



15.06.2016

Måling av fartøys elektriske signatur og miljømessige påvirkninger

Bacheloroppgave i elektro og
automasjon



Brennesvik, Helene Sundby
SJØKRIGSSKOLEN

Innholdsfortegnelse

1. Intro	2
1.1. <i>Sammendrag</i>	2
1.2. <i>Bakgrunn</i>	2
1.3. <i>Problemstilling</i>	4
1.4. <i>Definisjoner</i>	5
1.4.1. <i>Indekser</i>	5
1.4.2. <i>Forkortelser og uttrykk</i>	6
2. Fremgangsmåte	7
2.1. <i>Valg av oppgave</i>	7
2.2. <i>Innhenting av informasjon</i>	8
2.3. <i>Internettsøk</i>	9
3. Måling av elektrisk signatur	11
3.1. <i>Hva er elektrisk signatur</i>	11
3.2. <i>Sensorer</i>	13
3.2.1. <i>Sølv-sølvklorid</i>	13
3.3. <i>Målestasjoner og systemer</i>	15
3.4. <i>Digitale simuleringer og modeller</i>	16
4. Påvirkningsfaktorer	18
4.1. <i>Polarisering</i>	18
4.2. <i>Måledybde</i>	19
4.2.1. <i>Avstandens betydning fra en dipol</i>	20
4.3. <i>Vannets konduktivitet</i>	22
4.4. <i>Havbunnens konduktivitet</i>	25
4.4.1. <i>Havbunn med høyere konduktivitet enn sjøvannet</i>	27
4.4.2. <i>Havbunn med lavere konduktivitet enn sjøvannet</i>	28
4.5. <i>Påvirkning av fartøyets dybde</i>	30
5. Drøfting	32
5.1. <i>Målenøyaktighet</i>	32
5.2. <i>Militære bruksområder</i>	33
6. Konklusjon	34
7. Kilder	35
7.1. <i>Kilder</i>	35
7.2. <i>Bibliografi</i>	35
7.3. <i>Figurliste</i>	35

1. Intro

1.1. Sammendrag

Elektrisk signatur er det elektriske feltet et fartøy genererer rundt seg på grunn av de galvaniske egenskapene til metallene det er bygget av. Et elektrisk felt kan ikke måles, på lik linje med et gravitasjonsfelt, men man kan måle virkningen det gjør på omgivelsene. Denne oppgave ser på hvordan man måler elektrisk signatur ved bruk av sølv-sølvkloridelektroder som er følsomme ovenfor ionestrømmen i havet.

De vanligste sjømilitære bruksområdene for måling av elektrisk signatur i dag er i detoneringsmekanismen til sjø-miner, og målestasjoner der man måler den elektriske signaturen til et fartøy og gjør tiltak for å redusere den.

Den elektriske signaturen til et fartøy vil påvirkes av miljømessige faktorer som polarisering, måledybde, fartøyets dyptgående, vannets og havbunnens konduktivitet. Disse faktorene påvirker signaturen i så stor grad at det ikke vil være hensiktsmessig å bruke måling av elektrisk signatur alene til kjenningstjeneste av fartøy. Det vil derimot kunne være et brukbart element i ett større målesystem som benytter flere måledata sammen.

1.2. Bakgrunn

Hvert fartøy skal i teorien ha en egen unik elektrisk signatur. Materialene det er bygget av og utformingen det har skal skape en unik signatur. Den kan måles og brukes til å identifisere ikke bare hvilken fartøystype det er, men også spesifikt hvilket skrog. Gitt at man kjenner det enkeltes fartøys signatur fra før.

Dette kan brukes i flere militære sammenhenger, som for eksempel utløsning av miner, overvåkning og måloppdagelse. Tidlig oppdagelse av et fiendtlig fartøy, dets posisjon, retning, operasjonsmønster og fart kan være meget kritisk. Hva hvis vi hadde hatt et sikkert system for dette i Oslofjorden 9. April 1940?

Det er et mål for alle militære fartøy at denne signaturen skal være minst mulig, for å minimere muligheten for selv å bli detektert. Det ideelle hadde vært å eliminere signaturen helt. Det er ikke funnet noen løsning på det enda, siden den elektriske signaturen bestemmes av flere komplekse faktorer. Derimot finnes det enkelte mottiltak man kan bruke.

Elektrisk signatur er en måte å oppdage hvorvidt det er skipsaktivitet i farvannet og mulighet til å kjenne igjen spesifikke fartøy, men for å kunne si med sikkerhet hvilket fartøy det er, hvilken hastighet det går med, hvilken dybde det er på, hvor stor trussel det vil utgjøre med tanke på stridsmidler og mannskap krever mer enn bare måling av det elektriske potensialet alene.

Det finnes flere målestasjoner rundt om i verden for å måle signaturen til fartøy. Det som da er spesielt er at måleresultatene for ett og samme fartøy varierer i stor grad når det måles på forskjellige målestasjoner ved bruk samme målemetode.

Ubåter er spesielt interessante i forhold til signaturmåling, siden de er svært vanskelig (og over mot umulig) å oppdage fra overflaten, og evnen til å detektere og gjenkjenne dem ved hjelp av elektrisk signatur er langt mer relevant. Derfor vil ubåt være eksempelfartøyet det refereres til i eksemplene i denne oppgaven.

Forslag til tema for oppgaven kom fra Stein Erik N. Fredriksen orlogskaptein og teknisk saksbehandler i FLO MARKAP våpen- og sensorteknisk avdeling.

1.3. Problemstilling

Denne oppgaven forteller om hva elektrisk signatur er, hvordan den kan måles og beregnes ved hjelp av elektroder. Oppgaven forteller om hvordan man benytter seg av måling av elektrisk signatur i dag og hvordan det kan være nyttig å bruke det i forskjellige andre militære sammenhenger i fremtiden. Den forteller om mulighetene digitale verktøy gir for å beregne og visualisere den elektriske signaturen, og gjøre digitale eksperimenter som vil være tids og resurskrevende å utføre med virkelige båter og målinger.

Den forteller om forskjellige miljømessige faktorer som har innvirkning på den målte elektriske signaturen, hvordan og hvorfor de vil påvirke den.

For å kunne forstå flere av de temaene oppgaven tar for seg er det nødvendig med en del forkunnskaper innen måleteknikk, matematikk, systemtenkning, elektrofysikk og kjemi. Derfor vil oppgaven inneholde et eget delkapittel med definisjoner og forklaringer av det som ikke har vært del av, eller er lite vektlagt, i undervisningen ved elektro- og automasjonsutdanningen ved Sjøkrigsskolen (her fra SKSK).

Det er et eget kapittel i oppgaven som handler om fremgangsmåte, det er for å gjøre oppgaven reproduserbar og vise til prøvbarheten av det som er skrevet. Til sist i oppgaven er det satt opp kildeliste og figurliste.

1.4. Definisjoner

Dette delkapittelet inneholder forklaring av indekser, forkortelser og uttrykk. De definisjonene som er tatt med her er lagt lite fokus på eller ikke tatt med i undervisningen ved elektro- og automasjonsutdanningen ved Sjøkrigsskolen (SKSK). Dette delkapittelet er til for at leseren enkelt skal kunne finne frem til definisjoner som er viktig å forstå for å innholdet i oppgaven.

1.4.1. Indekser

ϕ_e , Elektrisk fluks

Mengden av elektrisk felt som går gjennom en flate.

Fluks eller flux kommer fra latin og betyr gjennomstrømning. Selv om feltet ikke renner eller strømmer på samme måte som væsker er det en god metafor for billedliggjøring av hvordan feltlinjene brer seg ut i rommet. (Knight, 2014)

ε , Permittivitet:

En utledet SI-enhet som angir motstanden som oppstår når et elektrisk felt ledes i en materie. Altså en materialeegenskap for isolerende stoffer. Tidligere ble det kaldt dielektrisitetskonstanten. ε oppgis i Farad per meter $[F/m]$, er utledet fra formelen for kapasitans ($C = \varepsilon \left(\frac{A}{d}\right)$) og sammensatt av:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

ε_0 er en fysikalsk konstant for permittiviteten i vakuum, den oppgis som $8,854187817...E-12$ F/m.

ε_r er den relative permittiviteten og er forskjellig for ulike stoffer. Den uttrykker hvor mye kapasitansen i en kondensator fylt med stoffet øker, i forhold til vakuum. Den oppgis uten dimensjon. Den relative permittiviteten er nær konstant for de fleste stoffer, men kan være frekvensavhengig for noen. Det finnes stoffer som oppviser ulineære permittiviteter slik at verdien er en funksjon av feltstyrken. (wikipedia.org, 2016)
Den relative permittiviteten for sjøvann er satt til å være 1.

1.4.2. Forkortelser og uttrykk

UEP, Under Water Electric potential:

Elektrisk potensiale målt under vann.

