som

$$\Delta x \cong \frac{1}{\Delta p}$$

Det mer en vet om momentet til en partikkel, det mindre vet en om posisjonen, og vice versa.

Kymatikken viser at vibrerende fenomener har en strukturell egenskap og samtidig kan beskrives som en dynamisk prosess. Hans Jenny referer til Sauter i *Cymatics: A Study of Wave Phenomena*, som beskriver et kvasi-krystall-arrangement for fluider med at spesifikk elektrisk resistans for rene metaller øker betraktelig lite selv om smeltepunktet overgås. Sammen med flere observasjoner konkluderer studiet med at *periodisitet* er bindeleddet mellom de strukturelle og dynamiske egenskapene til vibrasjon, og sammen utgjør de tre hovedparametere for bølgefenomener.

For en utdypet forståelse av hydroakustisk støydynamikk vil dens underliggende funksjonalitet betraktes fra det biologiske perspektiv før den aktive kontroll-modellen utformes; hav-livet kommuniserer med signaler som strekker seg fra det auditoriske til det visuelle spekteret avhengig av egenskapene til det relative forplantnings-mediet.

5.1 Vitenskap fra havet

Rødt er det siste av sollyset som slippes gjennom før det blir helt mørkt nedover havdypet. De fleste organismer i havet produserer lys som følge av en kjemisk reaksjon mellom lys-emitterende molekyler og enzymet *luciferin*, som kan være organismens integrerte funksjon eller et samspill med bakterier. Bioluminescens blir vanligere jo dypere i havet en kommer, og det hevdes at lys er den vanligste form for kommunikasjon på jorda [17]. Noen organismer kan gjøre seg omtrent usynlige for rovdyr ved å projekte lyset som treffer den ene siden av kroppen til den andre. Disse fenomenene skal ikke utforskes ytterligere i dette arbeidet, men de løfter et viktig poeng for teknologiutvikling i havet.

Forståelse av bioluminescens og andre fenomener fra havets domener er integrale for utvikling av vitenskap. Ofte blir havets miljø og organismer betraktet når essensielle spørsmål om livets opprinnelse, evolusjon og ubesvarte gåter i forbindelse med kjemi og fysikk stilles. Det er mulig at en ny og utvidet modell for generell vitenskap vil komme fra observasjoner og tester fra hav-bunnen, men først må teknologi utformes fra den eksisterende vitenskap som gjør dette mulig på et bærekraftig vis. Applikasjoner for transport, annen fritid og energiutnyttning vil alltid oppgraderes og utvides for havet, og det mer av "den nye" verden som forstås det mer vil den bli tatt hensyn til. Mye teknologisk utvikling som er modellert etter biologiske systemer i havet har blitt utført av militære parter, men kanskje flere sivile metoder hvor motivasjonen samsvarer med havets natur kan betraktes i fremtiden.

5.1.1 Adapsjon

Biologisk adapsjon vil si at sensorisk respons til en konstant stimulus avtar med eksponeringstiden. Studier har vist at noen fiskers sanseorgan er følsomme kun for lydakselerasjon, og flykt-responser kan hemmes under habituering [18]. Å kartlegge skremme-effekter på enkelte fiske-arter har gitt resultater som har lagt grunnlag til restriksjoner for menneskeskapt støy, men ikke alle resultater har en subtil metode bak seg. Flere dokumenterte hendelser av hvaler strandet på land er vist som direkte følger av militære sonar-aktiviteter i havmiljøet [17].

Hvordan støy påvirker hav-livet i sin helhet finnes ingen svar til, men resultater som at hørselsevnen til en rekke fiskearter ikke reduseres dersom de utsettes for støy utenfor sitt auditoriske frekvensområde foreslår at støy kan adapteres til et annet spekter for å unngå skadevirkninger. En systematisk unngåelse av områder med sjøpattedyr som gjerne er spesielt sensitive kan betraktes under transport, konstruksjon, geofysiske utforskninger og annen aktivitet i havet. Med dagens teknologi er det mulig å integrere slike faktorer til et adaptivt støykansellerende system spesielt utviklet for en gitt maritim applikasjon, og dersom elektriske motorer tar over for damp-turbiner i shipping-industrien kan en slik komplementering finne sted i overgangsfasen.

5.2 Tolkning og representasjon av lydbølger i havet

Lyd er en god kommunikasjons-kandidat for havet kontra radio, hvor mikro-bølgeutbredelsen fort vil absorberes av hav-vannet (hav-vannet er omtrent tusen ganger tettere enn luft rett under overflaten). En utsendt pulsbølge returnerer til mottaker med informasjon om objekter innenfor refleksjonsområdet. Jo kortere puls-signalet er jo mer nøyaktig informasjon kan hentes fra respons-signalet om plasseringen til objektet, og jo lengre puls-signalet er jo mer nøyaktig informasjon kan hentes fra respons-signalet om hastigheten til objektet. Dette forklarer uskarphetsprinsippet i praksis, og ved hjelp av Fourier transformet er det mulig å modellere signaler for økt optimasjon.

5.2.1 Bølgeligningen

Bølgeligningen (Formel 5), som beskriver lydforplantning i havet, deriveres fra hydrodynamikken, og dens koeffisienter og grensebetingelser er deskriptive av miljøet i havet. Det finnes fire modeller, eller dataløsninger til bølgeligningen [7].

- Ray-teori
- Spektral metode
- “Fast field program (FFP)”
- “Normal mode (NM)” og “Parabolic equation (PE)”

hvor førstnevnte brukes ved høye frekvenser og de resterende for lave. Brytningsindeksen er langt mer avhengig av dybde enn horisontal distanse, så disse modeller er dermed også essensielt to-dimensjonale. En modells horisontale forflytning klassifiseres som “range”.

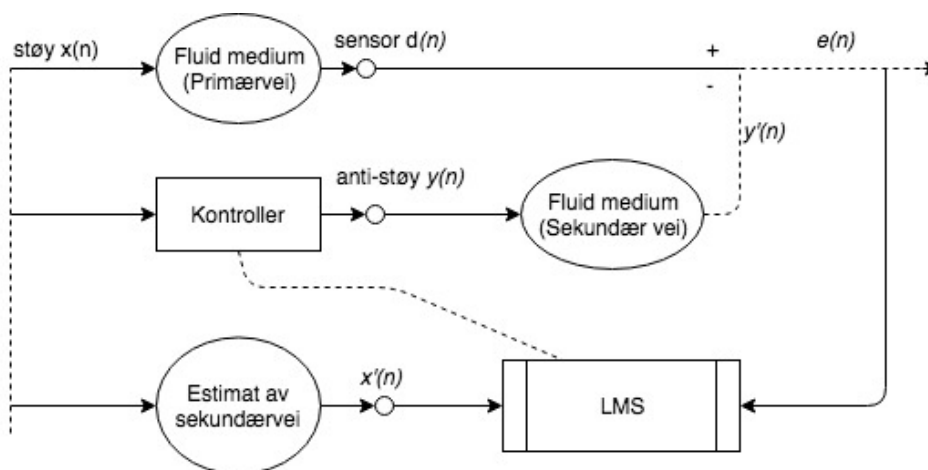
Bølgeligningen løses i frekvensdomenet, ved å anta løsningen med en frekvens-avhengighet av $\exp(-i\omega t)$ for å oppnå Helmholtz ligningen (Formel 7). Det “range” avhengige miljøet manifesterer seg selv som koeffisient $K^2(r,z)$ av den partielle differensialligningen for den passende lyd-fart profilen (Formel 6). Topografien fremstår som grensebetingelser. Akustisk felt $G(r)$ fra punktkilden finnes enten ved å løse grensebetingelsene fra Formel 7 med spektral metode eller NM, eller ved å approksimere Formel 7 fra et initial-verdi-problem med Ray teori eller PE [7].

Dersom havmiljøet ikke varierer med range, så vil bølgeligningen kunne løses effektivt med spektral-metoder. Fast Field Program (FFP) blir ofte brukt i praksis siden spektrale metoder har blitt praktiske med bruk av Fast Fourier Transform (FFT).

Ved bruk av Fourier ideen transformeres løsningen av Bølgeligningen inn i tids-bestemt løsning (Formel 9). Før denne løsningen kan brukes må transfer-funksjonen, $p(r,z,w)$, bestemmes fra en av frekvensdomenenes forplantings-modeller på et antall diskre frekvenser i frekvensbåndet som prosesseres. Funksjonen kan også bestemmes av Kontinuerlig Bølgeform (Continuous Wave). Havets respons til en puls $s(t)$ betraktes ved å kombinere beleilige og kalkulerte CW-koder (spektral integral, NM og PE) med en Fourier syntese-tilnærming [19], [20].

5.3 Kontroll-modellering

Et støykontrollerende system måler primær-signalet mot sekundær-signalet og adapterer differansen mellom ønsket respons og utgang til kontroll-filteret [21], [22]. Dersom flere transdusere inkluderes, som for eksempel flere error-sensorer for en større måleflate, så må systemet ta hensyn til veien alle signalene tar, men for en singel-kanal kontrollsløyfe med en primærvei og en sekundærvei vil funksjonaliteten betraktes med (Figur 5.1).



Figur 5.1: Skjematikk over generell ANC modell, som vil benyttes i dette arbeidet. Stiplede linjer kan betraktes som akustiske koblinger.

Fra Kapittel 4, går MSE-funksjonen i LMS filteret ut på å kalkulere summen av kvadrerte differanser mellom ønskede og oppnådde resultater over antall samples. Differansen mellom ønsket respons og utgangen av LMS-filteret er feilsignalet (error).

En støykilde med smalbands-egenskaper vil betraktes, for et periodisk referansesignal er ønskelig for den følgende utredningen.

Det skilles mellom to typer referanse-signal for smalband ANC [2]

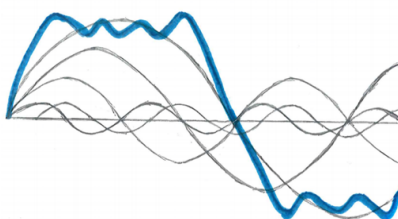
1. Pulstog med periode lik den inverse av fundamental frekvens på det periodiske støyet.
2. Sinusbølger med samme frekvens som korresponderende harmonier som kan utjevnes.

To teknikker, og adaptiv-kode muligheter betraktes [8]

1. Bølgesyntese bruker adaptiv transvers filter som stimuleres av et pulstog og oppdateres av LMS-koden
2. Adaptivt hakk-filter for interferens-utjevning baseres på to adaptive vekter og en 90° fase-skifter til å utjevne uønsket sinusoidal interferens ved primær inngang.

5.3.1 Teknikk 1: Bølgesyntese

I denne teknikk behandles sekvensbaserte utganger i synkronitet med aktuator. En transduser plassert i støyreduert område oppfatter gjenværende lyd og føder signalet tilbake til en tilpasningsenhet som modifierer syntesen. Bølgesyntesen tilnærmer utjevning ved frekvens-harmonier, men frekvensbånd i mellom harmonier kan ikke påvirkes. Synkronitets-signalet kan komme fra et tannhjul i maskinen (via et tachometer), som genererer et pulstog med et definert antall pulser jevnt fordelt over hver syklus i kilden, derav lagres utjevnedde samples i Bølgesyntesen som Formel 13.



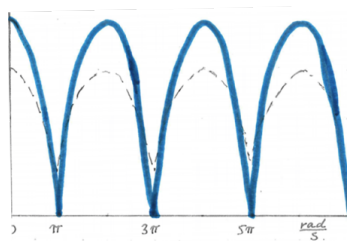
Figur 5.2: Et signal med flere overtoner kan tilnærmes med en bølgesyntese (blå kurve).

Synkron-signalet brukes til å derivere MSP, som kan være en inkriminerende programvare-teller kontrollert av avbrytnings-frekvens generert fra synkron-signalet. Samplene representerer ønsket bølgeform som skal genereres og presenteres sekvens-vis til en digital-til-analog omformer for å produsere anti-lyden med Formel 14.

Gjenværende støy plukket opp av error-transduser samples i synkronitet med referanse og anti-lyd. Samplet error signal $e(n)$ brukes av tilpasningsenhet til å justere verdier av utjevning bølgeform $\{w_j(n)\}$ med LMS algoritme for raskeste konvergens (Formel 15). Tidsforsinkelse inkluderes for data samples mellom utgangssignal fra bølgesyntesen og mottak ved error-transduser og kan betraktes med Formel 16.

Bølgesyntesen analyseres med adaptivt FIR-filter stimulert av pulstog periodisk (med periode L). Utjevnings-utgang $e(n)$ analyseres for en gitt inngang $d(n)$. Dersom initial inngang $D(z)$ og error-inngang $E(z)$, kan transfer-funksjonen $G(z)$ defineres med Formel 18 (Figur 5.6).

Tonale komponenter av periodisk støy ved fundamentale og harmoniske frekvenser kan dempes ved hjelp av kamfilter (Figur 5.3). Filteret kan beskrives ved at et hakk plasseres ved enhver harmonisk frekvens av forstyrrelsen.

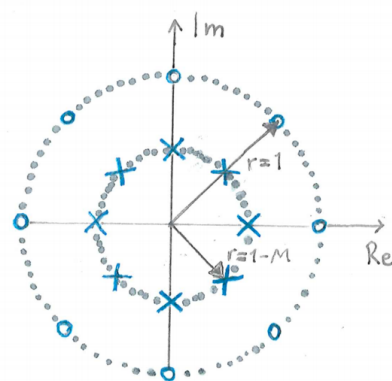


Figur 5.3: Kamfilter. Signalet dempes ved harmoniske vinkelfrekvenser. En lavere indeks gir smalere attenuering (stiplet linje).

For en fundamental frekvens (Formel 17) vil poler og nullpunkter være i like vinkler gitt Formel 19. Nullpunkter må ha konstant amplitude ($|z| = 1$) og være jevnt fordelt ($2\pi/N$) i z -planet for å skape nullverdier i frekvensrespons ved lave frekvenser.

Polene får samme vinkel og frekvens som nullverdiene, men er jevnt fordelt på sirkelen med distanse $1-\mu$ fra origo (Figur 5.4). Polene introduserer resonans i nærhet av nullpunktene, som reduserer båndbredde av hakket.

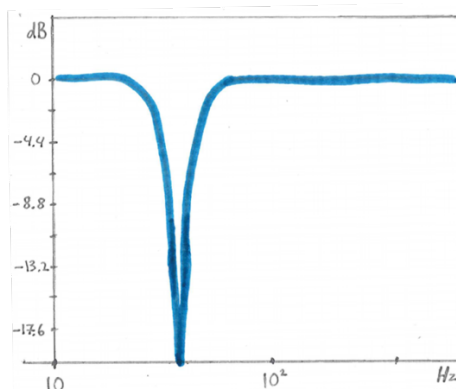
Idet størrelsessteget μ reduseres, kommer polene nærmere nullpunktene og hakkenes båndbredde blir smalere.



Figur 5.4: Poler (X) og null-plassering (O) i z -planet.

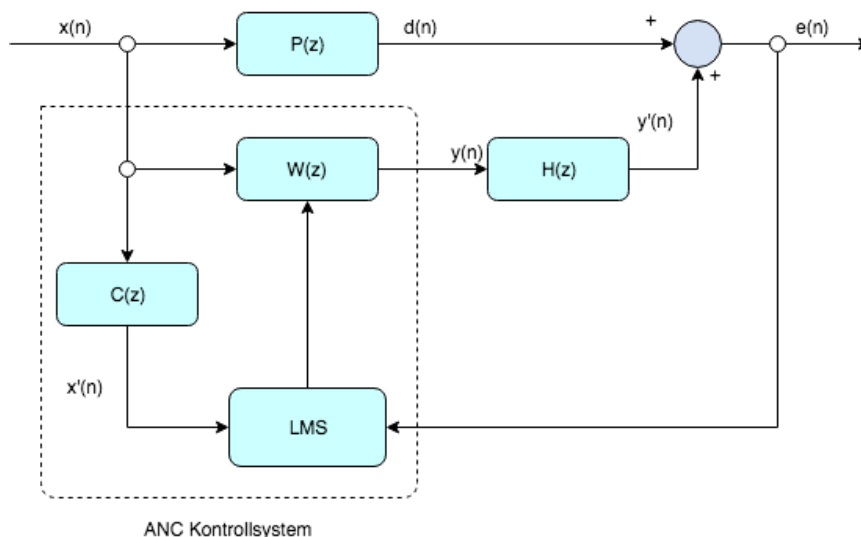
5.3.2 Teknikk 2: Adaptivt hakk-filter

Den andre typen referansesignal brukt i smalband ANC er sinusbølger med samme frekvens som støyet. Når en sinusbølge brukes til referanse-inngang blir LMS-koden et adaptivt hakk-filter slik at primære spektrale komponenter tas vekk innenfor det smale båndet sentrert om referanse-frekvensen (Figur 5.5).



Figur 5.5: Hakk-filter ved 50 Hz, hvor frekvensresponsen til filteret uttrykkes med amplituden. Hakkets båndbredde avhenger av μ .

Meget smale hakk er ønskelig for å filtrere ut interferensen uten å forvrengne signalet. Dette realiseres av en adaptiv ANC. I praksis vil dette innebære en enkel kontroll av båndbredde, uendelige nullverdier og kapasitet til å adaptivt spore opp eksakt frekvens av interferens. Mer utdypende informasjon om dette beskrives i [8].

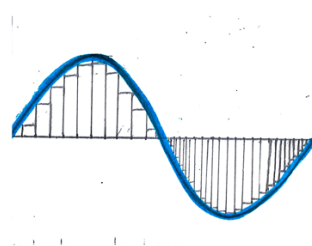


Figur 5.6: Blokkdiagram for FxLMS algoritme.

LMS algoritme for aktive hakk-filtre oppdaterer filter-vektorer til å minimalisere gjenværende error $e(n)$ og uttrykkes i Formel 20 og 21.

Forsinkelsen beskrives avhengig av frekvens (Formel 22). Den bestemmes ved at impulsresponsen $C(z)$ konverteres fra tids- til frekvensdomenet (Figur 5.6). Ved hjelp av Fourier transformet og kalkulasjoner av fase-verdi-forsinkelser kan strukturen for frekvens-utjevning beskrives, og derav også flere frekvens-utjevninger i samme struktur.

Kontroller må estimere forsinkelser og amplitude-enderinger som oppstår når uønsket støy går fra inngangs-sensor til sekundærkilde, som inkluderer forsinkelser i sensor, transduser og elektronikk. For at operasjoner skal skje i sann-tid må prosesseringstid t må være mindre enn sample-periode T (Formel 23), hvor sampling-raten skal være minst det dobbelte av høyeste frekvens i systemet (Formel 24) (Figur 5.7).

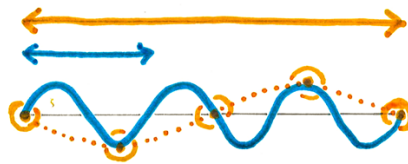


Figur 5.7: Visualisering lav (venstre) og høyere sample-rate for et signal (blå kurve).

Modellering av anlegget kan gjøres i tidsdomenet med FxLMS-kode. Antall direkte vektorer $W(z)$ ganger sample-oppløsning bestemmer modell-lengden i tid eller ekvivalent distanse (Formel 25) [8].

5.3.3 Foldingsfeil og rekonstruktive filtre

For å rekonstruere en original bølge i tidsdomenet fra en sample må signal-spektrumet være helt begrenset innenfor en båndbredde av halve sample-raten (Figur 5.8). Dersom denne begrensningen overgås, så vil signal-komponenter over en halv brettes inn i signalbåndet. Dette fenomenet kalles foldingsfeil, og kan ikke isoleres etter sampling [2].



Figur 5.8: Foldingsfeil. Punktprøvingen (oransje punkter) gjøres med en frekvens som er mindre enn Nyquist-frekvensen til det opprinnelige signalet (blå kurve). Dermed blir det rekonstruerte signalet (oransje kurve) forskjellig fra det opprinnelige.

Et anti-foldingsfeil-filter vil ideelt ha en flat amplitude og lineær faserespons over båndbredden av signalet og uendelig demping ved halve sample-raten og utover. Ved lavere sample-rate brukes et høyere ordens anti-foldingsfeil-filter, men høyere orden medfører lengre gruppeforsinkelse som kan forårsake kausalitets-problemer. I praksis kan dette løses med å velge et lavordens filter med bedre faserespons, men da trengs det høyere sampling-rate. Å kompensere på denne måten er oversampling.

5.4 Signalanalyse

Når en detaljert beskrivelse av støy-nivå som funksjon av frekvens skal oppnås, benyttes en smalbands spektrumanalysator. Denne applikasjonen er aktuell for analyse som inneholder komponenter med rene toner. Ofte vil frekvensen til en ren tone gi en indikasjon på hvor lyden kommer fra, og denne informasjonen indikerer områder for initiering av støy-kontroll.

5.4.1 Spekteranalyse

Spekteranalyse deles inn i tre typer og klassifiseres med finter-konfigurasjon; parallell filter type (samling av filtre), feid filter type (variabelt filter) og dynamisk filter type. De forskjellige filtre i en parallell filter-analysator er innstilt til hvert sitt frekvensbånd. Denne konfigurasjonen kan være dyr (dersom mange filtre er nødvendig), så en feid filter type som feier gjennom ønskede områder kan brukes, men en konstant inngang er nødvendig under analysen og transiente hendelser kan ikke analyseres med feid filter. Den dynamiske signal-analysatoren (sanntids-analysator eller spektrumanalysator) er den mest brukte analysator, den tilbyr kvaliteter fra både parallell og feid filter [2] (Figur 5.9).



Figur 5.9: Sanntidsanalysator fra Hioki. (Bilde: IKM Instrutek AS)

Dynamiske signal-analysatorer samler inngangssignalet, digitaliserer samplene og lagrer dem til minne. Opptaket konverteres til frekvensdomenet med DFFT-algoritme (Digital Fast Fourier Transform). Analysatorer bruker typisk 1024 eller 2048 sample-punkter i tidsdomenet for et 400- eller 800-linjet spektrum i frekvensdomenet (sampling-rate på rundt 2.5). Fler-kanal-analysatorer gir muligheten for undersøkelse av sammenheng mellom forskjellige inngangssignal.

Mange analysatorer har en ekstern klokke-inngang, som lar analysatoren samle i en utvendig bestemt rate. Ved registrering av roterende maskin-støy og vibrasjoner hvor hastighetsvariasjoner oppstår i små perioder, ved hjelp av for eksempel et tachometer, er dette nyttig.