Fritt vannsmodellen:

En teoretisk modell der en ubåt er omgitt av sjøvann på alle kanter i uendelig utstrekning og sjøvannet har en homogen konduktivitet.

FLO MARKAP

Forsvarets logistikkorganisasjon, Maritime kapasiteter.

SKSK

Sjøkrigsskolen

Elektrolytt

Væske som leder strøm i form av ionestrøm.

Faradaybur

En konstruksjon som isolerer for elektriske felt og potensialforskjeller mellom utsiden og innsiden. Konstruksjonen er elektrisk ledende og omkapsler et volum.

2. Fremgangsmåte

Denne oppgaven er i hovedsak en dokumentanalyse. Det vil si en teoretisk analyse gjort på grunnlag av litteraturstudier.

Dette kapittelet forteller om fremgangsmåten som er brukt for å produsere oppgaven. Det er for at oppgaven skal være reproduserbart og for å vise prøvbarheten av innholdet i den.

2.1. Valg av oppgave

Forslag til tema for oppgaven kom fra Stein Erik N. Fredriksen, orlogskaptein og teknisk saksbehandler i FLO MARKAP våpen- og sensorteknisk avdeling. Han ønsket å få bygget en skalert testmodell for måling av fartøys elektrisk signatur og med mulighet for endring av miljømessige faktorer som for eksempel salinitet/temperatur i farvannet og konduktivitet i havbunnen. Dette er en spennende oppgave som krever at man allerede har god begrepsforståelse innen elektrofysikk. Det vil også kreve at man har god kunnskap om og forståelse av det elektriske feltet rundt et fartøy, hvordan målingene blir gjort og hvordan sensorene fungerer. Slik at man allerede vil ha en viss forståelse for hvordan forskjellige faktorer vil forstyrre måleprosessen. Det vil også være ugunstig å velge en oppgave som krever at man bygger en større modell og gjennomfører målinger uten en arbeidspartner.

Når vi gjennom ingeniørutdannelsen i elektro og automasjonsfaget på sjøkrigsskolen kun har hatt en enkel begrepsdannelse og innføring i prinsippene for elektriske felt, gjennom faget "Elektromagnetisme- og høyspenningssystemer", var det naturlig å starte på et mer grunnleggende nivå. Derfor har jeg valgt å gjøre dokumentstudier om temaet. slik at man senere kan bruke det til å gjøre teoretiske analyser og ha forståelse om hvordan en god testmodell for måling av elektrisk signatur kan konstrueres.

Den elektriske signaturen til et fartøy er summe av alle de elektriske feltene rundt et fartøy, både alternerende og statiske. Den er også nært tilknyttet den magnetiske signaturen. I denne oppgaven vil det kun fokuseres på det totale statiske feltet alene, både for å begrense oppgavens størrelse, og fordi det vil forenkle modeller og eksempler uten at man mister betydning de miljømessige faktorene har for målingene av feltet.

2.2. Innhenting av informasjon

Via oppdragsgiver fikk jeg artikkelen "Comparability of UEP Signatures Measured under varying Environmental Conditions" (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013). Der de bruker analytiske beregninger og numeriske simuleringer for å se på virkningen av varierende miljømessige faktorerers innvirkning på den målte elektriske signaturen, som de har sammenlignet med faktiske målinger.

For å innhente nødvendig kunnskap om grunnleggende fenomen innenfor temaet har jeg søkt på internett, med google.com og scholar.google.com som søkemotor, og brukt lærebøker fra studiene ved SKSK. I delkapittel "2.3 Internettsøk" er det beskrevet mer inngående hvordan søkene på internett er foretatt.

"Physics for Scientists and Engineers, A Strategic Approach with Modern Physics" (Knight, 2014, ss. 807-1002) handler om elektriske ladninger og krefter, elektrisk felt, Gauss lov, elektrisk potensial og sammenhengen mellom potensial og felt. Disse kapitlene gir en grundig innføring i elektrofysikken som kreves for å kunne utlede og forklare fenomenene bak problemstillingen.

For videre å kunne drøfte måling av elektrisk signatur må man ha en god forståelse av målemetoden som blir brukt. I faget "Systemtenkning" som er en del av utdanningen på alle de tekniske linjene ved SKSK lærer man om systemforståelse, sensorteori og måleteknikk, men faget har ikke tatt med måling av elektrisk signatur eller systemer hvor man bruker den typen måling. Faget "Automatiseringssystemer" som undervises i 2. Klasse ved elektro- og automasjonslinjen lærer man også om måleteknikk, sensorteori og signalbehandling, men heller ikke her er det noe spesifikt om måling av elektrisk signatur. Derfor har jeg brukt mye tid på å tilegne meg kunnskap om dette og skrevet et eget kapittel (kapittel 3) om temaet.

Det er publisert lite om systemene og sensorene som brukes i slike målinger.

"Impedance characteristics for solid Ag/AgCl electrodes used as recording electric field generated by vessels in seawater" (Yan, Yuan-sheng, & Yu-su, 2009) handler om hvordan sølv-sølvkloridelektroder, brukt til å måle elektrisk signatur fra fartøyer i sjøvann, har svært varierende impedans når det måles alternerende felt med varierende frekvenser. Her er det forklart hvordan sensorer med sølv-sølvkloridelektroder fungerer.

2.3. Internettsøk

For å innhente kunnskap om temaet i oppgaven har det blitt gjort søk på internett. Det er for det meste brukt google.com som søkemotor på internett. Det er også brukt scholar.google.com, som kun gir treff på vitenskapelige kilder, for søkeord som har gitt lite relevante treff i google.com.

Flere av begrepene og indeksene som brukes for å beskrive fenomenene i oppgaven er godt beskrevet på no.wikipedia.org eller på den engelske siden en.wikipedia.org. Det er typisk at det i disse forklaringene er brukt andre fremmedord for å beskrive temaet på siden, men da er det i de fleste tilfeller mulig å trykke på en hyperkobling til disse ordene som tar deg til en ny side som forklarer dem.

Flere av søkeordene har jeg fått fra oppdragsgiver, andre har vært fremmedord og faguttrykk som forekommer i lærebøker og artikler. Noen av søkeordene har vært vært nyttige for å komme frem til andre relevante søkeord.

Søkeord	søkemotor	kommentar
Ag/AgCl electrode	google	treff youtube.com
Catodic protection	En.wikipedia	Fra oppdragsgiver
Charged sphere	Google	
Corrosion	En.wikipedia	
Det periodiske system	Images.Google	
Dielektrikum	Google	
Electric field of a dipol bisecting plane	Google	
Electromagnetic_signature_and_reduction	Google	Fra oppdragsgiver
Elektrisk konduktivitet	Google	
Elektrisk leder	Google	
Elektrisk potensiale	Google	
Elektrokjemi	Google	
Elektrolyttens konduktivitet	Google	Se ionestrøm
Elektrolytter	Google	
Galvanske spenningsrekken	google	Fra oppdragsgiver
Glasselektrode	Google	
Havets konduktivitet	Google	
Ion selective electrodes	Scholar.Google	Fra oppdragsgiver
Ionestrøm	Google	Den store danske
Koksalt	No.wikipedia	
Konduktivitet	Google	
Marelec2001	Google	Fra oppdragsgiver
Måling av elektrisk signatur	Scholar.Google	
Nernst ligning	Google	
New_Electromagnetic_Stealth	Google	Fra oppdragsgiver
Overføringstall	Google	
Permabilitet	No.wikipedia	
Permittivitet i saltvann	Google	
Planet-Quest-Trial	scholar.google	Fra oppdragsgiver
Psu salinitet	No.wikipedia	
RIMPASSE	Google	Fra oppdragsgiver
Salinitet	No.wikipedia	
Saltinnhold i havet	Google	
Sensor for elektrisk signatur	Scholar.Google	
Sølv-sølvkloridelektrode	Google	Treff snl.no
Temperatur differences in the sea	Google	
UEP sensor	Google	
UEP signatur	Google	
Ulaklassen	No.wikipedia	
Underwater electric potential	Google	Fra oppdragsgiver
Viskositet	No.wikipedia	Treff
Hvordan måle elektrisk signatur	Google	
UEP signatur measuring system	Scholar.Google	
test station for UEP signature	Images.Google	
underwater electrical potential signature measuring system	Google	
galvanic series	Images.google	

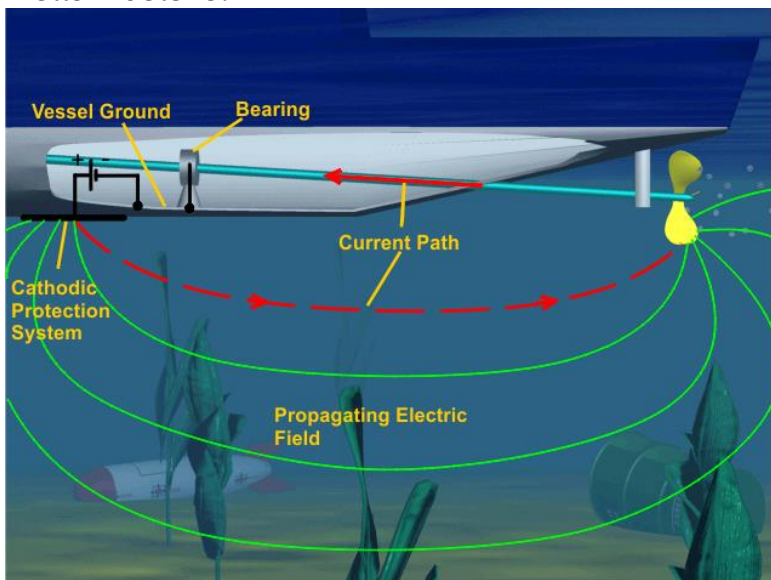
Tabell 2-1 viser ord som er brukt i søk på internett, søkemotoren som er brukt for å søke på ordet og eventuelt kommentar til søket

3. Måling av elektrisk signatur

Dette kapitlet gir en innføring i hva elektrisk signatur er, hvordan den kan måles, systemer der man benytter måling av elektrisk potensiale og signatur, og litt om bruken av digitale simuleringer av den elektriske signaturen.