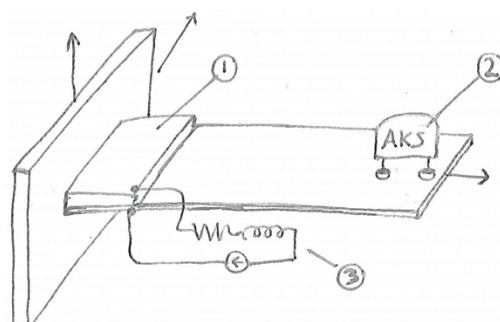
5.5 Adaptive strukturer

Adaptive strukturer kan endre på fundamentale egenskaper i respons med miljøet rundt seg. Analyse og design av slike strukturer krever en multi-disiplinær metode, hvor struktur-elementer, materialer, kontroll, dynamikk, ingeniørdesign og inspirasjon fra biologiske systemer studeres og kombineres for å løse spesifikke problemer.

Strukturer med dette konseptet innebærer innebygde funksjoner med sensor, aktuator, kontroll, selv-diagnose og operasjon. Piezo-transdusere har stor bredbåndskapasitet, høy presisjon på måling, kompakte egenskaper og er lette å integrere i strukturer. Piezo-elektriske transdusere som styrer elektromekaniske egenskaper med tilhørende krets- og nettverksdesign for adaptive struktur-systemer er et relativt nytt konsept [23]. Grunnleggende i denne konfigurasjonen er at den piezoelektriske transduser opererer som grensesnitt mellom mekaniske og elektriske komponenter. Elektronikken, som kan ha passive og/eller aktive egenskaper, kontrollerer dynamikken til systemet.

5.5.1 Aktiv-passiv mode-demping

Aktiv-passiv mode-demping kan integrere aktiv vibrasjonskontroll i klassiske piezo-elektriske parallellkretser. En piezo-elektrisk parallellkrets gir passiv mode-demping (Figur 5.10). Konseptet bygger på at strukturens respons, som aktueres av spenning eller strøm, kan forsterkes.



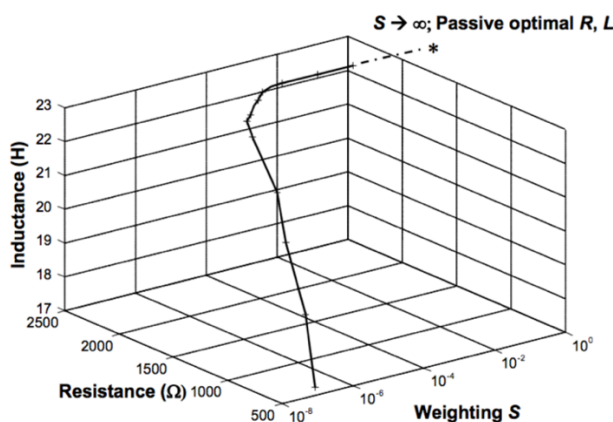
Figur 5.10: Multi-mode piezoelektrisk passivt spjeld kan oppnås med aktuator (1) og akselerometer (2) ved å legge parallelle grener med induksjon og kapasitans (3). En ekstra gren inkluderes for hver mode som skal dempes.

5.5.2 Periodiske strukturer

Periodiske strukturer anvendes ofte i industrielle applikasjoner, blant annet mange strømningsmaskiner. Disse strukturer er utformet av identiske sub-strukturer, som gir romlig periodisitet. For en ideell slik struktur, er vibrasjonsenergien uniform og mode-former jevnlig fordelt, men i praksis vil det være små avvik mellom sub-strukturene grunnet geometri og/eller materialegenskaper. Disse avvikene klassifiseres som ustemthet, og gjør at den periodiske dynamikken endres, men i mange tilfeller kan et system betraktes som tilnærmet periodisk [23].

I aktiv-passiv kontroll vil mode-responsen og den passive dempingen til strukturen forsterkes med inngangsspenning eller inngangsstrøm. Kontroll og krets-elementer kan syntetiseres slik at dempings-

impedansen ikke reduserer spennings-amplifisering i lukket krets (tilbakeføring eller foroverkobling). Optimal resistans R og induktans L for passiv-aktive system er ikke de samme verdier for et passivt system, og verdiene vektlegges etter (Figur 5.11).



Figur 5.11: Optimal induktans og resistanse for forskjellig vektlegging S (Bilde: [23])

5.5.3 Piezo-absorbenter

Dersom forstyrrelsen er smal-bånd og av ukjent frekvens vil systemet være sensitivt til innstillingsfeil (tuning-feil). Semi-aktive piezo-elektriske absorbenter skal dempe harmoniske eksitasjoner med tidsvarierende frekvenser. Situasjoner som ubalanse i rotasjon, endring i operasjon, oppspinn og nedspinn når maskin skrus av eller på inngår i slike tilfeller. Slike systemer bruker varierende spoler eller varierende kapasitans-element, men dette fører til noen komplikasjoner. Dersom variabel kapasitans blir brukt, begrenses piezo-absorbentens range, og med variabel induktans må en syntetisk spole-krets kobles inn som gir unødig resistans til konfigurasjonen.

Den passive induktans kan tunes til nominal (steady-state) eksitasjons-frekvens i en piezo-elektrisk krets, og en aktiv tilbakeføring adapterer kretsen til varierende frekvens. Dette løser tids- og resistans-problemet, og konfigurasjonen kan spore opp og dempe flere harmoniske eksitasjoner om gangen. En oversikt over slike metoder kan studeres i [23].

5.5.4 Depolarisering

Ytelse av piezo-aktuator avhenger av kontroll-algoritme og modellerings-presisjon. Fysikken bak piezoelektrisitet er en kombinasjon av Maxwells ligninger for elektromagnetisme og elastiske spennings-ligninger for bevegelse. Dersom en lineær modell skal betraktes, må elektriske felt som påføres piezo-aktuator holdes under koersitiv feltstyrke for å unngå depolarisering. Det viser seg at selv når det elektriske felt ikke overskrider grensebetingelsene for et gitt system, vil noen bånd (eller domener) depolariseres, som endrer materialets egenskaper og den elektromekaniske kobling. Som følge av dette må ofte ulineariteter kompenseres for i kontroll-systemer. Ulinearitetene kan karakteriseres med Preisachs modell, og studeres i [24] og [25].

5.6 Metodikk

Lyd bøyes og brytes mot regioner av lavere hastighet, slik at en kanal kan betraktes for havet, hvor lyden forplanter seg i lange distanser. Dette er SOFAR kanalen, og gjør det mulig for både det marine liv og antropologisk kommunikasjonsteknologi å effektivt utveksle komprimerte signaler i hav-miljøet [7]. I dette delkapittel skal signaler betraktes fra et biologisk perspektiv.

5.6.1 Innvirkning

Siden fluidmediet i havet kan betraktes som inkompressibelt, vil en gitt trykkbølge i havet oppføre seg essensielt forskjellig fra en korresponderende trykkbølge i luft, hvor en gitt bølge vil bøye seg rundt objekter og i tillegg tape energi til interaksjoner mellom luft-partikler. Friksjonen i luft fra en slik bølge med høy intensitet kan skape mye varme, men selv en eksplosjon vil videre overføres som kinetisk energi av omgivende luft-partikler som demper utbredelsen ved interaksjonene. I havet vil ikke bølgen bøye seg for objekter eller tape energi på samme vis. Vannets tetthet forblir det samme og alle hav-organismer består hovedsakelig av vann. Enhver gitt bølge i havet vil gå gjennom en gitt organisme i sin vei, men områdene som ikke består av vann hos den biologiske organismen, for eksempel luft-lommer og nervesystemer, vil forflytte seg internt relativt til bølgens intensitet og organismens biologiske karakteristikk.

Når trykkintensiteten til en bølge i havet, som klemmer det inkompressible fluidet mellom nodene, blir betraktelig høy oppstår et uforklart fenomen. Det er hovedsakelig fire teorier på hvordan sonoluminesens oppstår [26].

- Komprimering av argon eller xenon gass som varmer boblen til den gløder
- Varme-energi som skiller vannmolekylet til hydroksid og hydrogen-ioner som deretter kombinerer og gir fra seg lys
- Hele boblen varmes til det punkt at fenomenet kan betraktes som en slags glim-utladning
- En kombinasjon av de overnevnte

Pistolreken sjokkerer byttet slik at det lammes, der samme prosess vil oppleves som et høyt knips i luften, men ikke nok til å lamme en organisme. Eksplosjoner er dermed betraktelig farligere for hav-livet, og selv funksjonelle signaler som syntetiseres for bruk av ekko-lokasjon vil kunne demontere organismer internt dersom de inntreffer. Følsomheten på disse dyrene er ikke tilfeldig, for marine organismer kan benytte et komplisert sansesystem som betraktes ytterligere i følgende paragrafer.

5.6.2 Signaloverføring

Fra Kapittel 5.1 kan det konkluderes at visjon er begrenset for det marine liv. Mange land-dyr er avhengig av luktesans for livets funksjon, og selv om enkelte fisker stoler på luktesansen for å lokalisere nærliggende korallrev så er luktesansen generelt mindre betydelig for de fleste organismer i havet, med unntak av noen hai-arter hvor fluidmediet kontinuerlig strømmer gjennom en rekke sensoriske celler i to brede kanaler (nesebor) som gir en sans for retning (og sammen med eksepsjonell hørsel, syn, og elektroreseptorer som med elektrosensitive reseptor-celler tilkoblet porer på overflaten oppfatter elektromagnetiske felt fra levende organismer samt sidelinjeorganer som registrerer

bevegelser og trykkendringer ved at fluidmediet strømmer gjennom følsomme hår på innsiden av organismen gjør haien til et fascinerende rovdyr). Men de aller fleste marine dyr benytter lyd til å oppfatte omgivelser, kommunisere, lokalisere mat, beskytte seg selv og områder, tiltrekke partnere og koordinere gruppeaktiviteter så vidt forskning kan vise [17]. Marine pattedyr avhenger av lyd for å kunne opprettholde kontakt mellom mor og avkom, reproducere seg og uttrykke følelser.

Knølhvalen (Figur 5.11) produserer vokaliseringer som kan høres i lange avstander. Sangene er komplekse og samstemte, og kan utspilles i timevis. I paresesongen setter flere syngende paddefisk i gang med et spektakulært lydbilde som kan minne om bie-sverming på land. Det er som regel de mannlige hvaler og fisker som står for slike tonale lyd-fenomener i havet, og selv når skille-flaten mellom hav og luft kan betraktes som en perfekt reflektor så er det mulig å høre summingen fra land.

Det er åpenbart at marine dyr har helt særegne fysiologier for både produksjon og oppfatning av lyd. Seler og sjøløver har lignende menneskers mekanisme for lydproduksjon, siden de også snakker i luft, men i tillegg genererer de lyder under vann ved at luft sirkulerer gjennom luft-lommer i hodet. Delfiner og tannhvaler plystrer, klikker og sender pulserte signaler gjennom havet. Tannhvalen har en rekke nasale luft-lommer som kan åpne og lukke seg for hverandre. Luftbevegelsene stimulerer vibrasjoner som amplifiseres av ytterlige resonerende luft-lommer. Lyden stråler deretter ut gjennom fett i pannen til fluidmediet, hvor fett-komposisjonen fokuserer de utgående lydbølgene til retningsorienterte signaler.

Lydproduksjon hos fisker kan klassifiseres med tre hoved-teknikker

1. Gnicking og sammenstøt mellom skjelett-komponenter
2. Dynamiske fart-endringer i fluidmediet (svømming)
3. Kontraksjon og ekspansjon av soniske muskler lokalisert på eller ved svømmeblæren



Figur 5.12: Knølhval (Bilde: Wikipedia)

5.6.3 Mottaksmekanisme

På lik måte som de marine dyr er eksperter på lydproduksjon er de også fremragende lyttere. Sentralt for lyd-deteksjon er struktur, og organismer som har utviklet seg i havet kan by på en biologisk funksjonalitet som neppe kan måles med teknologisk utvikling. Det hevdes at tannhvalens nedre kjeve er utstyrt med en fett-komposisjon som sammen med pannebeinet kanalisere lyd til det midtre øre, men en full forståelse av dette fenomenet er enda ikke observert [27]. Et annet mysterium er hav-skilpaddene, hvor ingen registrerte målinger kan vise at de avgir lyd. Auditorisk hjernestammeforskning viser at hav-skilpaddene hører lave frekvenser under vann, men med lite sensitivitet. Den eksterne åpningen til hav-skilpaddens øre er dekket av tykk hud lignende den på resten av hodet. Et fettlag derunder gjør det nesten umulig for den å høre i luft, men gir den gode ledningsevner for hav-lyder til det midtre og indre øre. Det er også interessant å bemerke at hav-skilpaddene kan ferdes rundt i samtlige områder av havet, men ikke i kalde, polare klima. Fra Kapittel 4.3 kan en analogi trekkes her, til temperaturavhengig linearitet av et materiale.

5.6.4 Metodikk for utarbeiding av støydempende modell

Mesteparten av lyd produsert av fisk er lave frekvenser, typisk under 1000 Hz. Marine pattedyr som hvaler og delfiner produserer lyd over et mye bredere spekter. Bardehvaler kommuniserer med frekvenser under 10 Hz, og en delfins ekko-lokalisering klikk kan forplante seg i over 100 kHz. Fra Kapittel 4.1 hvor shipping-industrien betraktes (90 % av verdens transport er avhengig av shipping) ser vi at den hovedsakelig fyller ut fra det nederste toneleiet til bardehvalene og opp mot 200-300 Hz, men dersom oljeutvinning, militære sonar-aktiviteter, teknologiorientert forskning og fiske-lokasjonsmekanismer inkluderes så dekker dette et bredt spekter av frekvenser som strekker seg forbi de fleste fiskers oppfatnings-spekter.

Potensielle skadevirkninger som må tas høyde for inkluderer

- Støyforurensning som er adferds-påvirkende for organismene
- Bakgrunns-støy som hindrer dyrene fra å oppfatte lydbildet i økosystemet
- Økning av det fysiologiske stress-nivå hos organismene
- Hørselsskader.

Dersom skadevirkninger skal kartlegges må dyrenes reaksjon til naturlige lyder først måles, slik at en referanse kan bestemmes for de ulike artenes oppførsel. Å skape en slik forsøksmodell krever en grundig forståelse av organismene og instrumenteringen som benyttes for å utvinne måleresultater.

Faktorer som er essensielle for utarbeidelse av en slik modell innebærer

- Hørsels-sensitivitet
- Støy-toleranse
- Eksponering til samme støynivå over tid
- Adferd ved eksponering

- Alder
- Legning
- Gruppekompisjon.

Det er synd at organismer må utsettes for slike metoder, selv når den vitenskapelige metode følges til punkt og prikke. Mye vitenskapelig fremgang spesielt i det medisinske felt er utarbeidet med lignende modeller gjennom tidene, og det virker til at en mer human måte å oppnå tilstrekkelig informasjon om hvor mye vi kan og ikke kan forurene havmiljøet med maskiner – som i og for seg er inspirert av naturlige fenomener – kan utredes. Når alt kommer til alt er det bare så mye en kan si om diverse måleresultater, men levende organismer som organiserer seg og lever et liv for seg selv burde vi hatt mer kjennskap til.

Dette arbeidet omhandler støy-demping, og adaptasjon av menneskeskapte teknologier i havet slik at hav-livet potensielt skal kunne kvalitet-sikres. En ordentlig vitenskapelig metode omhandler essensielle elementer av kausalitet, hvor ingen av disse inkluderer måledata på skremmeeffekter av fisk. Noen nyttige observasjoner som er gjort med den vitenskapelige metode derimot (selv om de også kan utledes logisk), er

- Lavfrekvent støy er mest skadelig
- Dersom en organisme utsettes for støy utenfor sitt auditoriske frekvensspekter vil ingen direkte skader forekomme
- Habituering svekker sanseorganet.

Det er også vist at fluktresponsen til fisker er raskest dersom påførte lyder imiterer rovdyr. Fisker og muligens andre marine organismer har ingen reflekser mot antropologisk støy, som kan skyldes at den maritime industri-utvikling kan betraktes som en kort periode i en uendelig harmonisk utvikling av livsformer i et symbiotisk system. Skipstrafikken og andre industrielle inngrep i havet har ingen funksjon for dyrelivet bortsett fra å generere bakgrunns-støy som gradvis interfererer mer med kommunikasjon, helse og dermed også livskvaliteten til artene og deres utvikling.

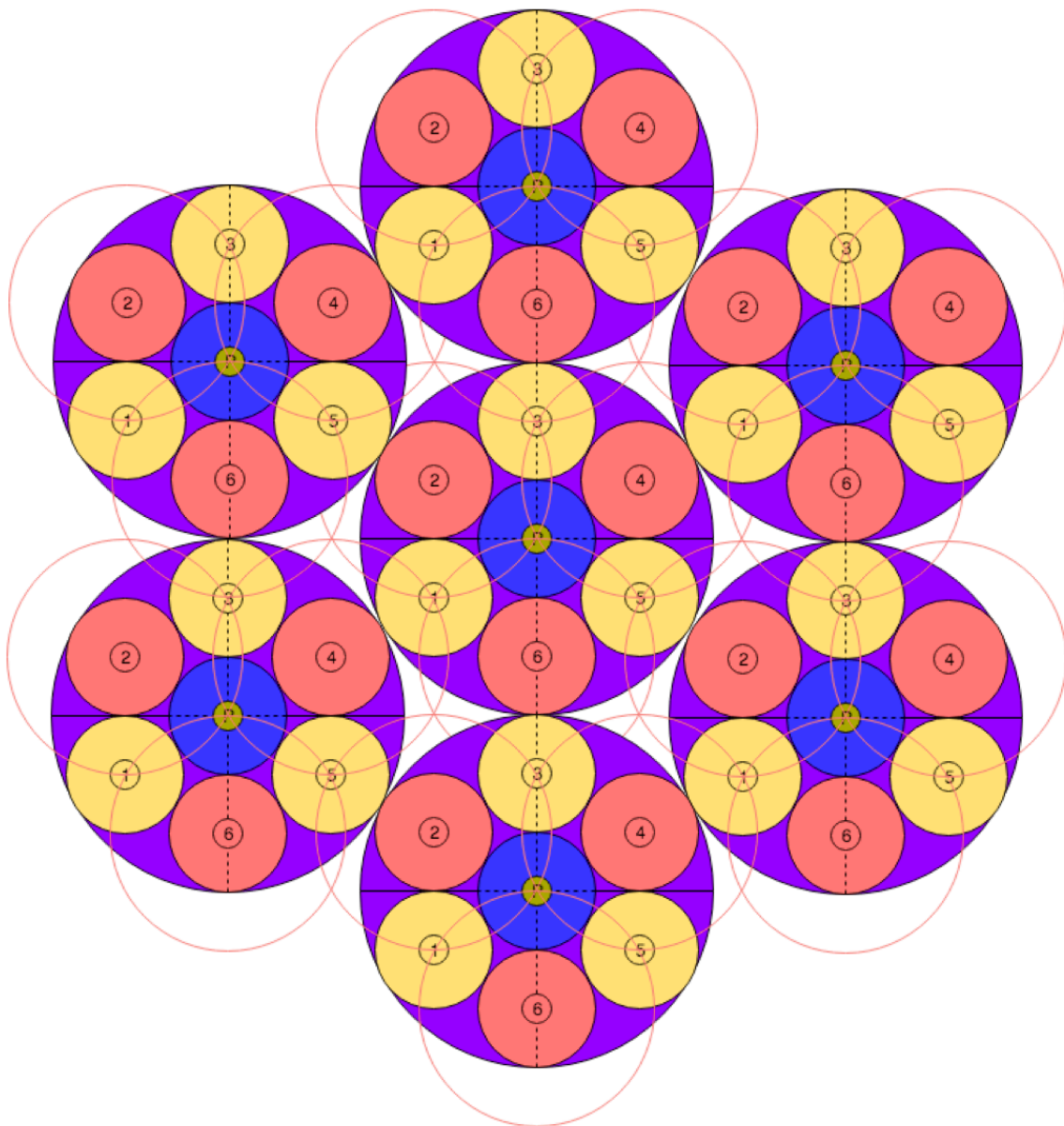
Menneskets utvikling avhenger også av havet, kilden til alt grønt som springer til liv på overflaten. Det er viktig at havet utforskes og utnyttes ytterligere, som en kilde til ren energi og kunnskap om livenes relasjoner mellom to poler i en stadig ekspanderende verden (Figur 5.13).



Figur 5.13: «Empty your mind. Be formless. Shapeless. Like Water» -Bruce Lee (Bilde: Wikipedia)

Del II

Adaptiv Støyreduksjon for Hav-livet



6. SPESIFISERING

I ANC-teknologi må tidsforsinkelser kartlegges og kontrolleres for optimalisering av et system. Dette er den største utfordringen for ANC i havet, og kanskje grunnen til at en effektiv løsning ikke er installert. I dette arbeidet vil en aktiv strukturell løsningsmetode underholdes.

Parallelt med konseptgenerering vil utforming av en praktisk del finne sted. I dette kapittelet vil en forsøksmodell selekteres med bakgrunn i informasjon fra teori og teknologi-utredningen og noen antakelser som ønskes utforsket. Tre konseptskisser vil fremlegges, vektlegges og kombineres til et hybridkonsept som til en viss grad kan utforskes og gi empiriske resultater. Avhengig av omfang på disse målte verdier vil de diskuteres videre i arbeidet.

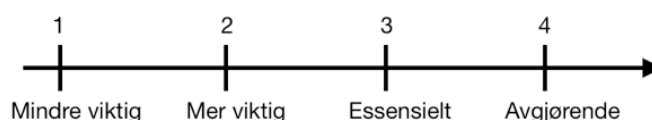
6.1 Vektlegging av egenskaper

Under spesifisering ønskes det koherens mellom utvikling av forsøksmodell og videre konseptmodellering. Sentrale ideer som er i fokus gjennom prosessen er å anvende kunnskapen opparbeidet i Del I, men samtidig inkludere et element av nyskapning og kreativitet. Selve forsøket må være gjennomførbart, men det videre arbeidet i modelleringen kan inneholde konsepter som transenderer arbeidet utført i Del I. Derfor vil konseptgenereringen bestå i ambisiøse forslag, som er inspirert av arbeidet underveis, og forsøksmodellen bli et bidrag til forståelse hos undertegnede samt gi grunnlag for noen innledende forsøk til det valgte konseptet. Med et mål om å sette i gang en prosess som kan utforskes videre etter arbeidet vil en praktisk konseptgenerering betraktes. Forsøkskonsept vektlegges etter gradestokk avbildet i (Figur 6.1).

6.1.2 Konseptgenerering

For et forsøk ønskes verdier for en eller flere hovedparametere:

- Error-signal
- Referanse-signal (Primærkilde)
- Utjevnende signal (Sekundærkilde)



Figur 6.1: Gradestokk for seleksjonsprosess i konseptgenerering, se Tabell 6.1.

Tabell 6.1: Vektlegging etter betydning for arbeid:

Gjennomførbarhet	4
Originalitet	3
Generalitet	2
Enkelthet	1

Enkelthet vektlegges i konseptgenerering siden en lett forståelig modell er ønskelig. Enda viktigere er det at modellen kan anvendes i flere applikasjoner, dermed blir generalitet prioritert høyere. Et originalt design er essensielt da videreutvikling av konseptet blir tilrettelagt med bakgrunn i arbeidet fra Del I. Men viktigst av alt er det at modellen til en viss grad kan gjennomføres og utforskes, derav gjennomførbarhet. Denne egenskapen ranker høyest, og under konseptgenereringen korrelerer denne mest med de tilgjengelige ressurser, tidsmessige faktorer og muligheter for utvinning av data.

Ønskede egenskaper

En modell for aktiv støydemping for en generell struktur som kan videreutvikles med et stort utvalg parametere fra forskjellige fagfelt. Noe av modellens grunnleggende funksjonalitet skal kunne testes med lineære tilnærminger, og dersom ulineariteter kan betraktes deretter er dette ønskelig.

Begrensninger og metriske grensespesifikasjoner

Sanntidskontroll kan ikke gjennomføres da en DSP ikke er tilgjengelig for arbeidet. Det vil si at et effektivt ANC-system ikke kan presenteres i dette arbeidet, og eksperimentenes relevans hviler på observasjoner under forskjellige vibrasjons-eksitasjoner. En spektrumanalysator er heller ikke tilgjengelig, og signaler vil analyseres 'off-line' hvor MATLAB benyttes til grafiske representasjoner. Av disse årsaker er ikke nøyaktige målerverdier nødvendige, og eksperimentene vil hovedsakelig bestå i innledende kalibrerende tester som skal gi bekjentskap til instrumenteringen. Fra disse analyser vil videre modellering betraktes. Systemets metriske mål samsvarer med tilgjengelig utstyr, og er henholdsvis

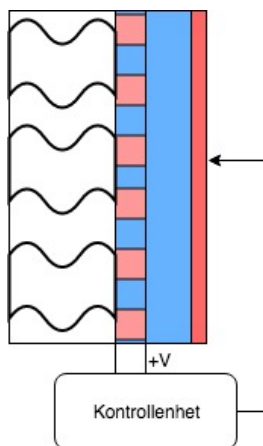
- Piezo-elektriske element $D = 27 \text{ mm}$
- Grunnstruktur $D = 150 \text{ mm}$
- Kontrollvolum $V = 600 \times 400 \times 310 \text{ mm}$

Tilgjengelig utstyr samt miljøspesifikasjoner fremlegges i Kapittel 7.

Konseptgenerering

A. Aktiv mode-demping med fluid medium

Et node-nettverk fra strukturen, som aktivt regulerer en platestruktur til å destruktivt interferere ved stående bølger (Faraday-punkter) for frekvensområde (Figur 6.2).

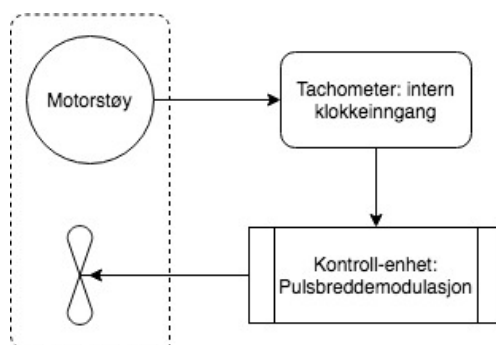


Figur 6.2: Fra venstre: Vibrerende struktur (primærkilde), piezo-stack (rødt), fluid medium, kontroll-plate (rødt) (sekundærkilde). Under genererer kontrollenhet inngangssignal til sekundærkilde med hjelp av spenning generert over piezo-stack.

Vibrasjonsenergien utnyttes ved hjelp av piezo-transdusere i stack-formasjon. Disse leverer spenning til systemet samt informasjon (FFT) til kontrollenhet. Plate-materialet er også piezoelektrisk, og responderer adaptivt til kontrollutgang. Et viskoelastisk fluidmedium mellom stack-sensorer og plate-aktuator kontrollerer temperatur, isolerer komponenter og øker akustisk impedans. Fluidets egenskaper må integreres i modellen.

B. Adaptive propellblader

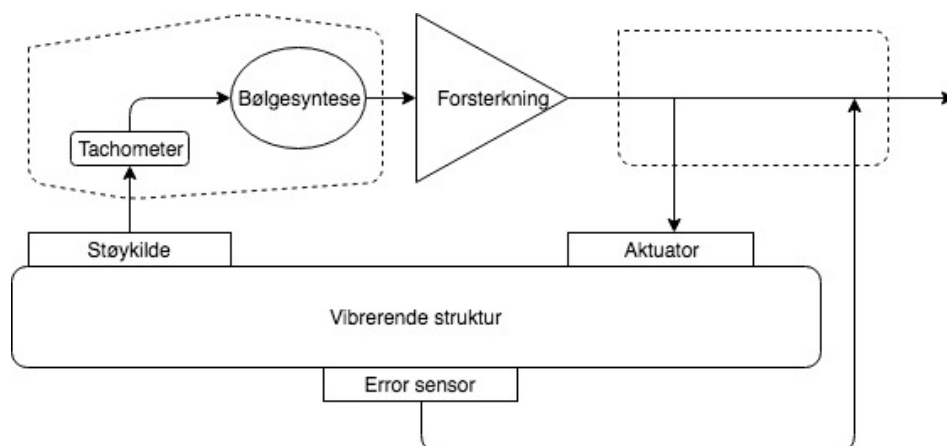
Ytterst på propellbladene installeres en konstruksjon av strukturelle og materielle egenskaper slik at stivheten til komposisjonen drives av et pulsert signal fra kontrollenheten (Figur 6.3).



Figur 6.3: Konseptskisse av adaptive propellblad. Kontrollenhet regulerer stivheten, og dermed innvirkningen av propellbladene i havmiljøet etter smalbånds-egenskapene til motorstøyet. Kontroll-enheten tenkes å vise seg mer omfattende med inngang for informasjon fra havmiljøet.

C. Bølgesyntese og maskinlæring

En geometrisk (symmetrisk) støygenererende struktur skal dempes ved hjelp av sanntidskontroll. Ny bølgesyntese utvikles ved hjelp av en neural nettverksmetode som gradvis integrerer flere parametere etter all tilgjengelig relevant informasjon (Figur 6.4).



Figur: 6.4: Bølgesyntese og maskinlæring. Et nettverk må kobles til, og de stiplede områder betraktes som koblings-punkter.

Tabell 6.2: Vurdering av alternativer sammenlignet med ønskede egenskaper:

Konsept	Enkelhet	Gjennomførbarhet	Generalitet	Originalitet	Sum
A	2	8	6	3	19
B	1	4	2	6	13
C	3	12	4	9	28

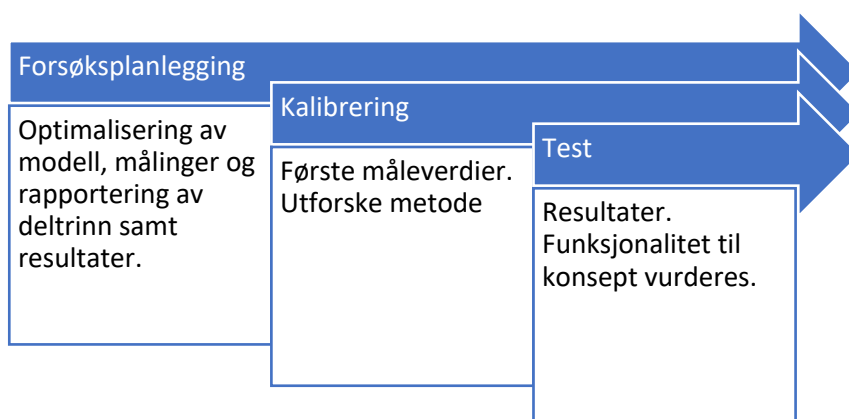
En modell med adaptiv stivhet (konsept B) ville vært meget interessant, men slike komposittmaterialer er vanskelige å realisere siden samtlige tilgjengelige informasjonskilder på negativ stivhet fremdeles er i utviklingsfasen. Enkelte begrensninger grunnet utstyr fører til at konsept A blir vanskelig å bevise eksperimentelt, men en videre evaluering av denne modellen kan betraktes i (Vedlegg II). For konsept C finnes det flere løsninger (forslaget er generelt, og samtidig delvis utviklet som en forsøksmodell), og siden instrumenteringen og ønskete egenskaper passer best til denne løsningen, velges den som hovedkonsept i hybrid-konseptgenereringen.

6.2 Hybrid-konseptgenerering: Spesifisert forsøksmodell

En vilkårlig metallisk plate som er lett, tynn og flyter på vann betraktes som struktur. En vibrerende kilde monteres (primærkilde), og piezo-elektrisk transduser installeres (referansesensor) for å registrere vibrasjon i struktur. En hydrofon fra vannet måler strålingsintensitet (støyutslipp), og nye piezo-elektriske transdusere installeres. Disse er aktuatorer og skal bruke informasjon fra sensor til å utjevne støyutslipp (sekundærkilde).

Modellen inneholder elementer fra alle tre konsept, men er mest preget av tankesettet til konsept C. Kontrollmodellen fra teknologi-utredningen i Kapittel 5 brukes som utgangspunkt til å mekanisk adaptere strukturens vibrasjon mot likevekt (prosessbeskrivelse av DSP kontroller i Vedlegg I). Systemet konvergerer ideelt sett når radiasjonsintensitet fra struktur til vannmediet går mot null for et utvalgt frekvens-spekter. Maskinlæring kommer inn i bildet når strukturen og utbredelsesmediet ikke er uniformt, og vil diskuteres avsluttende. Planlagte forsøkstrinn betraktes med (Figur 6.5).

6.3.1 Forsøkstrinn

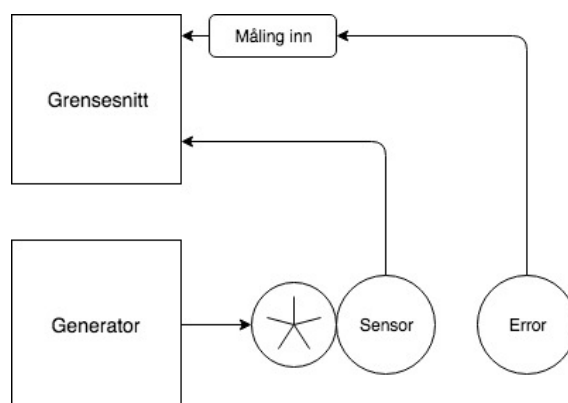


Figur 6.5: Forsøkstrinn med milepæler

6.3.2 Forsøksplanlegging

Forsøk 1: Måle-verdier ekstrapoleres fra en primærkilde (Figur 6.6).

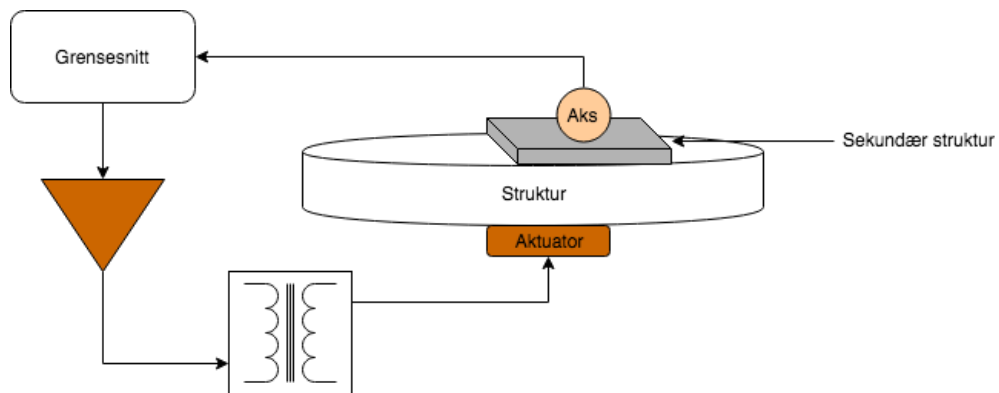
Mål: Hovedsakelig kalibrering



Figur 6.6: Første forsøksmodell. Måling inn måles off-line.

Forsøk 2: Et signal leveres til strukturen. Måle-verdier ekstrapoleres. Et akselerometer for sensor-inngang introduserer en ny dynamisk funksjon til systemet (Figur 6.7).

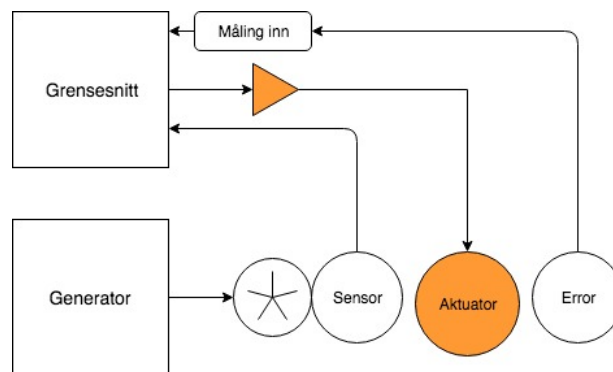
Mål: Demonstrere akselerometers funksjon for et system.



Figur 6.7: Strukturen stimuleres av visse frekvenser. Aktiviteten måles med akselerometer gjennom en udefinert struktur-sammensetning.

Forsøk 3: Strukturen aktueres med sensors inngangs-signal. Neste steg blir innføring av algoritme for utjevning med spekteranalysator.

Mål: Utvikle et aktivt system.



Figur 6.7: Prosessen kan ikke realiseres i sann-tid og det er ikke nok innganger for et integrert system (modellen bruker tre i stedet for ett grensesnitt), men det antas at DSP-kontroll med FxLMS kan modelleres for systemet og verifiseres i SimuLink [22].

7. INSTRUMENTERING

Et piezo-element kan benyttes som filter, hvor et AC signal sendes gjennom et spesifikt utformet piezo-materiale. Geometrien (lengden) bestemmer hvor mye av signalet som kommer gjennom grunnet resonans. I dette kapittel skal noen sentrale funksjonaliteter fra instrumenteringen som betraktes for arbeidet presenteres.

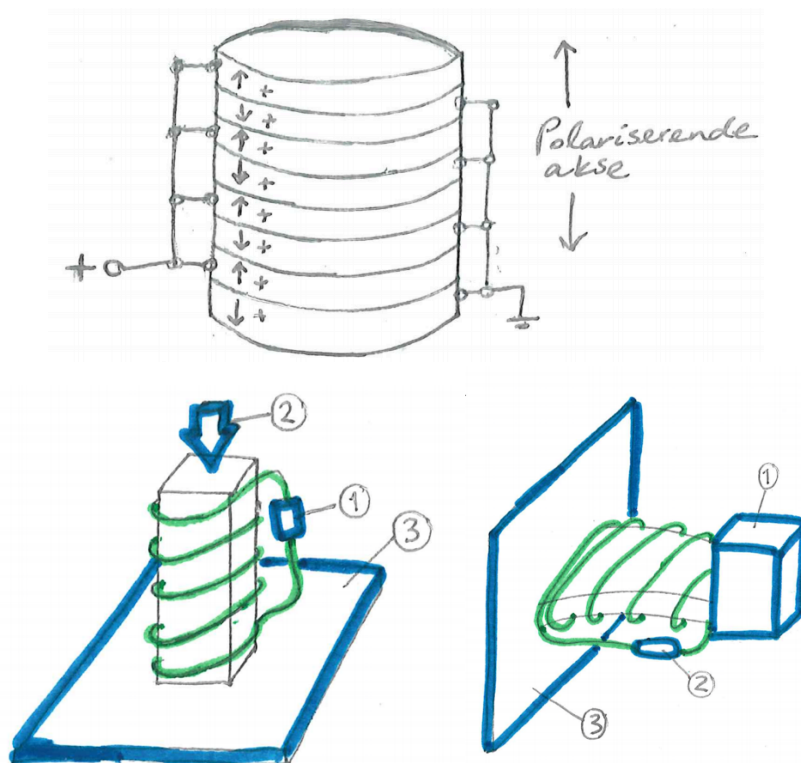
7.1 Transdusere

De sensoriske og aktuerende elementer som registrerer, omformer og leverer signaler er av størst relevans i instrumentering.

7.1.1 Piezoelektriske, magnostriktive og treghetsaktuerende transdusere

En bimorf består av piezo-element med tilfestet diafragma, eller membran som amplifiserer utgangssignalet. Bimorf konfigurasjon er aktuelt for høyttalere, hvor diafragma kan være messing eller et ytterligere piezoelektrisk materiale.

Piezoelektrisk sensor krever forsterker med høy impedans, og i dette arbeidet benyttes en step-up transformator. I tilfellet høy vibrasjonsintensitet trenges en tung struktur, stacking, eller en magnostriktiv sensor (Figur 7.1).



Figur 7.1: Over: Stack av piezoelektriske elementer. Under: Fundamentalt prinsipp av magnostriktive bevegelses-sensorer. En magnostriktiv sensor består av terfenol tau i en spiral som bærer signalet (grønn farge). Til vestre vil en elektrisk last (1) stimuleres når en trykk-kraft (2) påføres objektet i en stiv ramme (3). Til høyre vil en masse (1) stimulere lasten (2) som følge av treghetsmoment i det rammen vibrerer (3). Disse krever lav impedans effektforsterker som kan tåle høy last [2].

En løsning på å oppfange frekvensbånd i en større struktur er treghets-aktuator [2]. Her benyttes tregheten til tunge permanente magneter som er bevegelige, tredd på en stasjonær spiral. Tunge magneter tres på som perler på snor, og ved å stramme eller løsne på dem ved enden oppnås tuning. Ved tilfellet tre permanente magneter kan aktuatoren operere i tre forskjellige frekvensområder.

7.1.2 Bimorf piezo og piezo-akselerometer

For dette arbeidet betraktes bimorf piezoelektriske buzzere og et piezoelektrisk akselerometer. For buzzeren (navnet kommer av at slike små transdusere ofte brukes i forbindelse med en tonegenerator til små primitive høyttalere, eller buzzere) vil best mulig sensorisk effekt oppnås dersom den plasseres på et glatt og rett område av kildestrukturen. Spenningen som oppstår over det keramiske piezo-elementet ved vibrasjon kan ekstrapoleres direkte som et audio-signal. Dersom den vibrerende bevegelsen er periodisk vil den innebære overtoner, men dersom den ikke er periodisk kan responsen tolkes som et kontinuum av overtoner. Hvis forstyrrelse i målt akselerasjon skal være minimal må forsterkningsfaktor essensielt være konstant over frekvensområdet som betraktes. Akselerometeret fungerer på et likt vis, men her trengs ikke en glatt overflate. For å oppnå aktuerende effekt av buzzer må spenningen til inngangs-signalet være litt over 100 V. Tilhørende instrumentering blir da en transformator samt audio-forsterker. Buzzerene monteres ved hjelp av epoxy-lim, som ikke interferer med kontaktflatene.

7.2 Resonans- og filter-egenskaper

Akselerometeret bruker en 20 mikrometer piezo-film laminert med 0.125 mm polyester substrat, og har en høy sensitivitet ved lave frekvenser. I et tilfelle hvor et akselerometers resonans interfererer med måleresultatene kan et mekanisk filter installeres.

Det mekaniske filteret plasseres mellom basen til akselerometeret og måle-flaten. Funksjonen filteret har er å minimere akselerasjonens resonans-effekt, men installasjonen resulterer i at den høyfrekvente responsen forsvinner og registrerer dermed lavere presisjonsmålinger ved lave frekvenser. Et alternativ er å filtrere ut akselererende resonans-respons ved hjelp av et elektronisk filter ved utgangen av forsterkeren, men dette kan redusere målingenes dynamiske range grunnet begrenset dynamisk range på forsterker [2].

Buzzerene består av kobber og messing samt et keramisk piezoelektrisk materiale, og har en naturlig resonans på 4.6 +/- 0.5 kHz. Akselerometerets naturlige resonans er forholdsvis ukjent, men er utformet til å kunne festes direkte til høy-frekvente element [28].

7.3 Struktur

Båt, vindmølle, oljerigg og rør er typiske marine industri-installasjoner. For å simplificere og utlede en modell som kan simulere de akustiske effektene slike installasjoner har for havmiljøet velges det å bruke en flytende metall-struktur. Fordelen med en flytende struktur i denne sammenheng er at ikke alle elektroniske komponenter må isoleres for vann. Slik kan konfigurasjon og design tilpasses etter behov. I tillegg kan målinger fra luft-siden og vann-siden av flaten sammenlignes mot hverandre. Materialet antas å være av tinn, men ingen klassifisering blir gjort. I forsøket betraktes struktur, sensor og aktuator etterhvert som en integrert enhet.

7.4 Kontroll, måleverktøy og forsterkning

En rundstrålende hydrofon med integrert FET buffer forforsterker benyttes. Den produserer en utgang som er elektronisk ekvivalent til en kondenser mikrofon. Dette medfører også at transduseren krever tilført effekt, som i dette tilfellet trekkes fra en ytterligere felt-mikrofon. En liste over ytterligere komponenter kan betraktes i Tabell 7.1.

Tabell 7.1. Liste over elektroniske komponenter

Komponent	Spesifikasjon
Audio-forsterker	byggesett fra Kjell & Company (vedlagt skjematikk med komponenter)
6V DC Motor	
Resistans	220 Ohm
Transistor	P2N2222A
Potensiometer	
Diode	1N4148
Arduino mikrokontroller	uno
Transformator	N = 20
Audio-kabel	Jack til jack
Ledninger, 9V batteri, koblebrett	

Grensesnitt

Audacity benyttes til opptak av piezo-elementer og analyse for kalibrering. Zoom H2n feltmikrofon er grensesnitt og effektforsterker for hydrofon. Til utvinning av måleverdier blir MATLAB benyttet, og da hovedsakelig tilleggsprogramvaren DSP tool-kit fra MathWorks.