3.1. Hva er elektrisk signatur

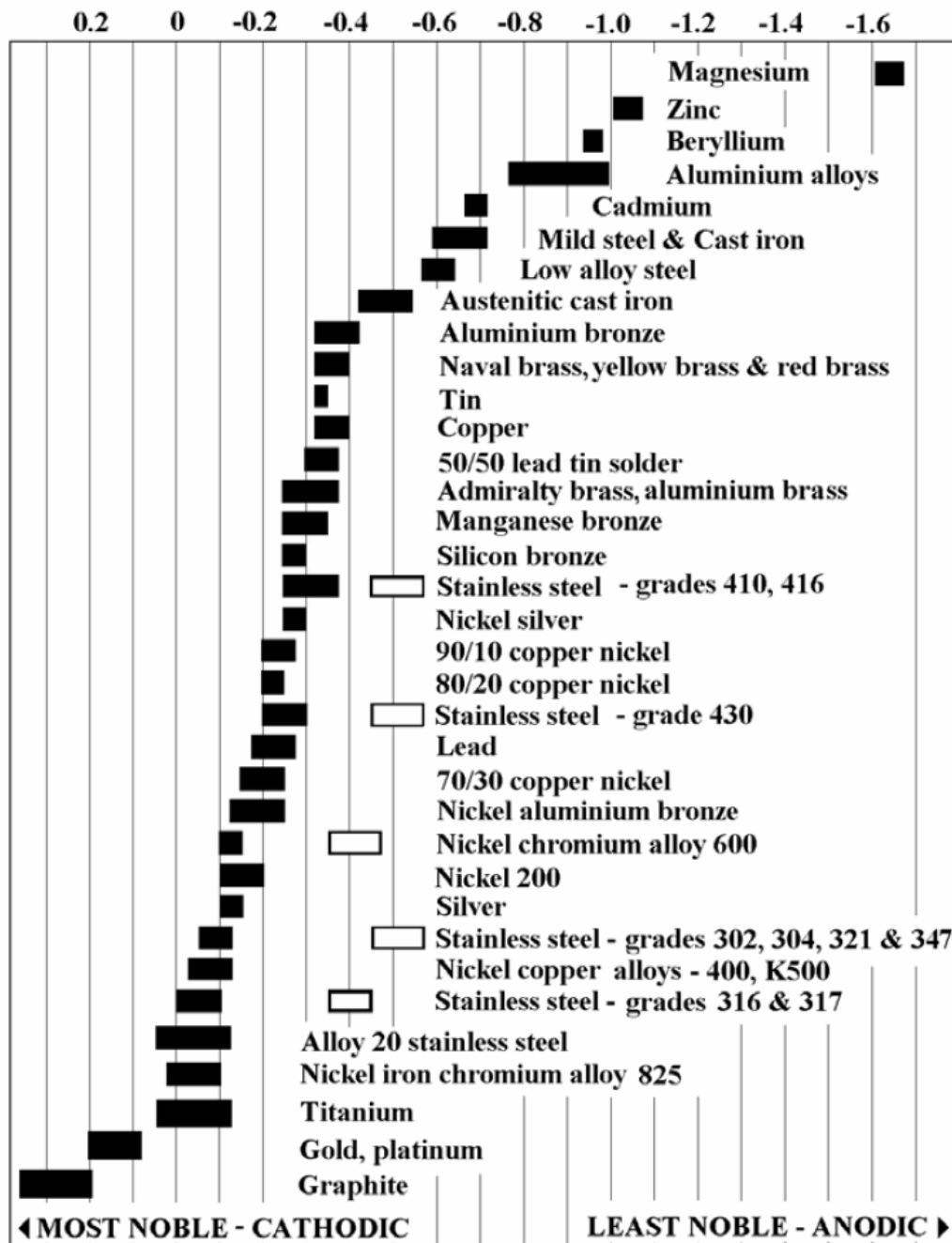
Alle grunnstoffer har et elektrisk potensiale, bestemt av forholdstall mellom protoner og elektroner. Stoffer eller forbindelser som har forskjellig potensiale vil skape en elektrisk strøm mellom seg om de er i kontakt med noe som har elektrisk ledeevne. Slik er det med alle fartøy. De er bygget av forskjellige bestanddeler og materialer, spesielt metaller, og vannet de flyter i fungerer som en elektrolytt mellom delene.



Figur 3-1 Viser polariseringsstrømmene og det elektriske feltet et fartøy genererer. (fra: http://www.davis-eng.com/images/asg_cp_field.png)

Potensialforskjellene skaper et elektrisk felt rundt fartøyet, dette kalles fartøyets elektriske signatur.

Det er de ytre konstruksjonene som er avgjørende for et fartøys elektriske signatur, da skroget vil fungere som et Faraday-bur. Propellen er laget av mer edle metaller enn skroget og akslingen fungerer som en leder mellom dem.



Tabell 3-1 Den galvaniske spenningsrekken: Viser stoffer og forbindelsers elektriske potensiale målt i volt. En tabell er alltid laget av målinger gjort med samme type elektrode. Det gjør at forskjellige tabeller kan vise forskjellige verdier, men potensialforskjellen mellom stoffene i tabellene skal være tilsvarende. (fra: <http://www.ssina.com/images/corrosion/galvanic-series.gif>)

Tabellen over kan brukes til å finne ut hvor stor potensialforskjell vi kan forvente fra et fartøy med propell av marin messing (Naval brass) og skrog av stål (mild steel & cast iron). Der messingen ligger mellom -0,3V til -0,4V og stålet -0,6V til -0,7V. Da vil differansen gjerne ligge på 0,3V til 0,4V.

Fartøyets elektriske signatur er satt sammen av alle de elektriske feltene fartøyet genererer rundt seg. Det vil være både alternerende og statiske felt. I denne oppgaven vil det kun fokuseres på det totale statiske feltet alene, både for å begrense oppgavens størrelse, og fordi det vil forenkle modeller og eksempler uten at man mister betydning de miljømessige faktorene har for målingene av feltet.

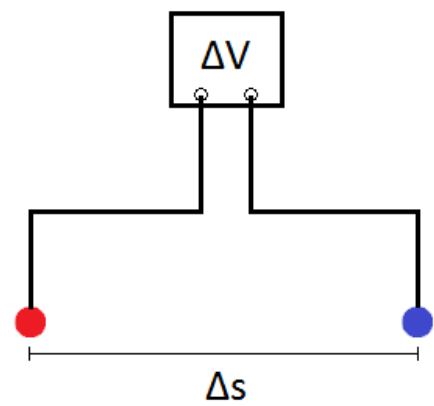
3.2. Sensorer

På samme måte som man ikke kan måle gravitasjonsfeltet på jorden kan man heller ikke måle et elektrisk felt. Det man derimot kan måle er feltets virkning, som tyngdekraftens virkning på en masse, eller strømmen det elektriske feltet skaper i en elektrolytt.

3.2.1. Sølv-sølvklorid

En av metodene for å måle elektrisk signatur er ved bruk av Sølv-sølvkloridelektroder. Sølv-sølvklorid elektrodene er følsomme for ionestrømmen gjennom elektrolytten, i umiddelbar nærhet av seg. Ionestrømmen, som skapes av spenningen mellom skroget og propellen, vil endre det elektriske potensialet til elektrodene og man kan måle forskjellen som ΔV , mellom to elektroder.

Figur 3.2 Måleprinsippet ved bruk av elektroder. Spenningsforskjellen måles mellom de to elektrodene og avstanden mellom dem er kjent.