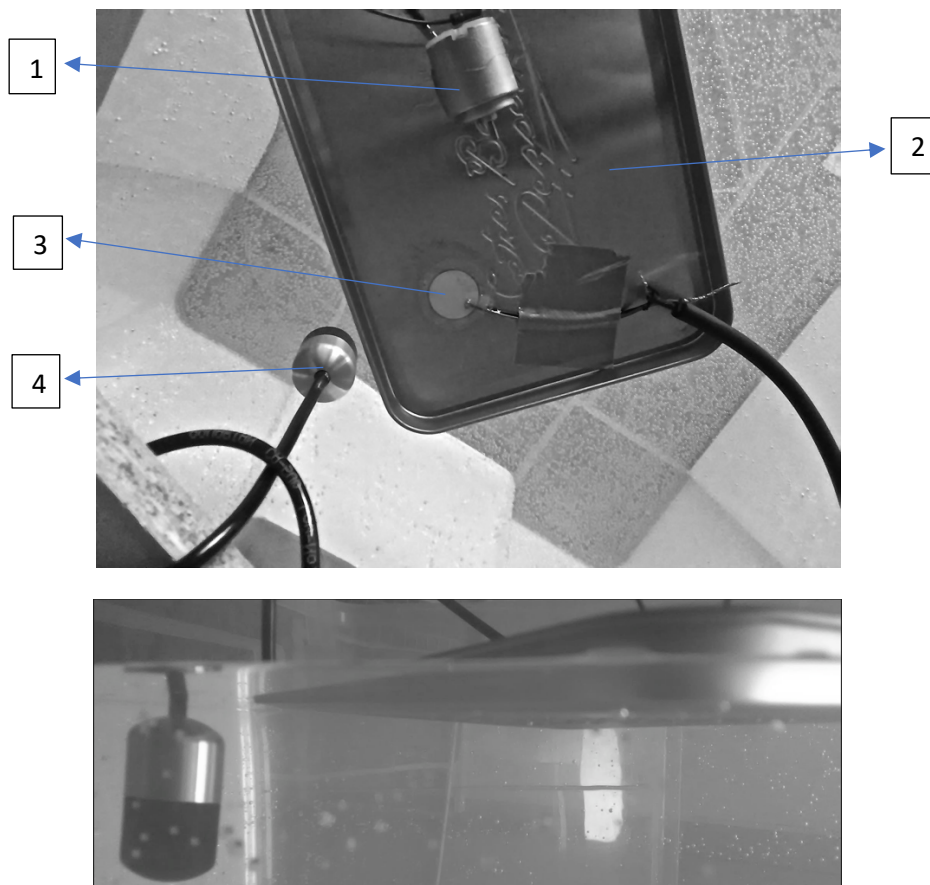
Miljøspesifikasjoner

Saltvann er meget skadelig for elektroniske komponenter. Innledende vil derfor spring-vann benyttes, og dersom forholdene endres (enten isolasjon eller eksternalisering av elektriske komponenter) vil saltvann betraktes. Neglelakk benyttes som ekstra isolasjonslag etter epoxy-limen. Forsøkene utføres ved 20 °C, og fluidet er helt stasjonært idet prosessen startes.

8. FORSØK

8.1 Forsøk 1: Kalibrering

Målet med forsøket er å kalibrere komponentene, få en oversikt over responstid, kvalitet på signaler og andre parametere for error og referanse.



Figur 8.1: Kilde (1), struktur (2) og transdusere (3 og 4). (Bilde: Eget foto)

8.1.1 Gjennomførelse kalibreringsforsøk

- Primærkilde: 6V DC motor regulert av potensiometer
 - Kontroll: Arduino mikrokontroller
- Referanse: Piezo disk.
 - Grensesnitt: Audacity
- Error: Hydrofon H2a
 - Inngang: Feltmikrofon H2n

Potensiometeret ble skrudd opp og ned slik at verdier med bredt frekvensspekter ble registrert. Prosessen varte cirka 20 sekunder (Figur 8.1).

8.1.2 Observasjon etter første forsøk

- God frekvensrespons, dårlig tidsrespons. Tidsforsinkelse på $\cong 5s$. Mulige årsaker er lengde på hydrofon-ledning (9 meter) og forsinkelse i feltmikrofon. I dette tilfellet ble hydrofon og piezo-sensor startet manuelt fra Audacity og feltmikrofon respektivt, så tidsforsinkelsen er ikke konklusiv. Respons av referanse kan ikke vurderes. Grensesnittene kan betraktes i (Figur 8.2).
- Målingene ble klare, trengte ikke å endre gain i programvare (Figur 8.3).

8.1.3 Bemerkninger av første forsøk

- Ønsker bedre kontroll på primærkilde.
- Bedre modell for opptak med error må utføres.
- I neste forsøk blir piezo-disken montert på undersiden. Impulsresponsen kan testes, og uskarphetsprinsippet kan betraktes fra signalet.
- Et lav-frekvent spekter ønskes og en ny primærkilde vurderes.



Figur 8.2: Fra venstre: Kontroll-enhet, error-inngang og referansesignal.



Figur 8.3: Error-signalet til sammenligning. En metode for direkte opptak må vurderes.

8.2 Forsøk 2: Akselerometer

Målet med forsøket er å introdusere et dynamisk sensorisk element på en ulineær måte til et flytende system samt aktuere et piezo-elektrisk element fra undersiden (vann-siden) av systemet.



Figur 8.4: De tre piezo-elektriske kontakt-element på oversiden er inaktive, og et koblingsbrett er limt over med et akselerometer til referanse. Det var ønskelig å betrakte ulineariteter, men her ble det flere enn forventet. (Bilde: Eget foto)

8.2.1 Gjennomførelse andre forsøk

- Primærkilde: Piezo-element fra undersiden, digitalt kontrollert med tone-generator
- Referanse: Piezo-akselerometer festet med midlertidig lim gjennom et koblingsbrett (plast) til tre inaktive piezo-elementer på oversiden.
 - Grensesnitt: Audacity
- Error: Hydrofon H2a
 - Inngang: Feltmikrofon H2n

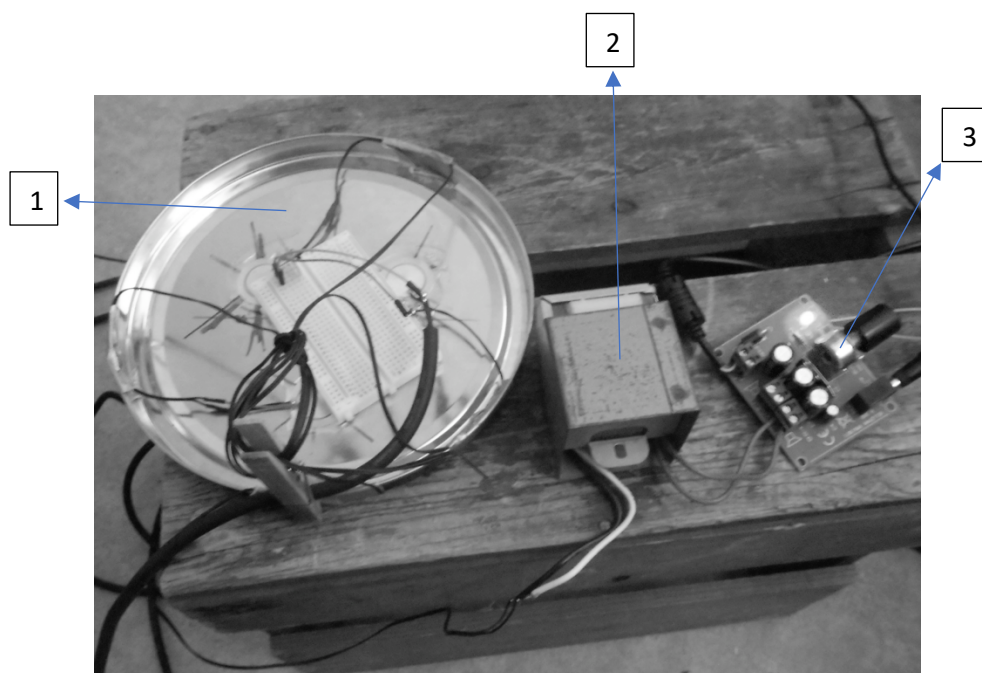
En tone-generator leverer gitte frekvenser til piezo-elementet, og de måle-verdiene sammenlignes mellom error-hydrofon og piezo-akselerometer. Tonegeneratoren ble satt til 290 Hz, derfra regulertes den gradvis til 0 Hz, med en stopp på 200, 150, 100 og 50 Hz.

8.2.2 Observasjon etter andre forsøk

- Feilkilde: Ingen signal ble registrert fra error hydrofon.
- Ved lave frekvenser oppsto små separasjoner (hørbart) mellom koblingsbrettet og strukturen.
- Målinger fra akselerometer ble relativt klare, til tross for ulineariteter.

8.2.3 Bemerkninger av andre forsøk

- Inngang var 'audio' for akselerometer. Fra litteraturen blir inngangssignalet ofte registrert som funksjon av hastighet. For å kunne sammenligne med buzzere, og i tillegg spare tid, blir det samme analyse-verktøy benyttet for alle transdusere i dette arbeidet.
- Første aktivering av piezo ble oppnådd. Strukturen avgir betydelig høyre lydnivå dersom den flyter i vann kontra stimuleres i luft.
- Generelt sett burde koblingsbrettet vært festet bedre, helst inntil strukturen. Siden elementer allerede var festet, ble målingene gjort med hensikt på å likevel se hvor klare skillene var mellom ulike lave frekvenser, som ikke er optimalt for et akselerometer.



Figur 8.5: Struktur (1), transformator til inngangssignal (2) og audio-forsterker til inngangssignal (3). Det var ikke tilstrekkelig instrumentering til å aktuere flere transdusere samtidig.

8.3 Forsøk 3: Sekundær og primærkilde (avbrutt)

Målet med det tredje forsøket er å integrere en sekundærkilde til et system ved å forsterke referansesignalet og levere det til strukturen gjennom tre kontakt-transdusere med varierende fase- og filteregenskaper.

8.3.1 Gjennomførelse tredje forsøk:

- Primærkilde: 9.5V DC stepper motor, regulert frekvens (potensiometer)
 - Kontroll: Arduino mikrokontroller med LCD (avlesning)
- Sekundærkilde: Piezo disk (Aktuator), 3 stk.
 - Kontroll: MATLAB, off-line
- Referanse: Piezo disk (Sensor)
 - Grensesnitt: MATLAB, off-line
- Error: Hydrofon H2a
 - Inngang: Feltmikrofon H2n

Referansesensor installeres på undersiden (under vannet). Dersom sekundærkildens informasjon kan hentes fra støykilden direkte (eks. tachometer), vil dette bli den nye referansen, og piezo-disken på undersiden det nye error-signalet.

Forsøket ble avbrutt grunnet manglede tilkoblingspunkter for aktuatorer og manglede driver for stepper-motor.

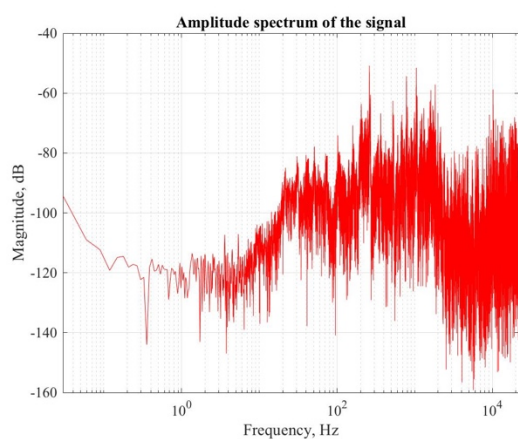
9. RESULTATER

Resultater presenteres i form av digital frekvensanalyse. Målet er å øke innsikten av problemet ved å studere grafiske fremstillinger fra systemets hovedsignaler som vil betraktes.

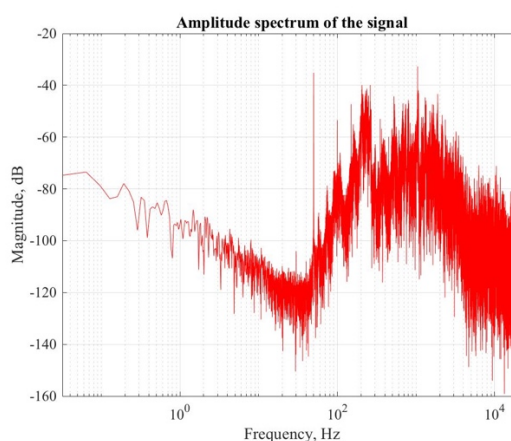
9.1 Måle-verdier: Kalibreringsforsøk

Error og referanseverdier sammenlignes med et utvalg av analyseverktøy.

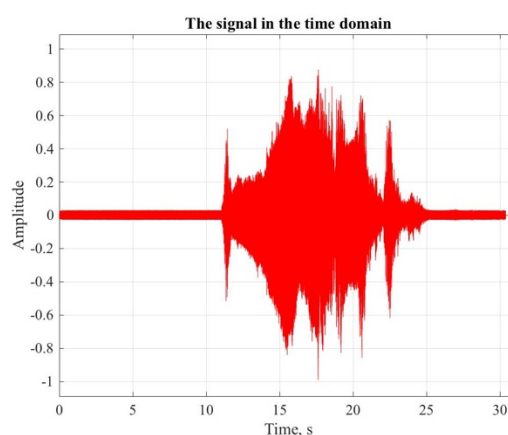
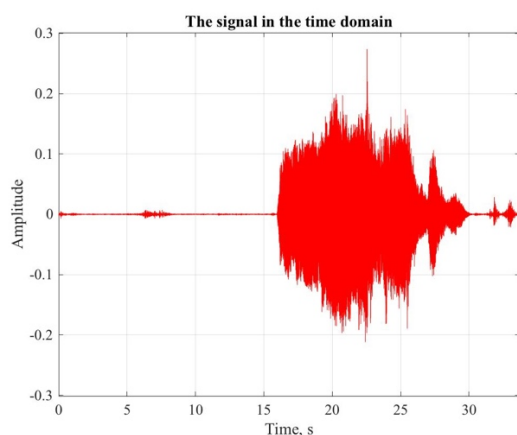
Error



Referanse

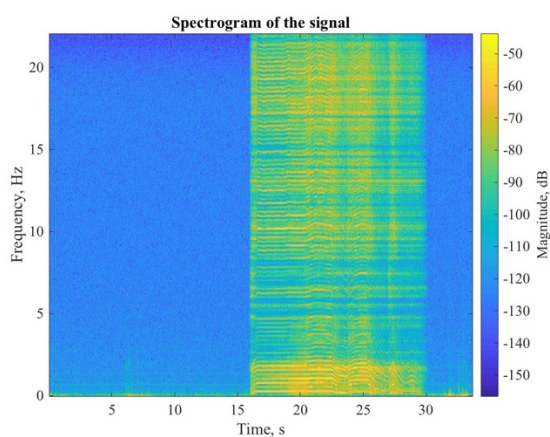


Figur 9.1: Amplitudespektrum. (Lydnivå i dB er ikke det samme for vann og luft – en differanse på 20 skyldes forskjellige referanse-intensiteter (1 og 20 μPa respektivt) og tetthet til mediet hvor bølgen forplanter seg påvirker intensitetsnivået.)

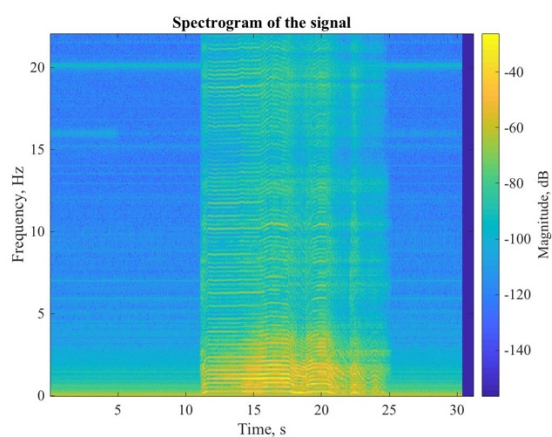


Figur 9.2 Signal i tid: Statisk støy i referanse. Amplitdeforskjell på en faktor rundt 4. (Forsterkning i feltmikrofon var på 8,5/10.)

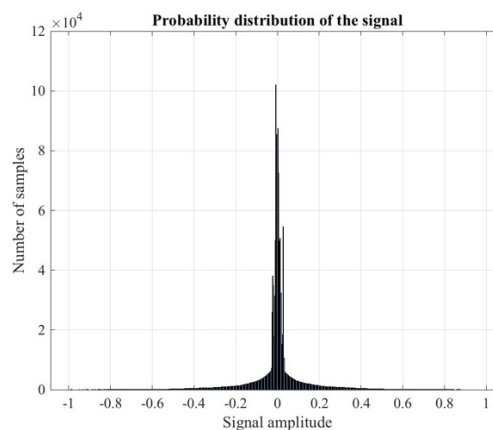
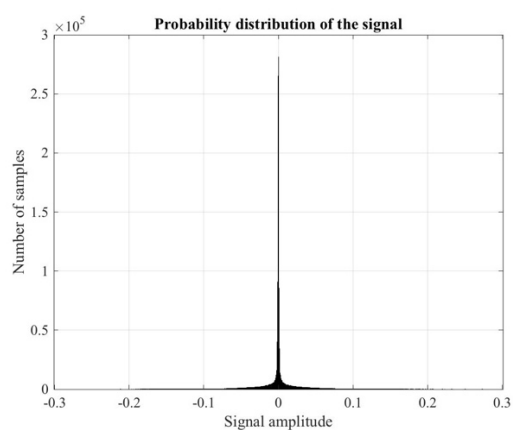
Error



Referanse



Figur 9.3: Spektrogram. Frekvensresponsene er symmetriske i tid. Signal-til-støy raten er lavere for hydrofon.



Figur 9.4: Sannsynlighetsdistribusjon. Opptaks kvaliteten er bedre for hydrofonen. Flere samples på smalere signal-distribusjon.

9.1.1 Bemerkninger: Kalibreringsforsøk

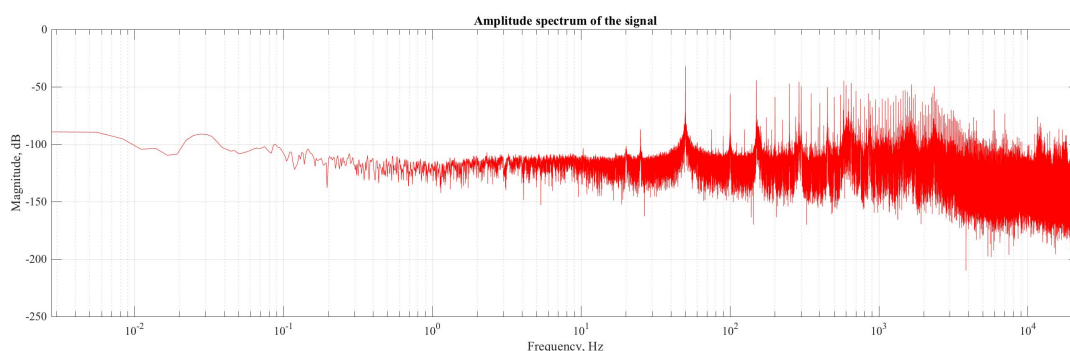
Analysen har gitt en oversikt over parametere for videre arbeid. Statisk støy fra piezo-disken kan undersøkes videre, samt tidsforsinkelsen. Disse verdier tyder på at refleksjoner i karet ikke vil være så stort problem som antatt, og en ny forsøksmodell kan presenteres uten å lydisolere karet. En funksjon for hydrofonen som kun tar opp et signal ved en viss terskelamplitude vil utforskes for mer presisjon i måleresultatene, sett at instrumenteringen ikke er tilstrekkelig for direkte digitalisering.

Mulige forbedringer og videre arbeid:

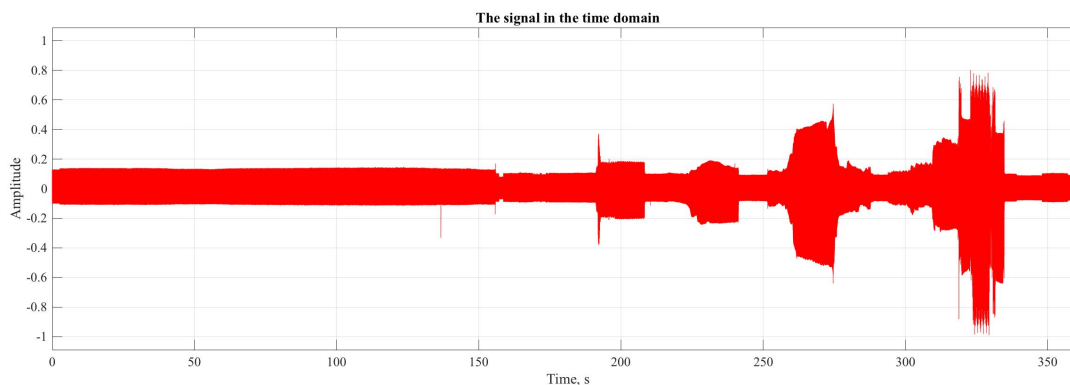
- Isolere ledningen til referanse-sensor.
- Installere en kilde med bedre kontrollegenskaper. Hovedsakelig her å bestemme frekvensen kontinuerlig gjennom forsøket.
- Inkludere referansesignal til kontroll-kretsen.
- Introdusere sekundærkilde.

9.2 Måle-verdier: Akselerometer

Signal fra akselerometer betraktes fra frekvens- og tids-domenet.



Figur 9.5: Amplitudespektrum: En 'topp' kan betraktes rundt de frekvensene hvor tonegeneratoren stoppet. (Det antas at det var noen harmonier i tonene, og resten av tykkelsen kommer fra ulineariteter og refleksjoner— hvor mye derimot er vanskelig å definere.)



Figur 9.6: Signalet i tidsdomenet: For hver frekvens-innstilling stabiliseres signalet. De lave frekvenser ga mest intensitet, som også kunne observeres under eksperimentet.

9.2.1 Bemerkninger: Akselerometer

Selv om den dynamiske sensoren egnestil høye frekvenser er den også brukbar, til en viss grad, ved lave frekvenser selv i et ustabiltsystem. Dessverre oppsto det en feilkilde for registrering av støy-radiasjon fra undersiden, men måleresultatene avslører hovedforskjellen mellom en kontakt- og ikke-kontakt-transduser. Akselerometeret har en stabiliseringsfunksjon relativt til systemet.

Mulige forbedringer og videre arbeid:

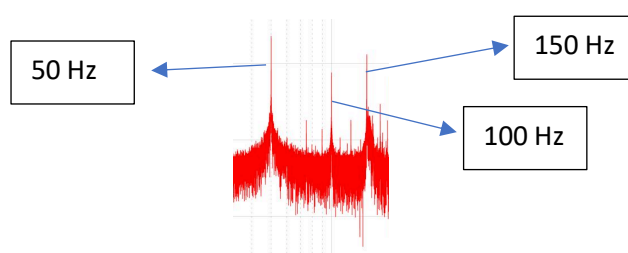
- Inkludere error-verdi.
- Få konsentrerte målinger med tidspresisjon.
- Dersom et referansesignal fra en kontakt-transduser aktiveres på lik tid som akselerometer vil det gi bedre sammenligning, og ulinearitetene kan kartlegges. Dette kan betraktes videre med strukturen og koblingsbrettets materielle egenskaper.

9.3 Resultatdrøfting

Forsøk med både primær-, sekundær- og error-verdi ble gjennomført. Mellom forsøkene ble primærkilde-kontroll og referansesensor oppgradert. Det ville hvert hensiktsmessig å simplificere modellene ytterligere for å oppnå presise verdier som kunne brukes i videre utvikling av et ANC system dersom instrumenteringen for dette var tilgjengelig. Omsider var ikke dette tilfellet, og resultatene bærer preg av diversitet og originalitet som var ønskelig sett at erfaringene skulle inspirere modellutviklingen videre. Det er forøvrig en feilkilde at kalibreringen ikke ble gjennomført slik den burde, med optimalisering av plassering og gradvis integrering av kilder, men igjen var ikke instrumenteringen eller den tilgjengelige tiden kompatibel med dette. Prosessen var krokete, spesielt under kalibreringsforsøket da ingen av tilkoblingspunktene var loddet sammen. Tidsforsinkelsen i kalibreringsforsøket er vanskelig å fraskrive, men verdien må være en kombinasjon av teknikken i utførelsen og instrumenteringen. I det neste forsøket ble ingen verdi målt fra feltmikrofonen, og det antas at majoriteten av forsinkelsen fra det innledende forsøk kommer fra det leddet i systemet.

En 'off-line' Fourier analyse ble gjennomført for begge eksperimentene. Analysen var vellykket i det at de grafiske representasjonene ga noe innsikt i instrumenteringen og systemet som ble utviklet. En spektrografisk representasjon av kontakt-transduseren og hydrofonen var interessant å bemerke. Denne metoden benytter også Fourier transformet, og deduseres fra tids-domenet. Noe støy i primærkilde-strukturen kan observeres fra grafene for referansesignalet, men spekteret er tydeligere over de høye frekvenser for hydrofon-signalet. Dette betraktes som komponenter av støy som følge av resonans i kontrollsystemet. Fra denne representasjonen er det tydelig at begge transdusere har registrert det samme støyet, og det konkluderes med at hydrofonens signal-til-støy rate er lavere enn buzzeren. Dette bekreftes også i sannsynlighetsdistribusjon. På den andre siden vil høyfrekvente forstyrrelser dempes raskere av fluidmediet, så antakelsen kan ikke bekreftes.

Analysen av akselerometer ga interessante utfall, og en grundigere analyse skulle gjerne blitt betraktet. En konklusjon som kan trekkes er at selv om det er egnet for høye frekvenser kan det registrere frekvens-skift med høy presisjon selv i en ustabil posisjon (Figur 9.7, klippet fra Figur 9.5).



Figur 9.7: Tydelige verdier kan betraktes for akselerometeret ved lave frekvens-skift i samsvar med eksitert frekvens. Det antas at mellomrommet mellom toppene delvis skyldes stabilisering.

10. KONSEPTMODELLERING

Grunnleggende for ANC er læren om lyd. I *Engineering Noise Control* har Bies og Hansen dedikert et kapittel til funksjonaliteten av menneskets auditoriske system, for dersom dette forstås grundigere vil også fenomenet lyd defineres og kontrolleres bedre. Vitenskapelig betraktes et signal slik det oppfattes med måleinstrumenter, og det finnes ikke et lyd-målende instrument mer raffinert enn øret. I dette arbeidet vil eksempelet følges videre.

Tilbakeføring kan betraktes i evolusjonsteorien, med at blant annet ansiktsbevegelse påvirker følelsesopplevelse. Slike tilbakeføringer over lange tidsperioder gir subtile trykkendringer som kan forårsake utvikling hos en art. Dette kan også betraktes for en art i havet, og hvordan biologisk adaptasjon til økt bakgrunnsstøy eller plastisk forurensing kan bestemme dersom arten formerer seg videre eller ikke.

Tilbakeføring kan også betraktes med neurale nettverk (NN), og i form av adaptiv kontroll i teknologisk reguleringsteori. Mange NN benytter funksjoner som etterligner biologiske prosesser slik at de lærer om systemet de kontrollerer og forbedrer seg automatisk. Et NN modelleres lettere som tilbakeført krets, i motsetning til foroverkobling hvor komplikasjoner kan oppstå ved dødsone, tilbakeslag og hysteresis ved aktuator. NN kontroll trenger ingen matematisk modell for kontroll-anlegg, men utvikler modell-strukturen gradvis med en hierarkisk utforming. Konfigurasjoner av slike nettverk kan studeres i [29].

En generell prosessbeskrivelse med optimalisering for et gitt ANC problem kan studeres i Vedlegg I. Ettersom denne optimalisering ikke er tilstrekkelig for et system for havet uten videre utvikling vil arbeidet betrakte en helhetlig modell hvor ANC inngår som en sentral komponent. En antatt oversikt for kartlegging av en slik modell kan betraktes i Tabell 10.1.

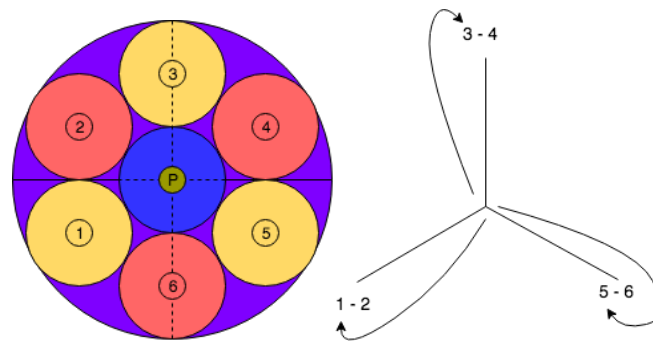
Et element av ukritiskhet skal forsvares avsluttende i diskusjonsdelen av arbeidet, men er nødvendig for effektivisering av modell-utviklingen. Veien mot et tilpasningsdyktig system for målsettingen vil inneholde konsepter fra Del I som komponeres sammen på kryss og tvers blant nye konsepter, og forhåpentligvis vil et helhetlig bilde av det nye problemet kunne betraktes avsluttende.

Tabell 10.1: Kartlegging før modell-utvikling

<u>Drivende parametere:</u>	<u>Design elementer:</u>	<u>Måle-verktøy</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Fase og amplitude • Mode-form • Resonans 	<ul style="list-style-type: none"> • Geometri og Materiale • Algoritme • Elektronisk skjematikk 	<ul style="list-style-type: none"> • Akustisk impedans • Fase, tid og amplitude-respons • Frekvensanalyse

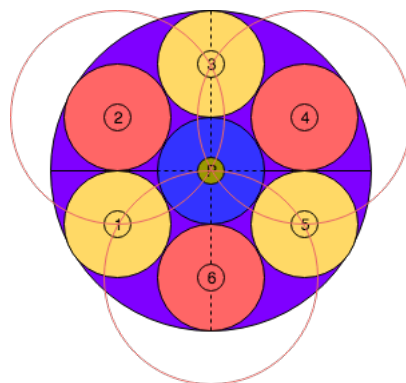
10.1 Modellutvikling

Modellen fra Forsøk 2 utvides slik at de sirkulære kontrollflatene representerer sensorer og aktuatorer, og konseptet utvides slik at sensorene kontinuerlig føder inngangs-signal og aktuatorene aktiveres sekvensvis. Funksjonaliteten beskrives i (Figur 10.1).



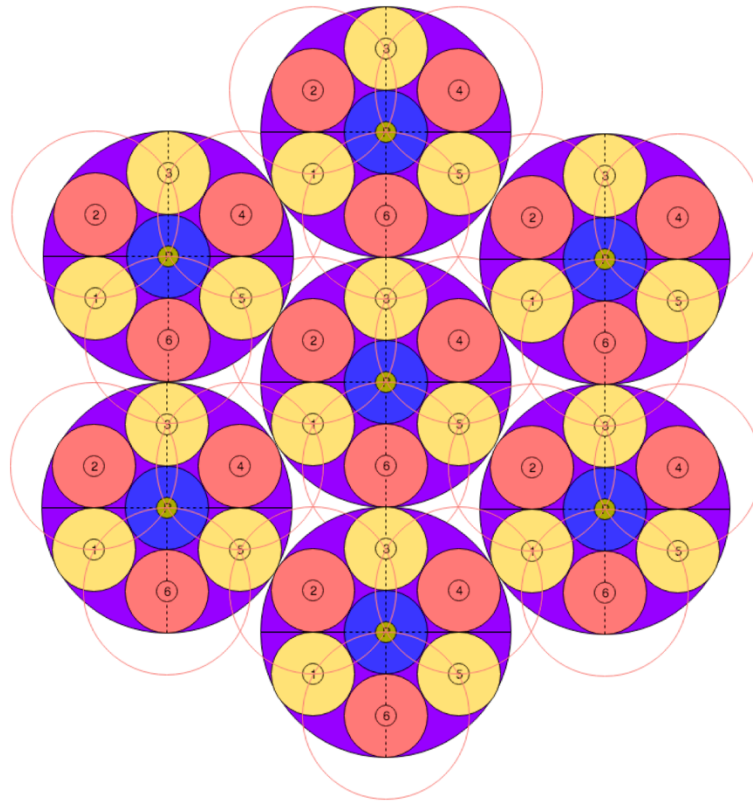
Figur 10.1: Sensor 1 registrerer aktivitet fra primærkilde P samtidig som Aktuator 2 påfører systemet energi fra aktivitet registrert med Sensor 5. Deretter registrerer Sensor 3 aktivitet fra primærkilde P samtidig som Aktuator 4 påfører systemet energi fra aktivitet registrert med sensor 1. Slik fortsetter kontroll-sløyfen.

Transdusere kontrolleres av kontroll-sløyfe som funksjon av estimert tidsforsinkelse. Systemet opererer i tre moduser hvor omsjaltings-mekanismen bestemmes for en gitt applikasjon (Figur 10.1 til høyre). Den geometriske fasedifferansen mellom utjevne transdusere er $2\pi/3$, og en omsjaltings-tid lik forplantningstiden utjevne signal bruker fra aktuator til primærkildens sentrum betraktes (Figur 10.2). Ved å bruke puls-bredde-modulasjon vil påfølgende aktuator få en utvidet prosesseringstid, og effektiviteten bestemmes som en funksjon av geometri og materiale.



Figur 10.2: Pulstoget på signalene er lik avstand mellom radien til transduser og primærkilde.

For en gitt flate, vil de sensoriske transdusere befinne seg på lik bølge-bane med aktuator-kilde – det vil si den utjevne bølge inntreffer primærkilde og sensor til lik tid, forutsatt at materialet og strukturen betraktes med lineære egenskaper. Dersom en støykilde med utstrekingsområde betraktes for en periodisk struktur, kan modellen multipliseres (Figur 10.3).



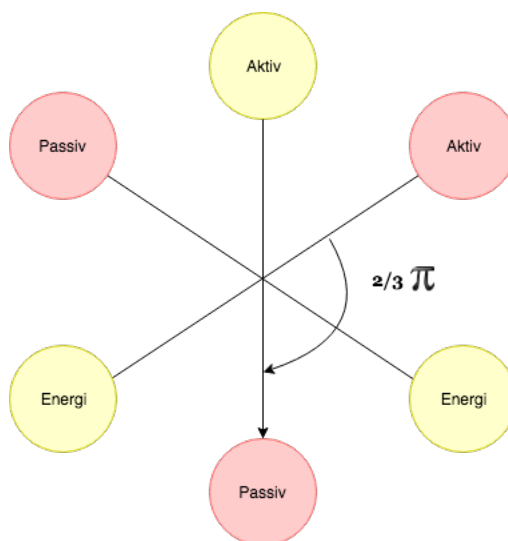
Figur 10.3: Abstraksjon av utjevne systematikk. De blå flatene betraktes som reseptorer, og de fiolette som celler. De gule er absorberer og de røde avfyre og betraktes som utløser.

10.1.1 Integrasjon av kontroll-mekanisme

Siden primærkilden for en gitt applikasjon ikke er en sammensetning av punkter men heller en flate med varierende vibrasjonsintensitet etter hvilken effekt som virker på den og statikken for området, vil kontroll-dynamikken utforskes ytterligere. Fra (Figur 10.3) kan reseptorene betraktes som vektlagte sensorer, som etter intensitet av energiabsorpsjon driver den respektive cellen. Reseptorene inngår i det helhetlige kontroll-systemet som vektlegger intensitet etter en enhetlig vibrasjonsparameter for frekvensområde.

For en gitt celle med maksimal intensitet 1, kan de tre aktuatorer reguleres etter $\sin^2 + \cos^2 + \tan^2 = 1$, slik at utløser 2, 4 og 6 til sammen ikke overstiger grenseverdien 1 for en syklus. Slik normaliseres flaten uten overkompensasjon. Dersom avstand mellom radiene er 0.2 m, og lydfarten i materialet 6320 m/s, vil syklus for en gitt celle tilsvare rundt 95 μs . Dette gir cellen en reaksjonstid på rundt 32 μs mellom avfiring, og et integrert kontrollsystem betraktes for cellen (piezo-elementers respons-tid kan betraktes som et par μs [30]).

Absorbentene har to funksjoner: De produserer spenning (potensial) og leverer informasjon. Informasjonen har to parametere, amplitude-informasjonen legger en basis for kostfunksjon av det enhetlige kontrollsystemet, og faseinformasjonen inngår i ANC-systemet til den individuelle cellen sammen med amplitude-informasjon (Figur 10.4).



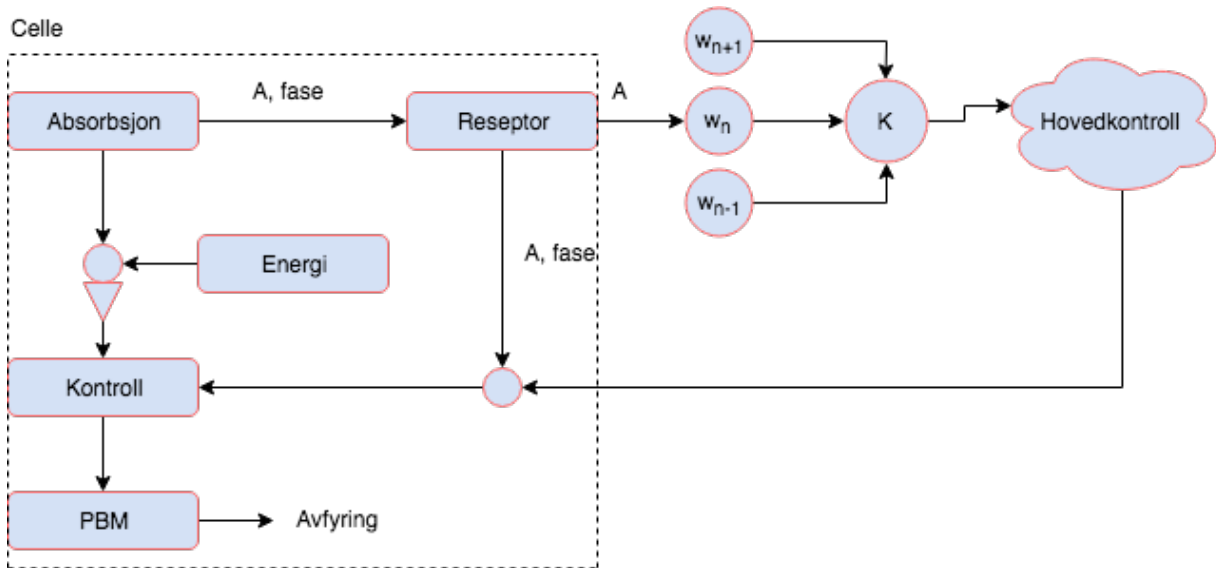
Figur 10.4: Reseptor henter fase-informasjon fra den aktive absorbenten til neste avfyring mens den driver systemet med de to resterende absorbenter som error.

Energiutvinning kommer fra to punkter, som sammen med utløser utgjør en trekant, med lengder

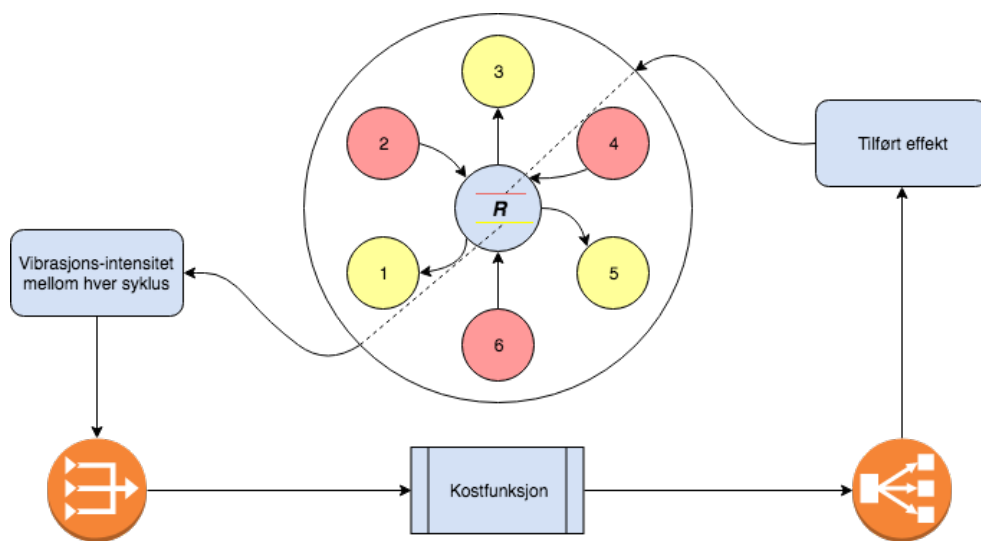
$$\frac{1}{2}, \sqrt{\frac{3}{2}} \text{ \& } \frac{\sqrt{3}}{3}.$$

Dette gir cellens kontroll-system en retningsorientert error-verdi, og muligheten for et kvadratisk optimert kontroll-system kan betraktes for cellen.

Reseptoren er bindeleddet mellom celler og helhetlig kontroll-enhet. Funksjonaliteten kan betraktes med (Figur 10.5) og (Figur 10.6).



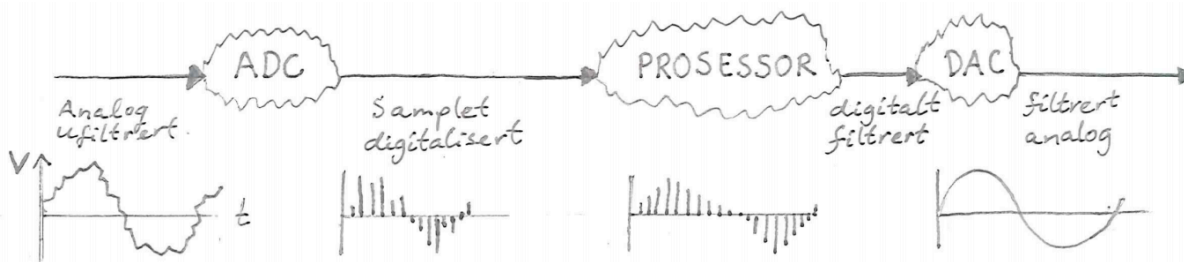
Figur 10.5: Prinsipiell skjematikk for enhetlig system. Signalet fra absorpsjon ligger alltid 1/3 syklus bak energi(error)-signalet. Cellen kontrollerer tidsforsinkelse, og intensitet av utjevning bestemmes i hovedkontroll for hver syklus (cellen leverer tre pulser før den adapteres).



Figur 10.6: Reseptors funksjon. Summen av vibrasjons-intensitet fra absorberer 1,3 og 5 evalueres av kostfunksjon gjennom et vektlagt nettverk for hver syklus, og tilbakeført effekt distribueres til utløser 2,4 og 6. Absorbent 1 oppfatter et signal som stilles til utløser 4 (3 stilles til 6 og 5 til 2), og slik er relasjonen mellom målt og utsendt signal for cellen, at de geometrisk er i motfase med reseptoren i et likevekts-punkt mellom inntatt og avgitt energi.

10.1.2 Elektronisk arkitektur

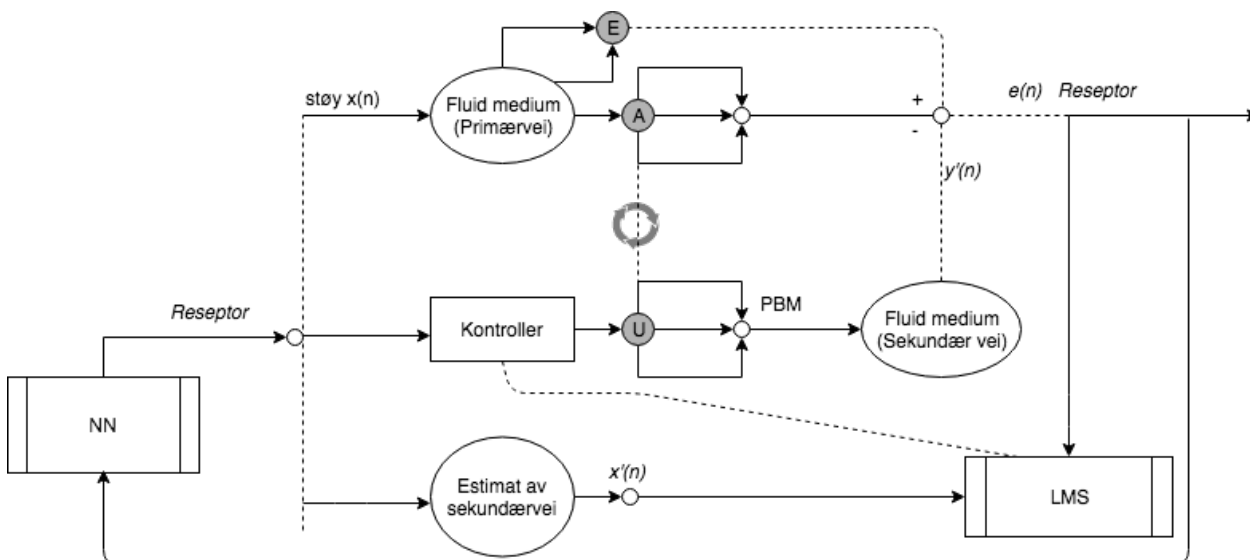
Absorbentene har to moduser, som gir ni tilstander. Utløser har en modus, som gir tre tilstander. Reseptoren har en inngang og to utganger. Alle betraktes som piezoelektriske element. Cellens integrerte kontroll behandler tidsforsinkelser og hovedkontrollen behandler sykluser, som bestemmes av omsjaltingsmekanismen til absorbenter i cellene. Reseptor er kun følsom ovenfor det konsentrerte frekvensområdet som attenueres. Når en utjevne bølge passerer en reseptor, vil den registrere interferens under seg. Energiutvinningen avbrytes etter en gitt terskelverdi, og omsjaltningen finner sted. Dette kan realiseres med et invertert hakk-filter i kontroll-enhet og en verdi-måler koblet til tre brytere med tre steg for hver celle. En digital styringsenhet betraktes for hver celle, bestående av to signalomformere og en FxLMS-basert DSP mikroprosessor (Figur 10.7).



Figur 10.7: Hovedfunksjon til mikroprosessor for hver celle. Den digitale signal-prosessor vil operere med samme sample-rate for alle celler etter Nyquist kriterium (Formel 24) med en margin som utledes eksperimentelt for det enhetlige system.

10.1.3 ANC-modellering

Den generelle ANC-kontroll-skisse fra teknikk 2 Kapittel 5.3 betraktes som utgangspunkt for cellens kontroll-utvikling (Figur 10.8).