En sensor består av to til seks elektroder, der ett og ett par måler spenningen i sin akse. Den totale feltstyrken, målt i et plan som et fartøy passerer over, er gitt som et vektorfelt og er det bildet man bruker for å beskrive den elektriske signaturen til fartøyet. Dette feltet er beregnet ved:

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y + \vec{E}_z$$

og forteller om vektorenes lengde og retning i forhold til dybde og utstrekning langs havbunnen. De tre aksene elektrodene er plassert i er ikke nødt til å stå nøyaktig loddrett eller i vater, så lenge de er ortogonale i forhold til hverandre og man kjenner deres nøyaktige plassering. Man må også kjenne sensorenes nøyaktige plassering i forhold til hverandre.

Om en dipol som passerer rett over en sensor i en rett linje med aksen mellom polene parallelt med ett elektrodepar, normalt på ett annet og kryssende over vinkelrett med det tredje, vil man se at feltet kun består av to komponenter. En i dybderetning og en i fartsretning. Det er fordi feltlinjene brer seg fra den positive mot den negative polen og feltstyrken kun måles tangentialt på feltlinjene.

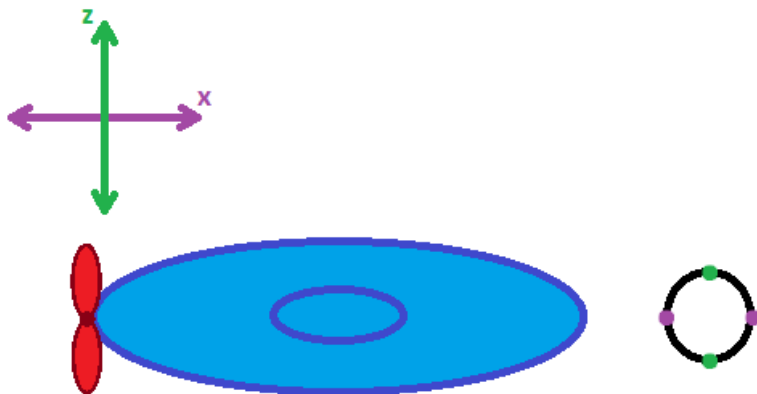
For å få et tredimensjonalt vektorfelt er man avhengig av at sensorene man bruker har tre elektrodepar, slik at man kan måle potensialforskjellen i tre akser. Om man

ikke vet hvilken retning fartøyet går i bør man også benytte tre elektrodepar i sensorene. Grunnet forklaringen i forrige avsnitt.

Avstanden mellom elektrodeparene og hver enkelt sensor er *gitt*, slik at man kan bruke formelen

$$E = \frac{V}{s}$$

der V er av spenningsdifferansen mellom elektrodepar i forskjellige sensorer og s er avstanden mellom sensorene.



Figur 3-3 En ubåt sett ovenfra, på vei over en sensor som måler felt i to akser.

Sensorene er plassert flere sammen på havbunnen, på ca 13 meters dyp, sensorens diameter er 30-40cm og avstanden mellom sensorene er ofte 0,3 til 1 meter.

For å få et godt bilde av et fartøys signatur og for å kunne si noe om fartøyet hastighet og retning er man avhengig av å ha flere sensorer, alle med tre elektrodepar og med kjent plassering i forhold til hverandre.

Sølv-sølvklorid har også en svakhet i forhold til at den er sensitiv for ionebevegelse, det vil si at bevegelse av ioner rundt sensoren, som ikke er generert av det elektriske feltet fra et fartøy vil redusere påliteligheten til sensorens avgitte målesignal.

3.3. Målestasjoner og systemer

Det finnes flere målestasjoner for elektrisk signatur rundt om i verden. Det vanligste er stasjoner der man måler signaturen for så å gjøre tiltak for at den skal bli svakest mulig.

Måling av elektrisk signatur kan også brukes for å oppnå flere forskjellige strategiske funksjoner. Det kan være passive tiltak som å bidra til overvåkning og sjøkontroll, eller som del i systemer for aktive tiltak som sjønektelse.

Moderne miner har komplekse deteksjonssystemer som er satt sammen av flere måleprinsipper. Minen kan ligge deaktivert og bli aktivert først av akustiske signaler. Lyd bærer godt under vann og er ikke en tilstrekkelig kilde for å bedømme avstand uten å benytte et ekkoprinsipp, som gjør man også røper posisjonen for hvor minen er plassert. Trykk eller måling av elektrisk potensiale vil derimot kunne fortelle minen noe om avstanden til fartøy i nærheten og trigges ut i fra det. Ved måling av UEP vil man kunne detektere et fartøy på en avstand som er 1,5 ganger fartøyetes egne lengde eller nærmere sensoren.

For å ha fullstendig sjøkontroll over et maritimt område er man avhengig av overvåkningsmetoder som dekker både overflateaktivitet og undersjøisk aktivitet. Måling av elektrisk signatur vil kun fungere under vann da man er avhengig av at målingene foretas i saltvann. Og det elektriske feltet brer seg ikke ut i luften, men har en fullstendig refleksjon i vannflaten. Måling av den elektriske signaturen alene er heller ikke tilstrekkelig for å få fullstendig sjøkontroll under overflaten, men med et system av flere deteksjonsmetoder benyttet sammen vil måling av elektrisk signatur være ett godt bidrag til å lage et fullstendig bilde av all den undersjøiske aktiviteten. For å kunne si noe om et fartøys fart og retning er man også avhengig av flere UEP-sensorer som er plassert ut over ett areal som dekker en viss bredde og lengde. Dette er fordi man ved å sammenligne målingene til flere sensorer på forskjellige steder, i forhold til tid, vil kunne danne et bilde av fartøys bevegelse i tillegg til den elektriske signaturen.

Hvis man har flere UEP-sensorer plassert i en kjent formasjon på havbunnen i tillegg til et deteksjonsmiddel for å bestemme fartøyetes avstand fra havbunnen og opp til fartøyet, som for eksempel en aktiv sonar kan man med større sikkerhet si noe om hva slags type og kanskje også hvilket fartøy man detekterer. Siden den elektrisk feltstyrken til et fartøy er omvendt proporsjonal med avstanden til fartøyet opphøyd i tredje ved

$$E \approx \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qS}{r^3},$$

vil man få et langt mer pålitelig overvåkningssystem ved å også kontinuerlig måle avstanden, r , opp til fartøyet og ta det med i beregningen av signaturen. Spesielt ovenfor ubåter som raskt kan endre dybden de går på og man da vil få et annerledes signaturbilde i forhold til en som beveger seg rett frem på en gitt dybde.

3.4. Digitale simuleringer og modeller

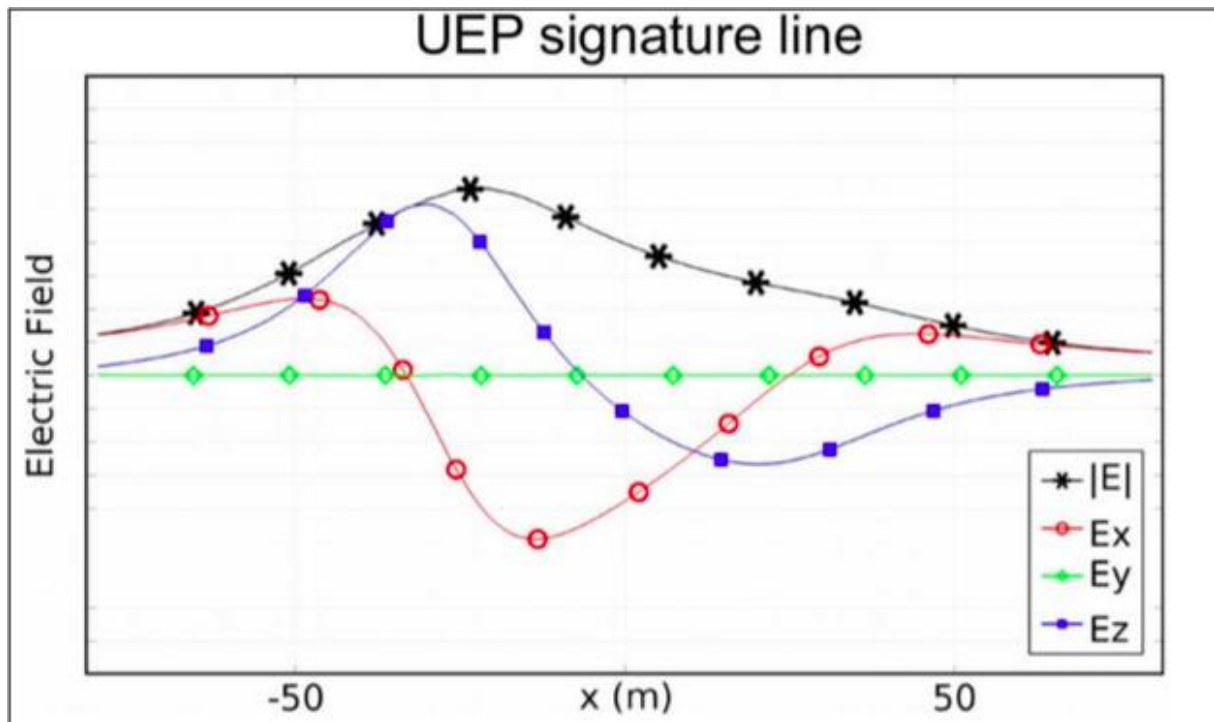
Som nevnt i delkapittel "1.2 bakgrunn" er signaturen til et fartøy bestemt ut i fra flere komplekse faktorer. Elektrokjemien og elektrofysikken har formler som vi kan bruke til å beregne elektriske felt ut i fra disse faktorene. For å kunne si noe om hvordan og i hvor stor grad disse påvirker og endrer signaturen til et fartøy er digital simulering et nyttig verktøy. Da kan man bruke formlene fra elektrokjemien og elektrofysikken til å lage digitale modeller og grafer som enkelt tydeliggjør faktorenes påvirkningsgrad.