Figur: 10.8: Prinsipiell skjematikk over cellens ANC-mekanisme dersom støykarakteristikken kan behandles med smalband-kontroll.

10.1.4 Innstilling

Materialets indeks finnes ved tuning. Utløser aktiveres og tids-koeffisient utledes fra responstiden ved absorbent. Materialets lyd-fart bestemmes fra distanse og tidskoeffisient mellom transdusere. Elektroakustiske impulsresponser mellom inngang og utgang til kontroll kan estimeres av systemets tilbakeførte nettverk.

Systemets omfang og funksjonalitet utledes ved videre forsøk. Innstillingsfasen innebærer også tiden nettverket bruker på å 'lære' optimaliseringsprosessen som betraktes for en praktisk applikasjon. Tuning-frekvens kan optimaliseres ved hjelp av en kombinasjon mellom konseptene fra Heisenberg og Fourier. Dersom videre informasjon kan bestemmes fra innstillings-signalene som mode-form og resonansfrekvenser vil dette også inkluderes, og installasjon av et akselerometer kan gi økt presisjon og diversitet i klassifiseringen av det dynamiske problemet.

10.1.5 Tilbakeført nettverk

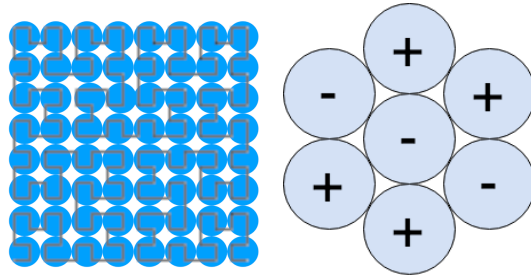
Dersom NN-kontroll-systemet inkluderes i innstillings-prosessen, og ved hjelp av tilbakeføring gir forskjellige utfall etter forskjellige justeringer, er det viktig at ANC-cellene ikke overkompenserer eller konvergerer mot feil verdi. Spesielt dersom ANC-cellene har en sikringsmekanisme mot dette, vil flere parametere kunne inkluderes i NN, og innstillings-prosessen utvikler en uventet (intelligent) metode for kalibrering. Balansen mellom cellens ANC-system og det enhetlige systemet må derfor analyseres nøye for utviklingen av et slikt system.

Nettverket skal i hovedsak evaluere ytelsesflaten etter informasjon i form av intensitet for kartlagt plassering av celler i kontroll-området. Et helhetlig vektleggings-system med partiskhet innføres innledende i prosessutviklingen, og reseptorene operer som inngang og sekundærkilde for nettverket. Systemet utvikles i samspill med cellenes størrelse og konfigurasjon slik at tidsforsinkelser blir tatt høyde for. Hvorvidt NN systemet kan adoptere den integrerte optimaliseringsprosessen fra cellene og gjøre systemet mer kost effektivt må utforskes eksperimentelt. For eksempel, kunne det vært hensiktsmessig for installasjonen og sikring av komponentene å arrangere systemet slik at DSP prosesseringen tar sted i en styrings-boks mellom nettverket og cellene, slik at nettverket adapterer styringsboksen med tilbakeføring som igjen adapterer cellene med foroverkobling. Fra ANC-teorien er kontroll-enhet den siste viktighet i integrasjon av støy og vibrasjons-optimeringsteknikker (Kapittel 4.2).

10.1.6 Ytelsesflate og celle-konfigurasjoner

Dersom abstraksjonen i (Figur 10.3) studeres, kan et samlet tidsforløp for alle cellene observeres. Dersom cellens aktuerende utjevne funksjon betraktes som en alternerende triangulær kraft som akselererer mot reseptors posisjon, kan ulike retninger og mønstre evalueres med hensyn til et gitt problem. Dersom modellen forblir slik som (Figur 10.3) vil cellene påføre systemet en retningsbestemt dynamisk kraft som mulig kan drive ytelsesflaten til en ustabil posisjon.

Dersom en celle følger klokkeretning, som i (Figur 10.1 og 10.3), er den denotert '+', og omvendt retning er denotert '-'. Cellene kan alternere slik etter en Hilbert-kurve for ytelsesflaten (Figur 10.9).

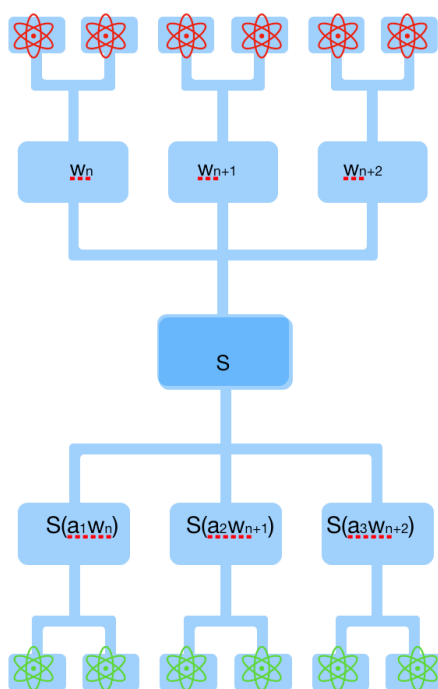


Figur 10.9: Hver sirkel representerer en celle, som langs kurven alternerer mellom rekkefølge av dynamisk retning for utløsere. Denne retning benevnes polaritet (Kurve hentet fra Wolfram Alpha).

En kurve som bestemmer polaritet for cellene kan utforskes ytterligere med kymatiske prinsipper. En celle kan alternere i rytmiske perioder konstruktivt med de resterende cellene slik at mode-formen til ytelsesflaten kontrolleres for et gitt spekter. Slike funksjoner i samspill med analyseverktøy kan utforskes i et eksperimentelt miljø. Dersom de største støy-komponentene for applikasjonen er av smalbands-karakteristikk, kan pulsene synkroniseres destruktivt med den gitte grunnfrekvensen. Denne metoden kan også betraktes til omforming av radiert spekter fra strukturen til fluidmediet, som et supplement til justering av maskineriets støy-karakteristikk.

10.2 Enhetlig system

Tilbake-forplantning kan betraktes for det neurale nettverket, hvor modellen bruker sadelpunktmetoden for konvergens på lik måte som optimaliseringsprosessen for LMS i cellene (Kapittel 4.2). Et dypt nettverk vil si at flere vektete lag i informatikkstrukturen gir et dypere nivå av uforutsigbarhet, men også at flere parametere kan inkluderes i algoritmen. Først og fremst for denne modelleringen skal nettverket kun bestemme dersom celler aktiveres eller ikke. Det vil si, fra reseptors informasjon til nettverket skal systemet tilegne en positiv eller null-verdi tilbake til reseptoren. Systematikken kan delvis beskrives med (Figur 10.10).



Figur 10.10: Prinsippkisse for et hierarkisk binært aktiveringsystem for cellene med et vektet lag og en komprimeringsfunksjon hvor to celler evalueres og aktiveres samtidig. Komprimeringsfunksjonen S består i en sigmoid-kurve, hvor positive verdier konvergerer mot 1 og negative mot -1. I tillegg til aktiveringsfunksjon a skal også en negativ verdi b for partiskhet inkluderes i sigmoid-funksjonen.

Hver vekt har en verdi mellom 0 og 1 og en partiskhet, og vektene amplifiserer aktiveringsfunksjonen som direkte korresponderer til amplitudeinformasjon. Partiskheten stilles inn slik at kun de reseptorer med høy nok intensitet får en positiv verdi.

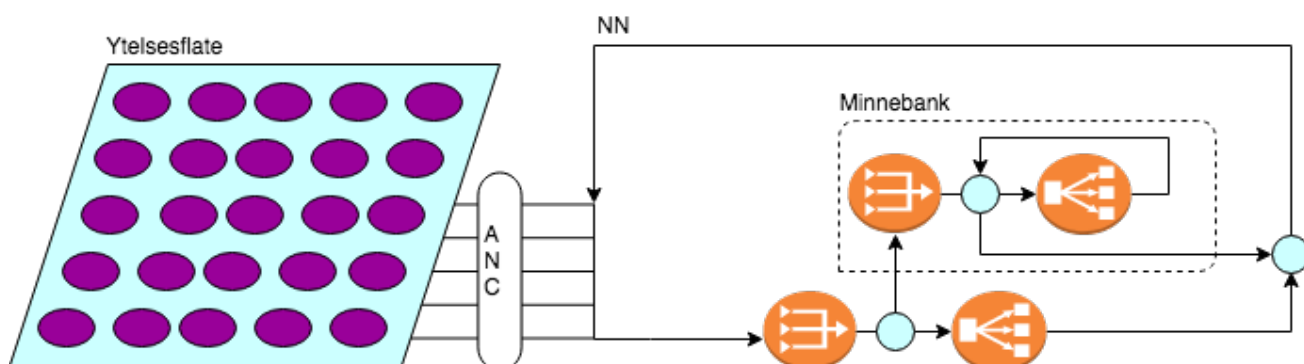
Dersom nok et vektet lag med partiskhet skal inkluderes for alle reseptorers inngangsverdi, er det viktig at utgangen fra det første laget gir en god basis for videre analyse, som vil si at utgangs-signalet må være et inngangs-signal. For det nye laget kan en rektifiseringsfunksjon benyttes, slik at positive verdier forblir positive og negative verdier er 0. Slik kan det enhetlige systemet bestemme hvilke celler som er aktive og hvilke som er passive, så lenge forløpet rekker til mellom hver syklus.

10.2.1 Kostfunksjon

I prosessen kan feil forekomme, og lignende ANC system til også en error-verdi introduseres. En error-verdi for et slikt system må kalibreres på en spesiell måte siden det kan vise seg vanskelig å anslå hvor dempingen burde forekomme gjennom tidsforløpet. Den foreslåtte teknikk er sadelpunktmetoden, som gir en indikasjon på endring av de vektete verdier. Av disse årsaker kan det, under utvikling av det enhetlige systemet, være hensiktsmessig å installere noen få celler og utarbeide en teknikk derav. En tidseffektiv metode som kan benyttes er å kalkulere gradienten direkte som den deriverte av error-verdien delt med den deriverte av vektens verdi. Dette realiseres med et mellomledd før utgangen til vektene, som i prinsippet benytter kjerneregelen slik at det deriverte produktet fra utgangen til inngangen til en endret vekt gir en verdi for endring i error. Å kalkulere funksjoner av nettverket på denne måten er tilbake-forplantning, og dersom en slik error-verdi kartlegges kan dette betraktes som systemets kostfunksjon.

10.2.2 Hukommelse

Ikke mange egenskaper kan fastslås for systemet før eksperimentelle data er tilgjengelig for modellen. Det essensielle med utformingen av den enhetlige modellen for støyreduksjon er at den testes i praksis og optimeres i prosessen. En funksjon som vil integreres er minne, hvor et utvalg av utgangene til det tilbakeførte nettverket lagres for økt funksjonalitet. Den inngående og utgående amplitude-informasjon vil for nettverket betraktes med vektorer. Det utgående signal (signal til reseptor) tilegnes en verdi for effektivitet som indikerer virkningsgraden til signalet. For eksempel, dersom en celle ikke registrerer noe betydelig støy av uønsket frekvens, men nettverket likevel leverer et aktiverings-signal for en syklus, vil reseptoren respondere med en feilmelding til nettverket i form av en verdi lik 0 i den numeriske posisjon for error i vektoren. Dette er verdien fra absorbentenes energi-tilstand, og nettverket registrerer dette slik at de samme koblingspunktene og utfallet gjentar seg med mindre sannsynlighet senere. Dette krever et ytterligere nettverk, og funksjonaliteten kan betraktes i (Figur 10.11).



Figur 10.11: Konseptuell skisse av enhetlig system. En minnebank betraktes for tilbakekoblingen, hvor et element av foroverkobling introduseres til nettverket. Funksjonen er av statistisk maskinlæring, hvor målet er å minimere en sammensatt kostfunksjon tilsvarende error-verdier og feilkalkuleringer. Et omsjaltingsfilter, for eksempel en step-vektor og en komprimeringsfunksjon, for eksempel i form av S fra (Figur 10.10) må inkluderes mellom minnebank og siste koblingspunkt før tilbakekobling.

10.3 Utforming

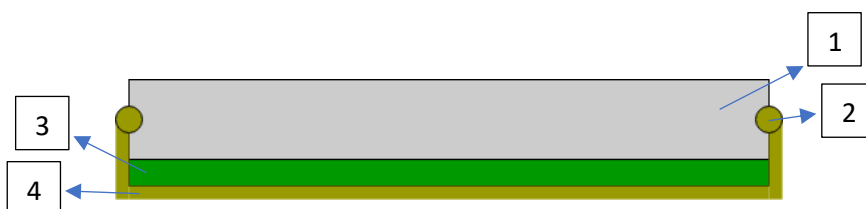
Materielle, strukturelle og geometriske egenskaper skal betraktes for cellekonfigurasjonen i ytelsesflaten til en gitt applikasjon.

10.3.1 Materiale, struktur og geometri

Essensielt for et materiale hvor installasjonen forekommer er lyd-fart. Deretter vil stivhet betraktes, for det tenkes at cellekonfigurasjonen kan bestå i et passivt dempende element i tillegg til ANC. I Kapittel 10.1.1 benyttes en lyd-fart på 6320 m/s for å demonstrere syklusen i tid dersom avstanden mellom utløser og senter er 0,2 m. Denne verdien overstiger en god del metalleres lyd-fart, inkludert rustfritt stål, pyrex, jern og titan [31], og sett at ingen videre eksperimentering kan finne sted i dette arbeidet vil disse verdier brukes til utredningen.

Stacking betraktes for piezo-elementene sett at vibrasjonsintensiteten ofte er høy, men det er mye rom mellom transdusere hvor tilkoblingspunkter vil finne sted (20 centimeter minus elementenes diameter, som estimeres mellom fem og ti centimeter - disse kommer uten diafragma), og koblingene skal ikke utsettes for verken heftige vibrasjoner eller saltvann. Komposittmaterialet som betraktes for dette formål er av typen Funksjonelt Gradert Materiale, som utvinnes ved at to materialer blandes, stables, presses og sintres. En eksperimentell prosess må gjennomgås før å utvinne det rette materialet med rette egenskaper, og en artikkel referert i Kapittel 4.3.1 gir en oversikt over spesielle egenskaper som kan oppnås. Blant disse er eksepsjonell styrke, reduksjon av strekk fra grunnstrukturen og mellom installerte materialer (her piezoelektriske transdusere), motvirker knekk og sprekker i installerte materialer, og i tillegg kan kompositten stilles til grunnstrukturen med hensyn til tilnærmet lineær og periodisk analyse etter stivhetsanalyse.

Dersom elementene installeres i en stasjonær posisjon under en gitt struktur (mot vann-flaten) for et spesielt utsatt område, vil også et isolerende lag betraktes for undersiden. Sett at piezo-elementene helst installeres direkte mot flaten til grunnstrukturen (grunnstrukturen kan betraktes som ekvivalent til diafragma for buzzere) vil en stiv struktur som kan holde konfigurasjonen på plass under press vurderes. Til disse eksperimenter kan porøsiteten til glassfiber-kompositter betraktes, eller en ekvivalent til epoxy fra forsøkene i Kapittel 8 som kan stå imot betraktelig større kraftpåkjenning eller et ytterligere FGM (Figur 10.12).



Figur 10.12: Installasjon. Grunnstruktur (1), festnings-punkt (2), FGM med cellekonfigurasjon (3) og ytre isolerende lag (4) for en gitt maritim industriapplikasjon.

11. DISKUSJON OG PROSESSEVALUERING

Arbeidet ga et utdypende blikk i et bredt spekter vitenskapelige disipliner. Det første studiet utført omhandlet signaler i hav-livet. Et ønske om en fysisk beskrivelse av denne mekanikken førte fokuset over mot hydro-akustikk, som videre ga innsikt i hvordan signaler forplanter seg i materialer. Materialeegenskapen demping førte veien tilbake mot akustikk, og for første gang ble prinsipper som friksjon forstått i forbindelse med signaler i et fluid-medium. Denne innsikten førte studiet tilbake til hav-livet, og hvordan en organismes utforming relaterer til signaloverføring. Parallelt med dette ble signalbehandling og støydemping betraktet fra et elektronisk, algoritmisk perspektiv, og de forskjellige hovedfeltene pekte videre mot adaptasjon, strukturelle egenskaper og kymatikk. En samlet forståelse av disse elementer ble søkt i geometriske og kvantefysiske prinsipper. Kan hende ble utredningene for diverse og for lite spesifisert eller målrettet, men det viste seg viktig for arbeidet å introdusere en konseptmodell fra det perspektivet som var ønskelig innledende.

11.1 Prosessevaluering

Det er huller i modelleringen. Ingen neurale nettverk er noen gang blitt syntetisert av undertegnede, og heller ikke et støydempende system. Veien mot løsningsforslaget er like viktig, om ikke viktigere enn konseptutredningen, og enda viktigere er kildene som ble brukt.

11.1.1 Kilder

For ANC-systemer har hovedsakelig arbeidet til *Colin Hansen* fra universitetet i Adelaide, Australia og manualer for TMS320 DSP kontroll-algoritmer fra *Texas Instruments* blitt betraktet. For adaptive strukturer har arbeidet til *Kon-Well Wang* fra universitetet i Michigan vært en primær kilde til informasjon. Kymatikk ble introdusert gjennom arbeidet til *Hans Jenny*, og hydroakustikken brukt i utredningen baserer seg på arbeidet til *Paul C. Etter* fra Rockville Maryland. En database fra universitetet i Rhode Island har sørget for generell informasjon og vitenskapelige artikler om hav-livet. Resterende kilder kan betraktes sammen med de overnevnte i Kapittel 13.

11.1.2 Teori og Teknologiutredning

Praktiske eksempler er viktige for forståelse og ikke minst relevans. Under innsamling av informasjon var dette en mangel, men en sammen-spleising av Metode og Teknologi ga arbeidet et element av det praktiske da noe av teknologien kunne betraktes i lys av den biologiske motpart. Det var et ønske å benytte noe av den tilegnede tiden til praktiske forsøk, og dermed ble utredningen lagt på hylla selv om den enda sto åpen for mange retninger. Et grundigere studie av blant annet Faraday, Fourier, Chladini, Heisenberg og deBroigle kunne vist seg innsiktsrike, da den lille tiden som ble dedikert til dette ga arbeidet dybde, sammenheng og en form av generalitet.

Bølgeformer er generelle, og ikke bare for hav-livet er de essensielle å betrakte. Den kosmiske bakgrunnsstråling har blitt studert som akustiske signaler, og slik har alderen, komposisjonen og geometrien til universet blitt utledet eksperimentelt [32]. Fenomenet som beskriver en bølge partikkel dualitet i kymatikken, og derav også den underliggende funksjonalitet av alle fysiske fenomener er direkte knyttet til vibrasjon: Struktur, dynamikk og periodisitet.

11.1 Instrumentering og måleresultater

Få problemer oppsto under utvinning av måledata. Forsøksplanleggingen besto hovedsakelig av å anskaffe rett utstyr slik at sentrale aspekter av arbeidet kunne demonstreres samt at noe kunne læres fra egne konseptløsninger i prosessen.

11.1.1 Piezo

Piezo kommer fra gresk, og betyr å presse eller skvise. Da fenomenet piezoelektrisitet ble studert i henhold til litteraturen fattet det en del interesse. Den første forsøksmodellen vurdert for eksperimentering var for Konseptforslag A i Kapittel 6. Noen piezoelektriske stack-transdusere stimulerer to sylindriske plater under vann, og med en gitt avstand var det ønskelig å derivere et lokalt minimum i fluidmediet mellom dem ved hjelp av rene sinuser og faseforskyvning.

Det viste seg at slike piezoelektriske transdusere er vanskelige å få tak i, og dersom kun noen få elementer bestilles blir omkostningene høye. Etter flere samtaler med selgere var det åpenbart at slike elementer helst spesialbestilles for en gitt applikasjon hvor en viss kvantitet er ønskelig. Alternativet ble buzzere, som viste seg effektive og enkle å jobbe med. Buzzere er spesielt utformet til lydproduksjon, og dermed var det interessant å betrakte dem for vibrasjonsdemping.

Passiv-aktive piezo-konfigurasjoner ble ikke undersøkt for modellutviklingen. Fra litteraturen er det allerede en definisjon for piezo-elektriske absorbenter, som demper harmoniske svingninger med tidsvarierende frekvenser (Kapittel 5.5.3). Elementet som ikke ble implementert her er induktans (bortsett fra transformatoren som ikke ble kontrollert på noen direkte måte). Et forsøk hvor induktansen tunes til nominal frekvens, og deretter varierende frekvenser utforskes med forover- og tilbakekobling hvor harmoniske eksitasjoner kan spores og dempes ville blitt et interessant bidrag til arbeidet, og kunne hatt en stor rolle for modelleringen.

11.1.2 Trafo

I transformatoren vil oscillerende AC-strømning produsere en endring i magnetisk felt. En lav-frekvent lyd resulterer av dette, som for transformatoren brukt i arbeidet så vidt var hørbar og nødvendig interfererte med målerverdiene, men effekten kommer av materialenes magnostriktive egenskaper i spolene (Kapittel 7.1.1). Store fartøy kan ofte benytte elektriske framdriftsmotorer, hvor strømmen genereres i en dieselgenerator, og støy og vibrasjon fra elektriske motorer kommer delvis fra en elektromagnetisk kilde. Piezo-elementer har ingen magnetisme i seg selv, og påvirkes heller ikke av dem. Det finnes piezoelektriske motorer, som er en sammensetning av små piezo-elementer langs en bane. En pulsølge langs denne banen skaper strekk i elementene sekvensvis, og gitt en kontaktflate vil energien videreføres. Slike motorer kan lages uten stator-senter, og de trenger ikke å være sirkulære. Resonans er en drivende parameter i piezo(PCB)-motorer [13].

11.1.3 Akselerometer

Akselerometeret ankom i posten den siste dagen dedikert til forsøk. Buzzerene var allerede brukt som sensoriske element, og da det viste seg lettvis å sette det opp ble det benyttet for litt diversitet. Det var allerede klart at ingen løsning på problemet skulle utledes direkte fra eksperimentene, og hovedhensikten var å bli kjent med instrumenteringen. Ved å benytte akselerometeret gikk denne hensikten i oppfyllelse. Det er tydelig at et slikt dynamisk sensorisk system er godt egnet til applikasjoner som å observere vibrasjon i transport-systemer og andre høy-frekvente system fra en referanseramme (fritt fall). En kontakt-transduser inngår i referanserammen til systemet, og plukker dermed ikke opp på den relativistiske akselerasjonen til et system. For et transportskip eller en annen applikasjon med relativ forflyttelse kan det være hensiktsmessig å få en slik referanse til det støydempende systemet. Fra måleresultatene var det interessant å bemerke hvordan signalene stabiliserte seg mellom frekvens-skiftene, og det konkluderes med at aktuatoren ga strukturen et lite moment for hver omsjaltning.