Feltet rundt ubåten vil være som feltet til en dipol der propellen utgjør den positive polen og skroget den negative. Dette er på grunn av de galvaniske egenskapene til de faste stoffene som båten er bygget av. Skroget er laget av stål og propellen av en type cupronikkel. Stål ligger lenger mot uedle metaller på den galvaniske spenningsrekken enn cupronikkelet, og disse potensialforskjellene gjør at du får en elektronstrøm gjennom metallkonstruksjonen fra propellen til skroget og en ionestrøm fra skroget til propellen. Ionestrømmen er den som gjør at vi kan måle det elektriske feltet. Dette feltet vil riktignok være noe forskjellig fra dipolfeltene som er beskrevet i lærebøkene på grunn av fasongen på fartøyet. Isteden for to like store kuleformede motpoler er det stor forskjell på størrelsen og formen til propellen og skroget, og korrosjonsstrømmene vil strømme ut i fra hele overflaten til skroget og bak til propellen.

Fra fysikken vet vi at det er viktig med gode tegninger for å kunne visualisere eksemplene våre og hvordan fysikkens lover fungerer i praksis. Der er dataprogrammer et viktig verktøy for å hjelpe oss å skape et prinsipielt bilde av hvordan feltet rundt et fartøy vil se ut. Ved hjelp av coulombs lov, data for propellen og skrogets konstruksjon med tanke på størrelse, fasong og potensiale (ladning) vil man kunne lage digitale modeller som visualiserer feltet rundt et fartøy.

Under er et eksempel på en digital simulering av den elektriske signaturen til en ubåt som beveger seg over en rett, 100 m lang, linje med sensorer i fartsretning. E_z måler feltstyrken i dybderetning og E_x i fartsretning. Vi ser at $E_y = 0$ langs hele

plottet. Dette er fordi det er akse som krysser båtens fartsretning. Den vil alltid være null når det ikke er noen potensialforskjell mellom styrbord og babord.



Figur 3-4 Plottet av feltstyrken fra en digital simulert ubåt som beveger seg over en sensor fra minus til pluss i x-retning. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

Digitale simuleringer gir oss allikevel ikke fasiten på hvordan det elektriske feltet til et fartøy vil se ut i en reell måling. Det er fordi nøyaktigheten av påvirkningsfaktorene ikke vil være presis, faktorer som vannets konduktivitet vil variere over tid og sensorens måling og signal vil påvirkes av støy.

4. Påvirkningsfaktorer

Det er forskjellige faktorer som kan påvirke den elektriske signaturen til et fartøy. Siden denne oppgave handler om endringene i signaturen ut i fra hvor fartøyet måles skal vi se på miljømessige faktorer som kan virke inn på resultatet.

4.1. Polarisering

Ved eksponering for sjøvann vil det oppstå polariseringsstrømmer fra fartøyet. Dette er strømmer som oppstår på grunn av ladningsforskjellen i fartøyets propell og skrog. En grunnleggende lov innen elektromagnetisme er at alle komponenter med forskjellig potensiale ønsker å oppnå elektrisk likevekt. Med et ledende element, som propellens aksling, mellom seg vil det skape en elektronstrøm for å lade ut potensialet. Disse strømmene kaller vi polariseringsstrømmer. Polariseringsstrømmene vil stabilisere seg over tid, men blir ikke borte. Strømmene vil også endre seg ut i fra faktorer som

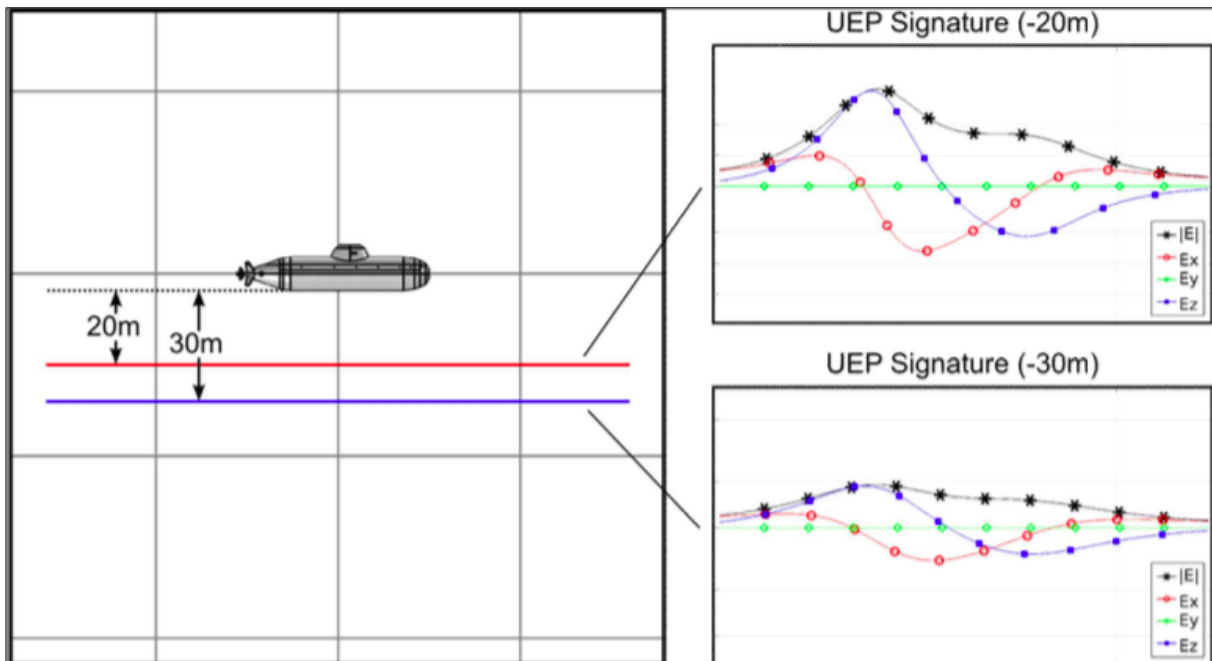
- fartøyets korrosjonsforebygging
- Vannets pH-verdi
- vannets ledningsevne
- biologiske organismer som vokser på fartøyet

(Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

4.2. Måledybde

Her vil det også være spesielt interessant å se på ubåten som eksempel, på grunn av deres evne til selv å endre avstanden fra seg og ned til sensoren. Gitt at de vet hvor sensoren befinner seg.

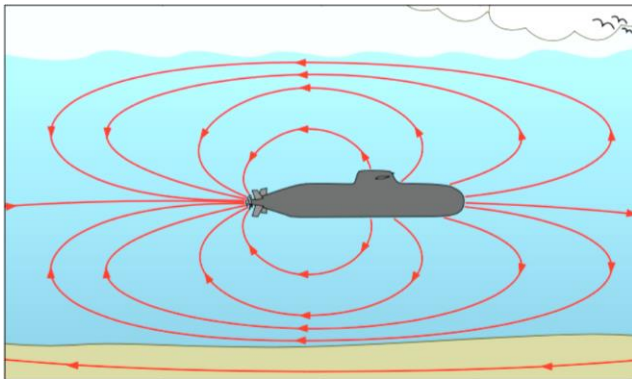
Fartøy, som ubåter, er komplekst konstruert med tanke på utforming og sammensetting av forskjellige deler av forskjellige grunnstoffer. Når vi ser på hvilken betydning avstanden mellom fartøyet og målesensoren utgjør på den elektriske signaturen må vi forenkle feltet rundt fartøyet til feltet omkring en kjente fysisk modell.



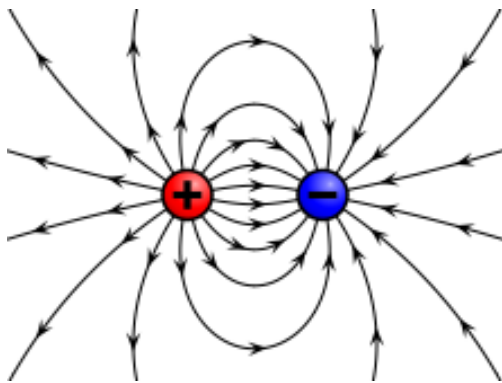
Figur 4-1 Viser en digital simulering av den elektriske signaturen (UEP Signature) til samme fartøy målt ved 20m og 30m avstand mellom sensor og fartøy. Resultatet viser at signaturen blir langt svakere når man øker avstanden. Fra (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

4.2.1. Avstandens betydning fra en dipol

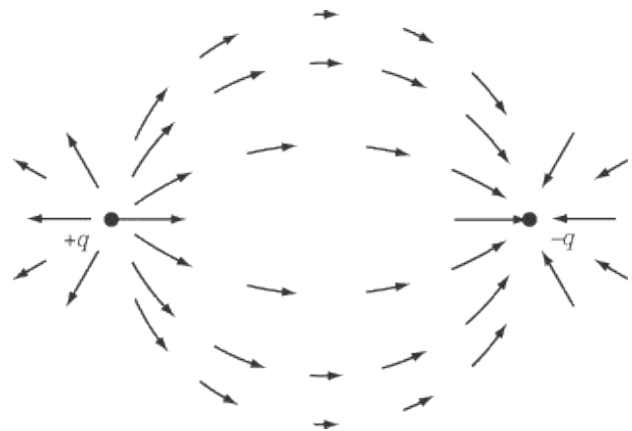
Som nevnt tidligere er det elektriske feltet rundt et fartøy meget komplekst, men i dette eksempelet skal vi forenkle en ubåt til en elektrisk dipol. Der den har overvekt med positiv ladning i propellen og negativ ladning i skroget. Den fysiske størrelsen, eller volumet, av skroget vil være mye større enn propellen. Dette ser vi vekk i fra i dette eksempelet, fordi det er avstanden fra dipolen og ned til sensoren som er det vi nå skal fokusere på og ikke den spesifikke fasongen på feltet.



Figur 4-2 Hvordan ionestrømmene som beveger seg fra skroget til propellen på grunn av dipolfeltet. Fra (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)



Figur 4.3 Dipol med felt visualisert med feltlinjer (fra: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ed/VFpt_charges_plus_minus_thumb.svg/220px-VFpt_charges_plus_minus_thumb.png)



Figur 4.4 Dipol med felt visualisert med vektorfelt (fra: <http://img.sparknotes.com/content/testprep/bookimgs/sat2/physics/0005/>)

Summen av feltet til en dipol er null når avstanden mellom målepunktet og dipolen er mye større enn avstanden mellom ladningene, det er fordi summen av den totale ladningen er null. Altså når avstanden fra fartøy til sensoren blir mye større enn fartøyets lengde får vi:

$$\lim_{s \ll r} \vec{E}(s, r) = 0$$

Formelen for feltet i det kryssende planet til dipolen er

$$E \approx \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qs}{r^3}$$

Der s er lengden av en rett linje fra senter av den negative ladningen til senter av den positive, og r er avstanden fra midten av linjen s til målepunktet. Det vil si at feltet avtar svært raskt med økende avstand r , men at fartøyets lengde og elektrisk potensiale har også noe å si i forhold til avstanden til sensoren. Den målte feltstyrken, der det kun er måleavstanden som forandres, vil endre seg til

$$E_{ny} = E_{f\theta r} \frac{r_{f\theta r}^3}{r_{ny}^3}$$

4.3. Vannets konduktivitet

For å gjøre det enkelt sammenligner vi fartøyet som flyter i havet med en spenningskilde med en leder mellom positiv og negativ pol. Havet rundt fartøyet vil utgjøre samme funksjon som lederen mellom de to polene, muliggjøre en elektrisk strøm, som gjør at vi kan måle et elektrisk felt. Dog i dette tilfellet er det ikke en elektronstrøm, men en ionestrøm. Strømmen mellom polene er avhengig av lederens eller elektrolyttens konduktivitet, σ . Fordi feltstyrken E , er bestemt av strømtettheten (strømmen gjennom et areal, I/A) og konduktiviteten

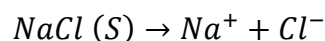
$$E = \frac{I}{\sigma A}.$$

Konduktiviteten i et metall bestemmes ut fra metallens elektrontetthet og temperatur. Der formelen for σ er utledet fra strømtettheten J .

$$J = n_e e v_d = n_e e \frac{F}{m} \tau = n_e e a \tau = n_e e \left(\frac{eE}{m} \tau \right) = \frac{n_e e^2 \tau}{m} E = \sigma E$$

Dette er i noen grad overførbart til konduktiviteten til et elektrolytt, men ikke direkte. Fordi selv det letteste ion er mange ganger tyngre enn et elektron. Og der elektronets hastighet blir hemmet av kolliderende elektroner i metallens elektronsky vil ionene måtte tvinges forbi andre ioner, atomer og molekyler. En direkte motsetning er at metaller har lav konduktivitet ved høye temperaturer, mens væsker har økt konduktivitet ved høye temperaturer, på grunn av økt atom- og molekylbevegelse. Væskers ledningsevne påvirkes også av viskositet. Lav viskositet gir høy ledningsevne, fordi da er væsken mer tyntflytende og det blir lettere for ionene å flytte seg. (Gyldendal, Danske leksikon, 2009)

I et elektrolytt forekommer det både positive og negative ioner. Sjøvann består i gjennomsnitt av 3,5% salter, der ca 77,8% av dette er koksalt (NaCl). Når saltet løses i vann spres natrium- og kloridionene i reaksjonen



(wikipedia.org, 2016)

Elektrolyttens ledningsevne er summen av de enkelte iontypenes ledningsevne. Den lille delen av den totale ledningsevnen, som en ionetype bidrar med, kalles iontypens overføringstall. Hver iontypes ledningsevne er proporsjonal med konsentrasjonen av iontypen og med ionbevegligheten. (Gyldendal, Danske leksikon, 2009) Dette er sammenlignbart med:

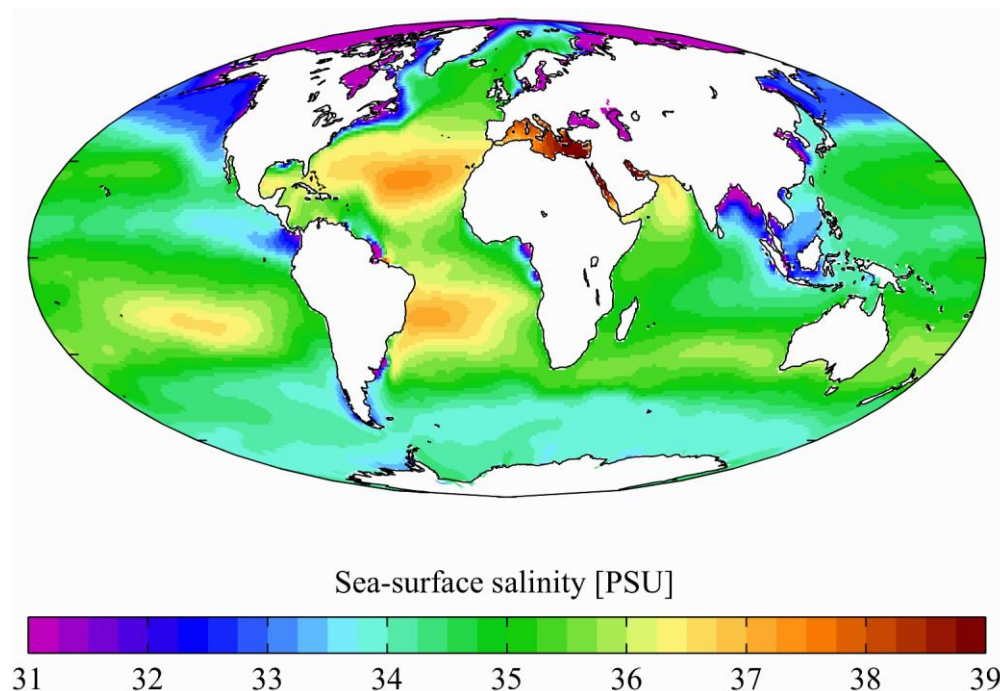
$$J = n_e e \left(\frac{eE}{m} \tau \right)$$

der eE er kraften som virker på ionene, $n_e e$ er antall ioner n_e ganget med ladningen til iontypen, m ionenes masse og τ molekylbeveglighetens gjennomsnittstid (som i $t = \frac{v_f - v_i}{a}$).

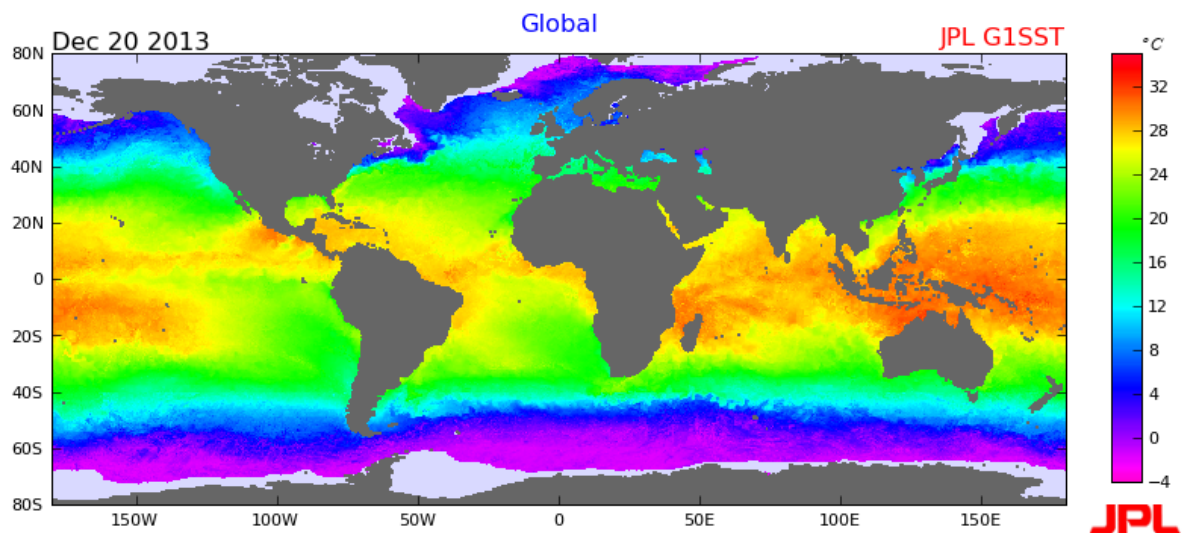
Slik ser vi at havets konduktivitet er avhengig av den kjemiske sammensetningen, spesielt saltinnhold, og temperatur.

Det formelen ikke sier noe direkte om er når havet allerede er i bevegelse, som ved bølger eller undersjøiske havstrømmer. Dette vil være interessant å undersøke i skalerte forsøk.

Havets saltinnhold, salinitet, er svært varierende rundt om i verden. Under er verdenskart som ved hjelp av farger viser den varierende saliniteten og temperatur. Saliniteten vil variere ut i fra salter i havbunnen eller tilløp av ferskvann som ved polene eller utløp fra elver. Temperaturen varierer ut i fra hvor man befinner seg i forhold til ekvator, som er varmest på grunn av avstanden til sola, eller de polare områdene som er kaldest.



Figur 4-5 Variasjoner i saliniteten vist gjennom en fargeskala på verdenskartet. Merk de store variasjonene mellom Middelhavet og det baltiske hav. (fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Sjøvann>)

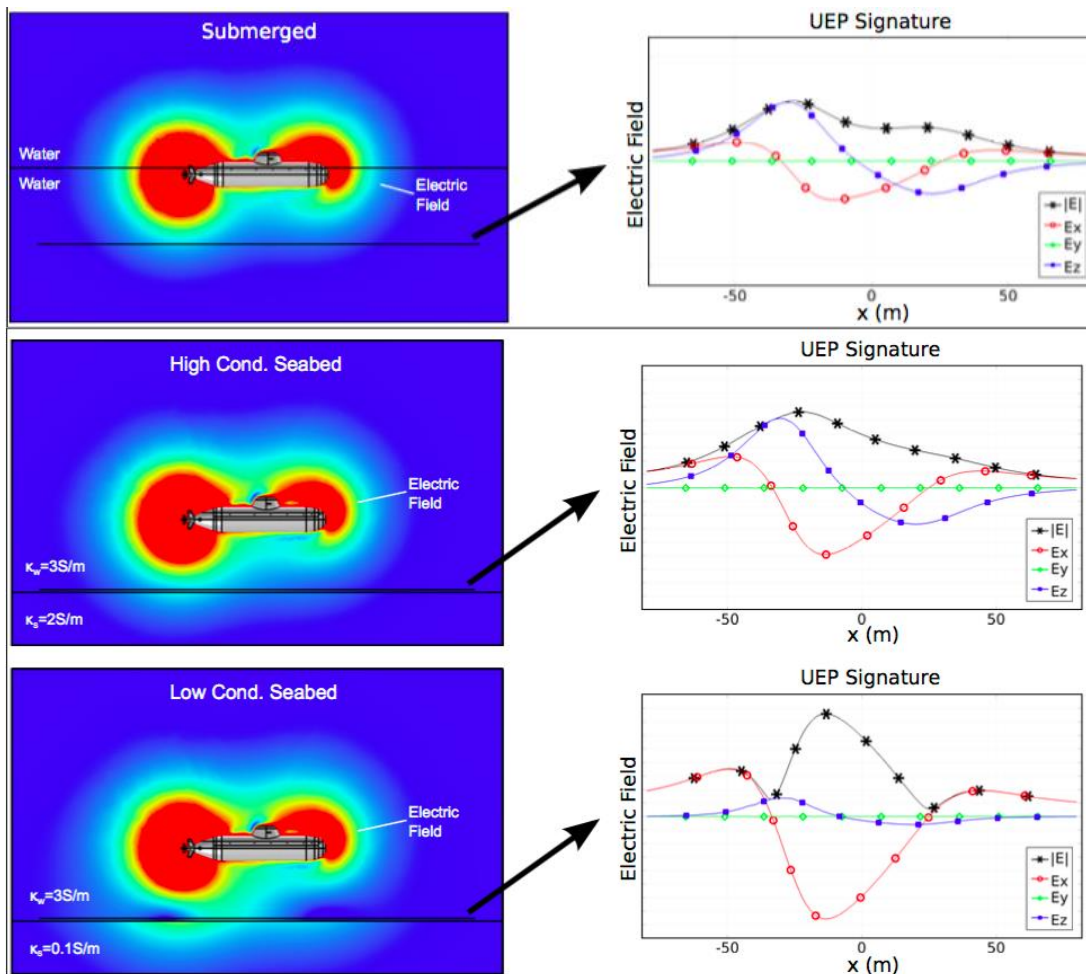


Figur 4-6 Her er et verdenskart med forskjellige havtemperaturer vist gjennom en fargeskala. Bildet viser oss at temperaturdifferansen kan være over 30°C. (fra: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/40/SST_20131220_blended_Global.png)

Temperaturen varierer også i stor grad ettersom hvor du befinner deg på kloden. Som sett på kartet over er temperaturforskjellene så store som opp mot 36° C.

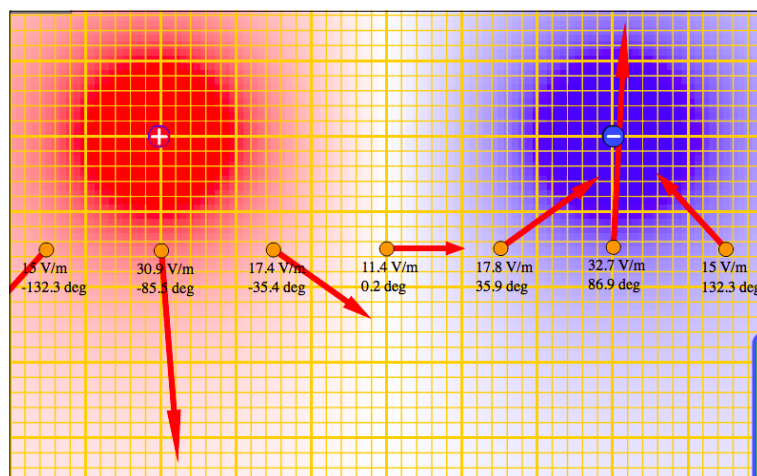
4.4. Havbunnens konduktivitet

Konduktivitet er et stoffs evne til å lede strøm. Havbunnen kan ha varierende konduktivitet ettersom hva den består av og hvor mye sjøvann den inneholder. Dette er en viktig faktor i militære sammenhenger siden miner veldig ofte ligger nære eller begravd i havbunnen. Når et fartøy beveger seg nærme en havbunn med annen konduktivitet enn sjøvannet vil det endre formen på det elektriske feltet. Endringene er større jo nærmere du kommer havbunnen, der sensorene er plassert.



Figur 4-7 Signaturen fra en ubåt som beveger seg i sjøvann med konduktivitet (her $K_w = \sigma_w = 3 \text{ S/m}$). Øverst går den i fritt vann, i midten nær en sjøbunn med litt lavere konduktivitet enn sjøvannet (her $K_s = \sigma_s = 2 \text{ S/m}$). Og nederst går den over en sjøbunn med meget lav konduktivitet ($K_s = \sigma_s = 0.1 \text{ S/m}$). Vi ser at de varierende forholdene har tydelig innvirkning på signaturen. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

For å forstå hvordan feltet påvirkes når fartøyet kommer nære en sterkt eller svakt ledende havbunn kan det være lurt å se på noen eksempler med grenseverdier. Både der en elektrisk dipol ligger nære en havbunn med uendelig høy konduktivitet, $\sigma=\infty$. Og et annet eksempel med fullstendig isolasjon, altså ingen konduktivitet, $\sigma=0$.