11.1.4 Kalibrering

Kalibrering av oppsettet til den praktiske del av arbeidet handlet hovedsakelig av resultat-produksjon, og siden systemet var lite definert med tanke på eksakte verdier for materialer, elektroakustiske tap, fluidmedium, elektriske komponenter og tilkoblingspunkter, ble ingen presise målinger eller kalkuleringer utført. Noen feilkilder, dersom eksakte verdier var ønskelig, er hydrofon-plassering som ble plassert nesten vilkårlig (ikke symmetrisk i et hjørne eller for nær kanten), referanse-signal som ikke ble optimert etter kildeplassering, kildekarakteristikk som ikke ble utforsket og kompensert for, og energitap samt tidsforsinkelser. Transformatoren var relativt stor med tanke på omformingsverdien på 20, og det tenkes at noe varme ble utsvevende. Noen målinger ble tatt med et voltmeter idet transformatoren ble lånt fra universitetet, men verdiene ble ikke registrert.

11.2 Analyse

MATLAB ble benyttet både til å studere tidligere løsninger på ANC og til å analysere de lagrede sensor-utgangene. Ikke mye arbeid ble gjort på dette feltet, da det fort var tydelig hvor enkelt det er å hente og modifisere ferdige algoritmer fra MathWorks databasen. Dersom et system skulle utformes tenkes det at mye av arbeidet ville hvilt på programvaren, men for undertegnede var det en god introduksjon til det omfattende bruksområdet programvaren kan by på. For arbeidet var det spesielt ønskelig å studere et system med hensyn på frekvens og tid, slik at de mest underliggende prinsipper fra teknologisk utredning kunne studeres i praktisk sammenheng. Ved hjelp av DSP-toolkit og tilhørende database ga eksperimenteringen noe innsikt i sentrale fenomener for systemet.

11.2.1 Struktur og dynamikk

Dersom flere utganger var tilgjengelig ville en ekstern spekteranalysator blitt benyttet. Systemet ble testet ved hjelp av et oscilloskop på universitet, og noen interessante verdier ble oppnådd. Den nedre transduser ble eksitert av en tonegenerator med den samme transformatoren benyttet i forsøkene, og en av de tre transdusere på oversiden ble lest av i samme skop. Det ble en del tilbakeført støy, men likevel var det interessant å observere de forskjellige bølgeformene. Ved meget høy frekvens, rundt 2000-3000 Hz, var sensoren og aktuatoren helt ute av fase, og ved lave frekvenser (< 500 Hz) var det liten forskyvning. Dette var bakgrunnen til oppsettet i Forsøk 3, hvor faseforskyvninger skulle betraktes nærmere. Platen, eller grunnstrukturen i systemet er relativt tynn, men når frekvensen øker vil også forsinkelsen gjennom strukturen øke relativt til perioden. Dette skyldes at høye frekvenser dempes lettere i strukturen.

Lyden ble observert før og etter strukturen ble lagt i vannet, og da den ble lagt i vannet var lyden blitt rikere, og utstrekkingen til frekvens-signalet kan forklares med at flere overtoner var til stede. Systemet i Forsøk 2, med unntak av akselerometeret, kan betraktes som en elektrostatisk høyttaler, hvor noe av utstrålt signal reflekteres gjennom strukturen når det treffer vannflaten. Dette var meget tydelig under forsøket, og dersom et slikt forsøk skulle gjentas ville det vært hensiktsmessig å måle lyd-trykket på oversiden (luft-siden) av systemet, og sammenligne med en form for suspensjon til kontroll. Hvor mye av error-signalet i Forsøk 1 som skyldes refleksjoner i karet og refraksjoner i strukturen er vanskelig å anslå, men det er mulig en grundigere frekvensanalyse hvor overtonene studeres mot fluidmediet og materialets utstrekking og lyd-fart sammenlignes med det primære signal samt hydroakustisk analyse av bølgeformene kunne gi en indikasjon på dette.

11.2.2 Relevans

Det ble vurdert å ta kontroll-verdier av strukturen fra Forsøk 1 og 2 med fluidmediet luft. Problemet er at strukturen skulle blitt suspendert på et vis, og systemet ville ikke blitt det samme. Målerverdiene inneholder en del støy, selv fra Forsøk 2. I Forsøk 2 ble en tonegenerator brukt fra internett [33], og gjennom lydforsterkeren og transformatoren til aktuatoren festet til strukturen kan støy og forsinkelser som ikke ble målt ha oppstått. Observasjonene var av typen grafisk analyse, og sammen med erfaringer underveis ga dette mest av alt innsikt i noen av punktene fra tidligere utredning.

11.3 Parametere og grensebetingelser

Vibrasjon betraktes fra et relativistisk rom-perspektiv, hvor rommet som betraktes er vakuemet mellom partiklene. Fra dette synspunktet stilles spørsmålet: Hva gjør trykkendringer for ladnings-distribusjon i materialet?

Først må en måleskala velges. For en teoretisk undersøkelse kan en slik skala utforskes fra Plancks' distanse til de resonerende mode-former til systemet. Partikler i dette planet har en dynamisk periodisk karakteristikk. Hyppighet kan måles fra et primært fluid-medium, som vil si at energien måles gjennom mediet energien virker på. Den andre egenskapen, periodisitet, kan kalkuleres, men periodisitetens årsak ønskes undersøkt. Spesifikt er det ønskelig å koble periodisiteten mot resonansen til systemet, og det tenkes at egenfrekvens er en god parameter å starte på i utledningen av slike parametere.

11.3.1 Egenfrekvens

Kontrollsystemet behøver en parameter så grunnleggende for strukturen at uansett hvor kompliserte kalkulasjonene blir så vil ikke systemet vike fra hovedmålet. Dersom en helt vibrasjonsdempende kontrollsystematikk innføres, kan det tenkes å vise seg for energikrevende. Skal systemet derimot dempe de frekvenser som radierer utover fluidmediet oppstår det mange ulineariteter (Kapittel 4.1). Dersom egenfrekvensen kan bestemmes vil dette gi en elastisk funksjon for den relative utstrekningen (Formel 30). Deretter vil kraften som virker fra maskineriet og fluidmediet kunne defineres med denne referansen. Reseptorene vil kun, med hensyn på hvordan de installeres, respondere til de bevegelsene fra strukturen som samsvarer med uønskede frekvenser dersom radiasjon forekommer. Det vil si at reseptorene er det første leddet som tunes etter egenfrekvensen, og noen av svarene til hvordan slike parametere vil utarbeides kan muligens deriveres fra videre forskning og studier av piezoelektrisitet i en kymatisk sammenheng.

11.3.2 Topografi

For det enhetlige systemet vil disse eksperimentelt utledede parametere stilles til systemet i form av grenseverdier for vektene, og dermed fungere som en begrensning i utstrekkingen til vektorene som betraktes i Kapittel 10.2.2. For ANC-systemet vil ingen slike faste parametere inkluderes da det interfererer med systemets adaptivitet (Kapittel 4.2). Den store utfordring for kartlegging av det enhetlige systemets topografi er å finne en symmetri mellom ANC-systemenes adaptive filterkonfigurasjon og NN-systemet, eller en sammenheng mellom vektene til de to respektivt. De vektete absorbentene vil ha fri range, mens NN systemet har en begrensning tilsvarende fundamentale egenskaper av strukturens vibrerende krefter.

11.4 Modell

En komplikasjon med den fremstilte modell er at error-sensorer helst ikke skal plasseres symmetrisk rundt kilden dersom det er flere enn en. Det som kan forekomme er at error-verdiene kommer fra et og samme felt og ikke kan representere en global utstrekking. I tillegg er det nødvendig med mange tilkoblingspunkter, og konseptet må gjennom flere tester før detaljer som størrelse av cellene (forøvrig må lyd-fart mellom piezo-elementenes radier måles mot tidsforsinkelser), polaritet (rekkefølge av utløsere) og effektivitet kan fastslås.

Tidsforsinkelser blir overlatt til eksperimentelle metoder. Det er også ønskelig å betrakte disse for et eksternt ANC-system (Figur 10.11) mot et integrert. Flere av punktene i Kapittel 10 opptrer som forslag, nevnelig modelleringen avbildet i (Figur 10.8), og utformingen i (Figur 10.12). Resten av utredningen er konseptuell og skal ikke forveksles med praktiske løsninger. En foreslått løsning på error-problemet blir delvis gjort rede for i Kapittel 10.1.1.

Det har kommet til min oppmerksomhet at de fleste store transportskip som vil brukes den neste tiden allerede er produsert for over ti år siden. Av disse grunner fokuserte utredningen mot en løsning som kan installeres på en ferdigbygget struktur. En praktisk applikasjon kan gjerne være privat eller et forskningsprosjekt til å begynne med, slik at større aktører ser at dette er mulig. Fra dette punktet kreves det en innsats fra flere parter og med forskjellige fagfelt, hvor metodikken fra dette arbeidet forhåpentligvis kan gjøre et bidrag til utvikling av et system med lignende funksjonalitet. Etter en del forskning og grubling av undertegnede, har denne metodikken styrt mot en foroverkoblet celle-konfigurasjon i et tilbakeført neuralt nettverk, og i de neste paragrafer vil dette forklares ytterligere.

11.4.1 Forover- og tilbake-kobling

Foroverkobling er ofte ønskelig for adaptiv attenuering av støy da en referanseverdi kontinuerlig retter opp systemet. Det tenkes at slike referanser kan plasseres jevnt ut over en vibrerende utstrekking og gi et godt estimat av vibrerende intensitet. ANC systemer er godt utviklet i dag, men problemet er at dersom så mange systemer skal kontrolleres på en gang oppstår det problemer som overkompensasjon, styringsproblemer og effekt-tap. Et system som trener seg selv til disse komplikasjonene eliminerer utfordringene gradvis, og i tillegg kan det ta litt prosesseringskraft fra cellene. Å stille inn hver enkelt celle blir mye jobb, og spesielt dersom cellene skal stilles til forskjellige konfigurasjoner og i tillegg jobbe som en enhet. Med et NN er det kun nødvendig å stille inn en celle, og 'trail and error' tilbakekobling kan ta seg av resten (Kapittel 10.2.1). Systemets oppbygging er nødt til å ha en enkel arkitektur som lett kan installeres og er effektiv for disse formål. Et NN kan etterhvert kombineres med data for posisjon og ta hensyn til eventuelle organismer spesifikt, slik kan det rasjonere energiforbruket samt adaptere funksjonaliteten fra flere punkter. Programmeringen av et NN tilbakeført system kan tenkes å bli intuitivt dersom det inspireres direkte fra biologiske funksjoner, og slik var også motivasjonen i dette arbeidet. Ingen omfattende beskrivelse av et slikt system kunne gjennomføres i dette arbeidet, og den binære demonstrasjonen i 10.2.2 kan ikke rettferdiggjøre dette konseptet. For undertegnede var dette et nytt felt, og det virket hensiktsmessig å dele den forståelsen som var tilgjengelig. Det er forøvrig faktorene som styrer vektene, og de forskjellige lagene (ett lag betraktes i (Figur 10.10)) som betraktes når mulig utnyttning av stadig voksende informasjons-kilder for et slikt system antas.

En annen viktig funksjon et NN kan ha for utviklingen er å løse de optimeringsproblemene som ikke kan løses av en sann-tids mikroprosessor med minne. Utfallet av tuningen, dersom det inkluderer mange parametere, er det ingen som vet før det prøves. For denne modellutviklingen er det hovedsakelig to lag med vektorer (inspirert av et $N=2$ MSE system for ANC som kan betraktes i Kapittel 4.2.2) i den enhetlige kontrollen, men en undersøkelse må utføres for å bestemme prosesseringstiden og kapasiteten for et slikt nettverk før begrensninger settes inn. Spesielt for denne modellen er at en ekstra prosesseringstid er tilegnet det NN tilbakeførte nettverket uten å interferere med sanntids-kontrollen i de individuelle cellene. Et avsluttende mål for systemet er å bruke et relativt primitivt system for cellene, men dersom mønster-orienterte konfigurasjoner betraktes som beskrevet i Kapittel 10.1.6 vil kanskje en referanse fra primærkilden være ønskelig.

11.4.2 Flere konsepter

Dersom en prototype for adaptive propellblad realiseres vil de nok innføres, så lenge støyeffekter fra havforskningen kommer tydeligere fram til allmennheten og skipsindustrien. Det kan tenkes at noe ville blitt gjort med propellbladene dersom forskningsresultater om menneskeskapt støy og dets resultater for havets økosystem var allmenn kjent. Et forsøk verdt å underholde er hvorvidt det ville hjelpet å avbalansere propellene med flere propeller, og eventuelt hvor mange som var nødvendig og hvor mye det påvirket skipets funksjon. Selv synes jeg adaptive propellblad virker ute av siktet, men dersom konseptet viste seg mulig ville det vært interessant å undersøke hva som ville skjedd med hastigheten til fartøyet, dersom tuppen av bladene pulserer mellom å være stive og negativt stive under drift.

Konsept A fremstilles hovedsakelig som et todimensjonalt konsept i Kapittel 6. Ideen baserer seg på at visse frekvenser fra den vibrerende overflate kan betraktes som noder og anti-noder (tilsynelatende statisk) på andre siden av fluidmediet hvor en adaptiv struktur speiler konfigurasjonen med en destruktiv faseforskyvning. Det vil oppstå et kontinuerlig mot-trykk i fluidmediet, samt et trykk fra den vibrerende struktur, og fluidets påførte trykkendringer demper støyet som inntreffer det. Konseptet forutsetter at en veske kan respondere til enkelte frekvenser, og ikke respondere til de aller fleste. Ideen ble utviklet med tanke på dynamisk temperatur, viskoelastiske egenskaper og en relativ utstrekking mellom vibrerende overflate og utjevne plate, som sammen komponerer et slikt konsept-system. Opprinnelig for konseptet var det en plate suspendert i luft i stedet for fluidmediet, hvor platen skulle resonnerer ved uønskede frekvenser og dermed absorbere energien som den (eller de) utjevne plate(r) igjen skulle absorbere til det ikke var mer uønsket støy på andre siden. Det ukjente fluidmediet ble inkludert for å kompensere for overoppheting og i tillegg gi ytterligere demping. Kan hende ligger løsningen en plass mellom disse to konsepter.

Selv om disse ideene ikke er direkte realiserbare hjelper det forståelsen av problemet å utlede dem. Konsept C høres ikke logisk ut heller, men selv er jeg overbevist om at alle tre konsepter er gyldige til en viss grad. I alle fall gir de utgangspunkt for interessante forsøksmodeller.

11.4.3 Forsøksmodeller

Dersom modellutviklingen i Kapittel 10 skal føres videre vil en første prioritering være å teste funksjonaliteten til cellene videre. Forsøk 3 kan betraktes som et innledende forsøk som fører med seg en innførende kalibreringsprosess. Optimalisering av sykluser, integrert kontrollsystem og materielle og geometriske egenskaper er neste steg, hvor noe bakgrunnsinformasjon i Kapittel 4 og 5 kan brukes som utgangspunkt til videre referanser. Utvikling av det enhetlige systemet er en mer omfattende prosess, hvor mye eksperimentering er nødvendig. En del konseptualisering av dette er presentert i Kapittel 10, men det antas at under utforming av det faktiske systemet må mer nyskaping til, og at modelleringen i dette arbeidet kan være til hjelp i den prosessen.

Mye informasjon er tilgjengelig på komposittmaterialer med negativ stivhetsmodul stabilisert i en positiv stivhetsmatrise, og for dette arbeidet ble ikke disse muligheter utforsket til sitt fulle potensial. Blant denne informasjonen er en artikkel referert i Kapittel 4.3.2 med noen eksperimentelle resultater som kan valideres igjen, og funksjonaliteten av slike kompositter avhenger av kreative materielle løsninger egnet til spesifikke applikasjoner.

Når det gjelder bruk av fluidmedium og viskoelastiske egenskaper, samt demping og periodisitet for vibrerende strukturer er dette et forskningsfelt som kan forankre seg dypt med mange målrettede praktiske applikasjoner. Kymatiske analyser var ønskelig for dette arbeidet, men selv med lyset av og en prosjektor fokusert på vannoverflaten med forskjellige fargekomposisjoner var det ikke mulig å oppnå bilder av strømningsmønstrene produsert av de forskjellige frekvensene fra Forsøk 2. Kymatiske analyser av fluidmedier har fått meget sofistikerte metoder, og blant annet har forskeren *John Stuart Reid* fra England utviklet et spesielt skop for dette [34].

Adaptive strukturer, slik de presenteres av i *Wang, K.W. og J. Tang* i *Adaptive Structural Systems with Piezoelectric Transducer Circuitry* studeres som et bredt konsept med mange applikasjoner. Det er blant annet blitt utviklet strukturer, lignende broer og gulv, som bruker passiv-aktive system og kan dermed være betraktelig tynnere enn byggeteknikk ellers ville tillate. I et prosjekt fra [35] er det flere indikasjoner på at slike system er bærekraftige for byggindustrien. Når det gjelder bekjempelse av støyforurensning i maritime applikasjoner er det kun et spørsmål om kreativitet og gjennomtenkt integrasjon av ANC-prinsipper før denne metodikken kan benyttes i utviklingen av en slik modell.

11.5 Metodedrøfting

Noe meget tiltrekkende med kymatikken er at en relasjon mellom væske og fast-stoff kan betraktes i en vibrerende sammenheng. Dette betraktes som spesielt fundamentalt siden alle levende organismer har en slik egenskap. Mystikken rundt dette er relativt høy, og det er vanskelig å finne konkrete eksempler hvor metodene er anvendt i allmenn praksis. Et unntak er det medisinske felt, men her låter det ikke til å være allmenn akseptert. Kan hende er resultatene mer underliggende det praktiske, og dersom dette er tilfellet kan det tenkes enda viktigere å utforske for en grundigere evaluering av mange problemer og løsninger som tas for gitt. Forøvrig er de representasjonene fremstilt i faglitteraturen (samt videoer på nettet) så praktisk anvendt en vitenskap kan komme, etter undertegnede å dømme. Naturen er rytmisk, og slik ble dermed den foreslåtte løsningen.

I disse dager er det fort gjort å finne informasjon om alle mulige systemer på nettet. Dette kan gå begge veier i utvinningen av løsningen til et gitt problem, men i dette arbeidet ble hovedsakelig fagbøker benyttet. Sett problemet at omfanget av bøkene overgår det som kan komme med i en rapport var det ikke ønskelig å gjengi informasjon. Heldigvis var det flere tråder som kunne trekkes på tvers av disiplinene, og på denne måten fikk arbeidet en viss uavhengighet fra kildene. Et unntak er noen aspekter av signalbehandlingen.

Biologiske prinsipper ble inkludert i metodikken av to grunner. Den første er at læren om naturen er den første og største kilde til teknologisk utvikling. Den andre er at teknologier ofte gjenspeiler naturen på en praktisk og kost-effektiv måte i henhold til funksjonaliteten søkt under utvikling. Når nyere informasjon avdekkes som avslører ulemper denne gitte teknologien fører med seg for naturen selv er det viktig å revurdere den underliggende teknikken som ble brukt. Ved å fremlegge noe subjektiv og objektiv informasjon om hvordan hav-organismer benyttes til utvinning av målverdier i lys av noen interessante funksjonaliteter fra hav-livet satte forhåpentligvis arbeidet et fokus på dette paradigmet. Av lignende grunner er også de fakta som kommer av observasjon rikere og mer interessante å betrakte enn de resulterte fra slik eksperimentell forskning (subjektivt). Mye kan bli sagt om dette, av hva som er målrettet forskning og hvor relevant dette målet er i en helhetlig sammenheng, og ikke minst må et element av etikk inkluderes som muligens krever et høyere kunnskapsnivå enn flere forskere kan stille med i disse informasjons-tider. I dette arbeidet har forøvrig biologiske prinsipper spilt en rolle av koherens i metodeutviklingen. På et vis kan de sammenlignes med litteraturstudiet av kymatikk for arbeidet. Løsningsforslaget har ingen direkte tilknytning kymatikk (bortsett fra et søkt forslag i 10.1.6), og vil heller assosieres med signalbehandling, materiallære og et lite element av reguleringsteknikk, selv om en visualisering av systemet ville vært umulig uten de innholdsrike fremstillinger i form av bølgefenomener på piezoelektrisk eksiterte metallplater.

Et underlig tema er det, at en partikkel trenger en bølgeform før den kan observeres. I praksis vil dette si at hele verden slik vi sanser den i dag er en samling av vibrasjoner. Alle organismer i havet, på land og i luften er tilpasset det respektive fluidmediet som viderefører kommunikasjonen slik at den kan tolkes i de respektive livsformer. Vitenskapelig kan dette dynamiske forløpet forklares over en gitt tid, men kanskje en mer omfattende modell vil betrakte et element av periodisitet.

12. KONKLUSJON

I dette arbeidet har en praktisk konseptuell løsning for aktiv støydemping i maritime industriapplikasjoner blitt kartlagt i en rapport hvor alle elementer og tilhørende anbefalinger er inkludert. Tekniske løsninger på sammenlignbare eksempler er studert og generalisert, omfanget av støykontroll for hav-livet er utforsket, et forsøk har gitt dypere innsikt i instrumenteringen, og et løsningsforslag er fremlagt med hensyn til målsettingen. Noen begrensninger og videre forskningsmuligheter er diskutert, men en funksjonell basis for applikasjonsområder er ikke inkludert i rapporten. Dette skyldes et behov for videre eksperimentering av konseptmodellen og ytterligere forskning som ikke var mulig med tidsrammene for arbeidet.

12.1 Resultater og anbefalinger

Arbeidet har fokusert mot en konseptuell løsning hvor enkelte løsningsforslag er argumentert for med bakgrunn i tilegnet informasjon og noen enkle praktiske forsøk. Resultatet kan betraktes som metodisk, og som en påstartet utvikling av et helhetlig kontrollsystem for reduksjon av støyforurensning i havet. Avsluttende resultater vil oppsummeres punktvis:

- Muligheter for et maritimt ANC system for havet er utledet så langt det lot seg gjøre med valgt bakgrunnsinformasjon. Informasjonen har gitt nye lærdommer, og et utgangspunkt for en ny litterær sammensetning som kan betraktes som et tilskudd til informasjonskilder på det valgte problemet er fremlagt.
- Noen enkle forsøk har virket som et supplement til utledningen, og har fra utgangspunktet gitt en retning til et målorientert konsept.
- Et tidligkonsept, som baserer seg på syklisk aktivering og sensing av organiserte transdusere i et foroverkoblet tilbakekoblet helhetlig system med ANC og NN kontroll-modellering er skissert.
- En original metodikk for løsningsorientert utvikling av maritim ANC er konstruert med bakgrunn i fundamentale prinsipper av vibrasjon fra et helhetlig og målrettet perspektiv, som gradvis er opparbeidet gjennom rapporten.