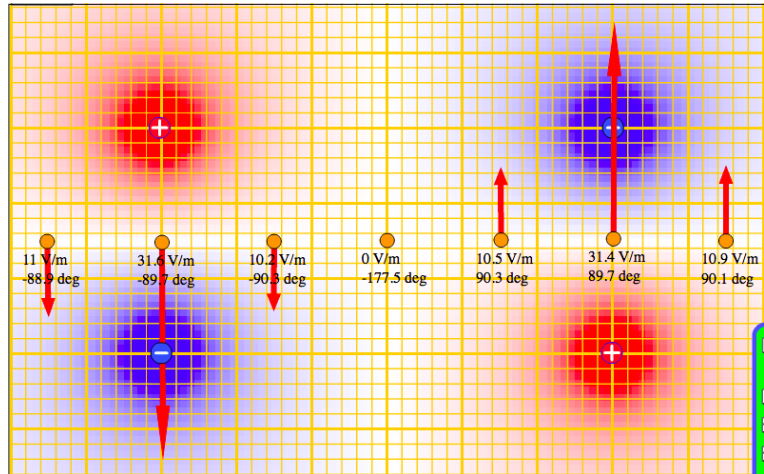


Figur 4.8 Forenklingen av ubåten og det elektriske feltet den genererer. Vi ser den positive og negative polen som den røde og blå sfæren. De oransje kulene blir som sensorene plassert på en linje under ubåten plassert helt på havbunnen. Hver sensor viser med en vektor styrken og retningen på feltet i sitt målepunkt. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)

4.4.1. Havbunn med høyere konduktivitet enn sjøvannet

Vi forenkler ubåten til en elektrisk dipol i et homogent elektrolytt, her sjøvann, som ligger parallelt med og nære en havbunn bestående av et superledende materiale som vil si $\sigma=\infty$. Kraften fra det elektriske dipolfeltet som virker på havbunnen gjør at elektronskyen i havbunnen flytter seg mot den positive enden av dipolen, mens de positive protonene står igjen alene under den negative polen. Det skaper et identisk, men motsatt rettet elektrisk dipolfelt i havbunnen. Altså en kvadrupol, der avstanden mellom den opprinnelige dipolen og havbunnen blir lik

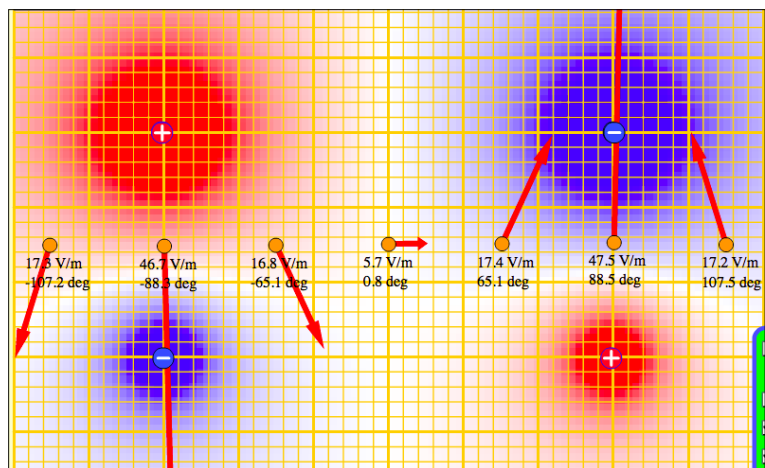
avstanden fra den induerte dipolen inne i bunnen og opp til sjøvannet. Det vil si at det elektriske dipolfeltet er symmetrisk over og under havbunnen. Alle feltlinjene vil da stå vinkelrett på symmetriaksene, havbunnen og en tenkt linje som går midt mellom motpolene på den opprinnelige og induerte dipolen. Derfor vil vi på havbunnen kun måle feltstyrken i én av tre dimensjoner, den som står vinkelrett på havbunnen.



Figur 4.9 Den opprinnelige og den induerte dipolen som er helt like, men har positiv og negativ pol i motsatte ender. Vi ser hvordan feltstyrken parallelt med havbunnen er blitt eliminert. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)

Dette er bare et teoretisk eksempel, med bruk av grenseverdien $\sigma=\infty$, men det er et godt utgangspunkt i forhold til å forstå hvordan en havbunn med høyere konduktivitet enn sjøvannet vil påvirke målingene av den elektriske signaturen fra en ubåt.

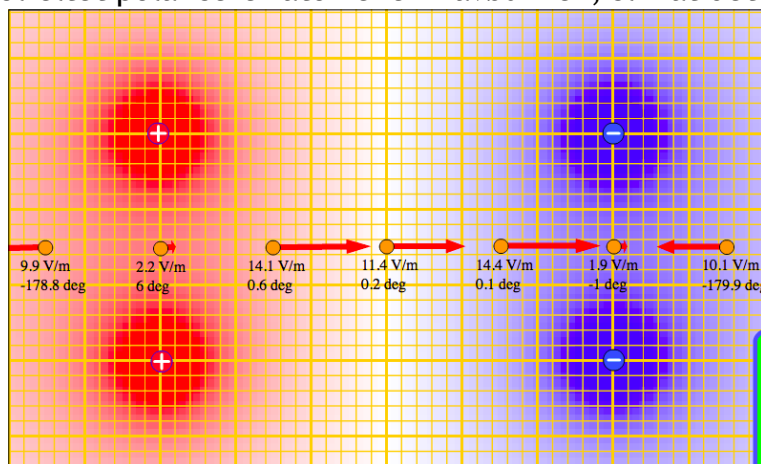
Feltet fra ubåten vil induere et lignende, men speilvendt, elektrisk felt fra havbunnen. Den induerte feltstyrken er ikke på langt nær så sterk som den fra fartøyet. Det induerte feltet gjør at en del av de feltlinjene som gikk mellom motpolene i ubåten vil gå til de induerte motpolene og vi får en forsterkning av feltet i dybdens retning og svekking langs med havbunnen.



Figur 4.10 Her er ladningen i ubåt-dipolen dobbelt så stor som den induerte. Ved å sammenligne denne figuren med figur 4.8, som har samme ladning, ser vi at feltet blir svakket langs med havbunnen og forsterket i dybderetning. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)

4.4.2. Havbunn med lavere konduktivitet enn sjøvannet

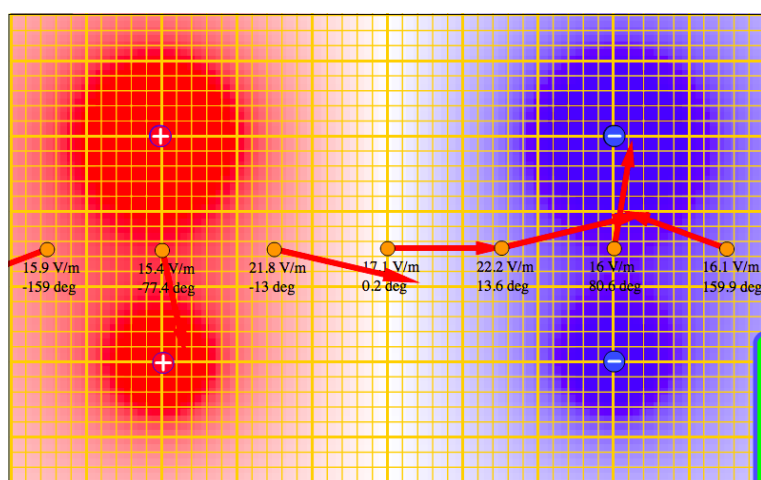
For å forstå virkningen av en havbunn som har lavere konduktivitet enn sjøvannet ser vi på et eksempel der havbunnen har uendelig lav konduktivitet, $\sigma=0$. Ubåten med sitt elektriske felt er forenklet til en elektrisk dipol med sitt felt. Dipolen flytter i sjøvann parallelt og nære en havbunn bestående av et dielektrikum som har uendelig lav konduktivitet. Dipolfeltet polariserer atomene i havbunnen, slik at det blir induert et motsatt virkende elektrisk dipolfelt fra havbunnen. Det induerte feltet i havbunnen er en nøyaktig speiling og symmetrisk med feltet fra den opprinnelige dipolen. Det vil gjøre at ingen feltlinjer kan gå ned i havbunnen, men de vil bøyes av og legge seg parallelt med den. Feltstyrken forsterkes langs med havbunnen og svekkes i dybdens retning.