12.1 Videre arbeid

Videre arbeid deduseres fra sluttresultatet og innebærer

- Forsøk 3 fra Kapittel 6.3.1, og flere potensielle forsøksmodeller kan betraktes fra Kapittel 11.4.3.
- Videreutvikling av konsept-modellering, hvor noen hovedpunkter vil kunne oppsummeres som NN- og ANC-kontrollsystem med tilhørende algoritmer og optimeringsproblemer, elektronisk arkitektur og design med spesifisering av materielle og strukturelle/geometriske egenskaper, og videre eksperimentelle forsøk som støtter disse utledninger.
- En helhetlig analyse hvor prinsippet fra Kapittel 10 betraktes for andre transdusere.
- Videre analyse-metoder kan utforskes for vibrasjon i lys av samme målsetting, eksempelvis eksperimentering med foto-elastiske teknikker, kymatikk, mode-form og fase-analyser.
- Utledning av en funksjonell basis for maritime industrielle applikasjonsområder med hensyn på målsettingen.

13. REFERANSER

Formler og begreper er hovedsakelig hentet fra [2], [6], [7] og [8]. Konfigurasjon og måleverdier er utviklet med hjelp av [21] og [22].

13.1 Skriftlige kilder

1. Hansen, C.N., *Understanding Active Noise Cancellation*. 2002: Taylor & Francis. **155**
2. Bies, D.A. and C.H. Hansen, *Engineering Noise Control: Theory and Practice, Third Edition*. 2003: Taylor & Francis. **719**
4. Grandjean, É., *Fitting the task to the man: a textbook of occupational ergonomics*. 1988: Taylor & Francis. **363**
6. Tipler, P.A., D. Mills, and G. Mosca, *Physics For Scientists and Engineers*. 2007: Macmillan Higher Education. **1172**
7. Etter, P.C., *Underwater Acoustic Modelling and Simulation, Third Edition*. 2003: Taylor & Francis. **448**
8. Lin, K.S., P.E. Papamichalis, and T.I.I.S. Group, *Digital signal processing applications with the TMS320 family*. 1990: Prentice-Hall. **618**
13. Heywang, W., K. Lubitz, and W. Wersing, *Piezoelectricity: Evolution and Future of a Technology*. 2008: Springer Berlin Heidelberg. **581**
14. Jenny, H., *Cymatics: A Study of Wave Phenomena and Vibration*. 2001: MACROmedia. **295**
20. Sherman, C. and J. Butler, *Transducers and Arrays for Underwater Sound*. 2007: Springer New York. **703**
23. Wang, K.W. and J. Tang, *Adaptive Structural Systems with Piezoelectric Transducer Circuitry*. 2009: Springer US. **298**
24. Datta, R. and K. Deb, *Evolutionary Constrained Optimization*. 2014: Springer India. **319**
25. Mayergoyz, I.D., *Mathematical Models of Hysteresis*. 2012: Springer New York. **207**
29. Ge, F.L.L.a.S.S., *Neural Networks in Feedback Control Systems*. Mechanical Engineer's Handbook, 2005. **24**
30. Ballas, R.G., *Piezoelectric Multilayer Beam Bending Actuators: Static and Dynamic Behavior and Aspects of Sensor Integration*. 2007: Springer Berlin Heidelberg. **254**
36. Bøe, J.K., *Materialer, fysiske og bruks-messige egenskaper*. Matematiske Realfag og Teknologi: NMBU. **36**

13.2 Nettkilder

3. Statista. *Container Shipping - Statistics & Facts*, www.statista.com, 2017.
5. Hildebrand, J.A., *Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean*. 2009: <http://cet.usd.edu/>.
9. Lakes, R.S., Lee, T., Bersie, A., and Wang, Y. C. *Extreme composite materials with negative stiffness inclusions*, www.nature.com, 2017.
10. Gururaja Udupa, S.S.R., K.V. Gangadharan, *Functionally Graded Composite Materials: An Overview*. ScienceDirect, 2014.
11. RS, L., *Extreme damping in composite materials with a negative stiffness phase*, in *Department of Engineering Physics*. 2001, University of Wisconsin.
12. Linder, J. *Landau Teori*. Store norske leksikon, [ww.snl.no](http://www.snl.no), 2017.
15. Williams, L.P. *Michael Faraday*, www.britannica.com. 2018
16. Nguyen, D. *Wave-Particle Duality*, www.chem.libretexts.com, Chemistry LibreTexts 2015.
17. *Discovery Of Sound In The Sea*. 2017, University of Rhode Island: <http://www.dosits.org>.
18. Popper, M.C.H.A.N., *Effects of Sound on Fish in California Department of Transportation*, www.nrc.gov, 2005.
19. Center, N.R., *Modes of Sound Wave Propagation*. <https://www.nde-ed.org/>.
21. *Active Noise Control Using a Filtered-X LMS FIR Adaptive Filter*, www.se.mathworks.com 2018.
22. Oey, A. *Active noise control system using FxLMS algorithm*, www.se.mathworks.com 2010; File exchange.
26. Michael P. Brenner, S.H., Detlef Lohse, *Single bubble sonoluminescence*. REVIEWS OF MODERN PHYSICS, 2002. **74**.
27. Fahlke, J.M., et al., *Cranial asymmetry in Eocene archaeocete whales and the evolution of directional hearing in water*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011. **108**(35): p. 14545-14548.
28. N. *Measuring Vibration with Accelerometers*, www.ni.com, 2017.
31. *Speed of Sound in common Solids*, www.engineeringtoolbox.com, 2004.
32. Huetsi, G., *Cosmic sound: Measuring the Universe with baryonic acoustic oscillations. Dissertation, LMU München*, www.edoc.ub.uni-muenchen.de, Faculty of Physics. 2006.
33. *Online Tone Generator*, <http://www.szynalski.com/tone-generator/>.
34. *Cymascope*, www.cymascope.com, 2018.
35. SENATORE, G. *GENNARO SENATORE*, www.genarosenatore.com.

Vedlegg

I. Innstilling og installasjon av ANC – Generell prosessbeskrivelse

For tuning trengs tre innganger: En for error signaler, en for referansesignal, og en for elektroakustiske impulsresponser mellom elektrisk inngang til kontrollkilde og elektrisk utgang fra error-sensorer [8].

Generell prosessbeskrivelse

Ved utvikling av ANC for en spesiell hensikt, er det hensiktsmessig å betrakte kun støy i første omgang [8].

1) Støy måles uten kontrollkilde

Spekteranalyse gjennomføres (med transfer-funksjon i frekvensdomenet) for å fastslå posisjon og effekt av optimale kontrollkilder som minimerer summen av de kvadrerte lydtrykkene på spesifikke områder. Dette gjennomføres for alle aktuelle frekvensbånd.

Etter at frekvensbånd er fastslått, skal optimal kilde-plassering for hver av dem samt nødvendig effekt kalkuleres.

Det velges å fokusere på bestemte frekvens-signaler, sett at kontrolleren vil ut-flate støysignalet. Det som menes med utflating er at jo færre bånd det fokuseres på, jo mer effekt er tilgjengelig i disse bånd. Med dette i betraktning, fokuseres det på å utjevne de frekvenser som er mest forplantende eller minst naturlig dempet i miljøet. Fra hydroakustikken er dette frekvensbånd mellom 10 og 200-300 Hz.

2) Kildeplassering

Å få signifikant global demping er mer krevende i åpent område enn lukket. I åpent område kreves det at kilden må være nærme, og med lokal demping med en kilde langt i fra vil antakelig støy stige på et globalt plan. Dersom støykilden er mer enn $\lambda/5$ fra kontrollkilde, så trengs det flere kilder for avbalansering [2].

3) Error-plassering

Kontroll-kilden konfigureres før error-plassering kan optimaliseres. Error skal minimalisere kvadrerte lydtrykk ved kritiske områder (der hvor støyet skal dempes). For best resultater plasseres denne nærmest mulig kilden. Ved lave frekvenser trenger den ikke være så langt fra kontroll- og primærkilde. Det er viktig at dersom flere error-sensorer monteres at de ikke er symmetriske rundt kildene [1]. Sensitiviteten av kontroll-resultatet fra error-plassering reduseres når primærkilde- og kildekontroll-avstanden reduseres. Det er registrert dårligere resultater med lyd-intensitets-sensorer enn med lydtrykk sensorer [2]. Båndpassfilter er kun aktivt når lokasjonen er tilnærmet optimal.

4) Optimalisering av kontroller

Relative amplituder av frekvenskomponenter i referanse-signalet skal være de samme som relativ demping nødvendig for hver frekvenskomponent.

En kan se på forsinkelser i samtlige komponenter i kontrolleren som en samlet forsinkelse. Denne *gruppe*-forsinkelsen er summen av fire forsinkelses-komponenter.

- Signifikant forsinkelse, forbundet med A/D
- Signalbehandlings-forsinkelse (vanligvis liten)
- Elektroakustisk konversjons-forsinkelse, forbundet med referanse sensor (vanligvis liten)
- Kontrollkilde- og transduser-forsinkelser (ofte stor).

Forsinkelser dikterer avstand mellom referanse-sensor og kontrollkilde.

5) Referansesignal og kvalitet

Det ønskes koherens mellom referanse og error-signal. Kontroll signal blir tilbakeført til referansesignal. En relativ mengde og karakteristikk av hoved-frekvenskomponenter utgjør referanse-signalet. Høyst mulig fraksjonell reduksjon i kraft-spekteret av et systems error-signal er gitt av Formel 1.

Antatte forutsetninger for prototype for havet

- Det antas for modelleringen at havmiljøet ikke varierer med range (FFP/FFT (bølge-nummer representasjon) kan brukes)
- Sekvensbaserte utganger kan behandles i synkronitet med aktuator (Bølgesyntese kan brukes)
- Betrakter kun kort range mtp. lyd-forplantning (sfærisk spredning kan brukes)
- Dynamisk filtertype kan brukes (DFFT) for spekteranalyse, med piezoelektrisk sensor som setter en utvendig bestemt rate.

II. Videreutvikling/modellering av konsept A

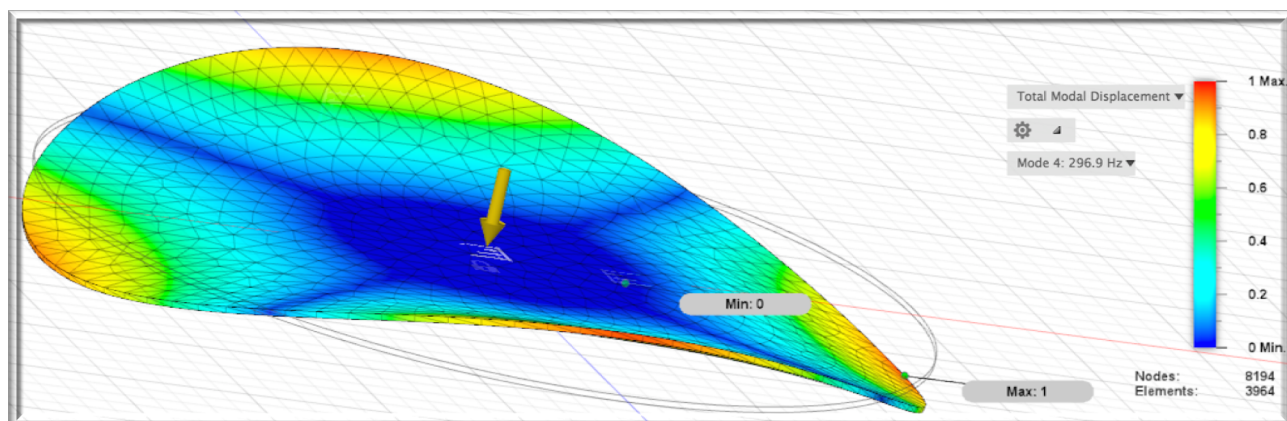
Materiale

Metaller som kan aktueres og/eller senses med piezoelektriske transdusere betraktes først, og geometrisk utforming vurderes ved hjelp av simuleringverktøy.

Kobber har relativt høy termisk utvidelse og ledningsevne [36], og vibrerende absorpsjon til termisk energi er ingen effektiv dempnings-metode, som diskutert i Kapittel 4. I en marin applikasjon vil dette være dårlige egenskaper, men for et forsøk kan det være smart å benytte et kjent metall som lettere kan sammenlignes med andre kompositter. Kobber er taktilt, og til en lyd-genererende plate vil det betraktes. Messing, som i hovedsak er en legering av kobber og sink, er grunnstoffet til mange musikalske instrumenter grunnet gode og kontrollerte resonans-egenskaper.

Geometri

Ettersom lave frekvensområder er ønskelig, måtte en tynn struktur betraktes. Simulering ble gjort av tynne flater, med symmetri blant egenfrekvensene samt lave frekvens-verdier i fokus. Sylinder-form viste seg å gi mest symmetriske svingninger under hydrostatisk trykk og ett festepunkt for kobber-strukturen (fig. II.I) (Tabell II.I).



Figur II.I: Node og frekvens-analyse av kobber-plate. (Simulering fra Fusion 360)

Tabell II.I: Geometri og egenfrekvenser av grunnstruktur:

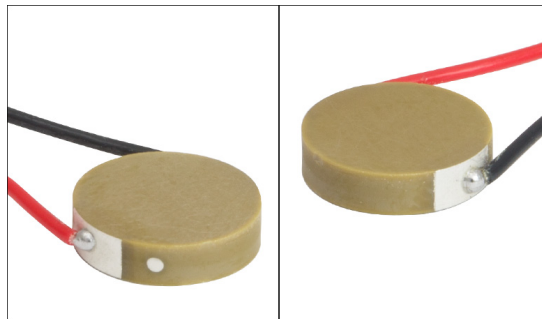
Diameter	Tykkelse	Egenfrekvenser
150 mm	3 mm	666,7 Hz
150 mm	2 mm	460,9 Hz
150 mm	1 mm	258,4 Hz, 259 Hz, 260,1 Hz, 296,9 Hz

Festepunktet betraktes her som en sylinderflate på $d = 50 \text{ mm}$, for under et forsøk må platen festes. I tillegg vil dette være området som aktuerer platen til å vibrere, så simuleringen er ikke helt konklusiv av denne årsaken.

I forslaget som er visualisert er tykkelsen 1 mm , og egenfrekvensen ved 296.9 Hz . Ved denne frekvensen er massesvingningene jevnt fordelt over flaten, som tenkes ønskelig for et forsøk med stabilt referanse- (eller error-) punkt.

Aktuator og sensor

DSP vil ikke benyttes for forsøket. Dette innebærer at ingen signal-behandling blir gjort i sann-tid, og dermed også at systemet må være så forutsigbart som mulig. To identiske piezoelektriske transdusere med geometri relatert til platen vurderes (Figur II.III).



Figur II.III: Piezoelektriske keramiske elementer i stack-formasjon. (Bilde: Thorlabs.com)

Hydrofon kan bygges relativt billig ved hjelp av piezo-elementer ('discs', evt en pre-amp), og kvaliteten avhenger av design. Å få utgangssignalet analysert i sann-tid og uten intern støy er en annen sak, og i tillegg vil dynamisk range begrenses av elementet. Det tenkes her at frekvensområdet som betraktes kan befinne seg på et lite område, og at presise målinger er viktige for kalibreringen og resultatene.

Antatte forutsetninger for videreutvikling

- Det antas at error-platen absorberer vibrerende energi fra strukturen i de frekvensområder som skal utjevnes, og at den utjevneende flate demper med varierende stivhet fra kontroller. En alternativ konfigurasjon er med flere aktive dempeplater parallelt.
- Piezoelektriske sensorer blir referansesignal for utjevneende plate. Det antas at et isolasjonslag vil hindre resonans og beholde spenningen på plass.
- Antas at FFT og WS kan benyttes i DSP kontroller.
- Mål: Praktisk (vedlikehold), lett å installere, får nok strøm fra spenning over sensorer, mulig å installere i flere applikasjoner

Utfordringer

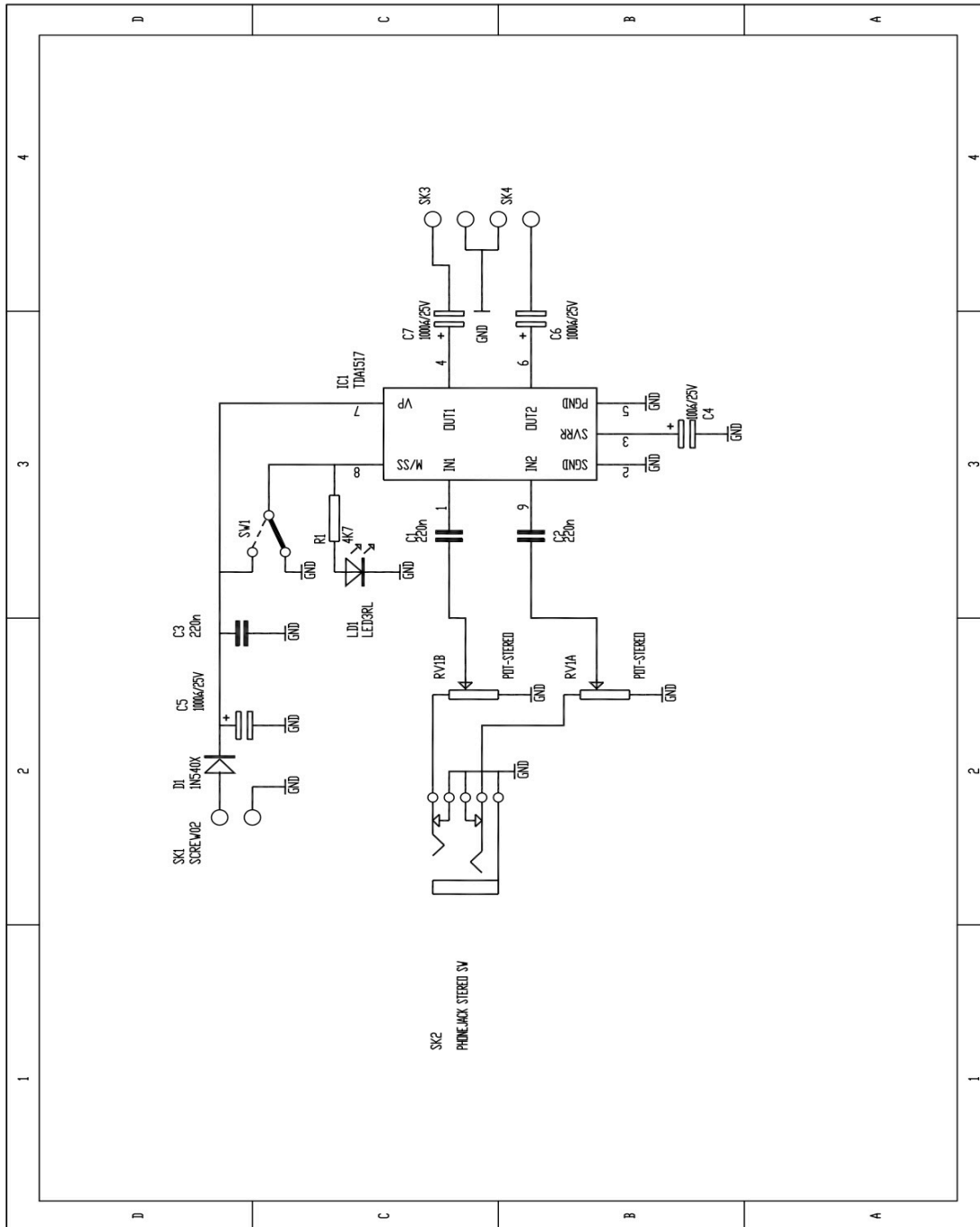
- Nedkjøling (vann), mellomlag, demping, velge ut materialer (E, K, T), dimensjoner, frekvensområde, virkningsgrad.
- Utforming av tredimensjonalt design.
- Konfigurasjon av kontroller:
 - Er kilden tilnærmet periodisk?
 - Parallell og/eller serie-konfigurasjon på C og L (kartlegge noder)
 - Neuro-nettverk?
 - Tilhørende filter
- Piezoelektriske transdusere kan festes til en plate for å transformere elektriske signaler til lyd. Blir dempingen av lyd eller vibrasjon mest gunstig?
- Platene må festes på et vis der vibrasjonen ikke påvirker kontrollsystemet.

Gjennomførelse

1. Vil primær plate lage lyd? *Hvis ja: Finne egenfrekvens, er den i området til simuleringen?*
2. Vil det være en posisjon og bølgeligning for sekundær-plate som reduserer lydnivå i et lokalt område?
3. Dersom 1 nei:
 - a. Muligheter for å se på trykk-endringer
 - b. Videre utvikling
- Dersom 2 nei:
 - a. Feilsøke i materiale og geometri
 - b. Videre utvikling

III. Audio-forsterker skjematikk

Vedlagt skjematikk for audio-forsterker benyttet i Forsøk 2 (Figur III.I)



Figur III.I: Datasheet Fra Kjell & Company

IV. Ordliste

Admittans - den inverse størrelsen til impedans

Amplitude - et signals endring i omfang over en periode

Bånd - område

Domene (frekvens/tid) - Frekvensdomenet referer til analyse av signaler med respekt til frekvens og tidsdomenet refererer til analyse av signaler med respekt til tid

Dødsone – Frekvensbånd hvor utgangen av transferfunksjonen er lik null

Frekvens - hyppighet

Gain - elektronisk forsterkning av signalamplitude fra inngang til utgang i elektronisk krets

Hysteres – En påført endring i systemet dempes ikke umiddelbart

Kamfilter - et filter som implementeres ved å legge til forsinkede versjoner av et signal til sin funksjon som resulterer i konstruktiv og destruktiv interferens. Frekvensresponsen gir en serie med hakk

Kontroller - alt i mellom innganger og utganger i et ANC system

Kraft - en påvirkning på et legeme som kan føre til deformasjon

Last - påkjenning

Lav-pass filter - et filter som blokkerer signaler over en viss frekvens

Memory address pointer - programmert funksjon hvor en referanse til spesifikke minne-områder brukes

Multiplexer - elektronisk komponent som samler flere inngangssignaler til et inngangssignal

Periode (L) - en bølgelengde, invers av frekvens

Pol - singularitet

Sample, sampling - et utvalg av signal, teknikk for å registrere dets tidsforløp elektronisk

Sann-tid - beskrivelse av data-prosessering med umiddelbar utgang- fra inngangssignal

Sekundær bane – Sekundær vei, fra sekundærkilde til lydfelt

Sensor - instrument som konverterer fysisk påvirkning til signal

Signal - fysisk mengde eller kvalitet som formidler informasjon

Signal-støy rate - måleenhet som sammenligner nivået til et signal mot bakgrunnsstøy

Tilpasningsenhet - fysisk kontroller

Transduser - energiomformer

Topografi - form, utforming

Tuning - innstilling



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway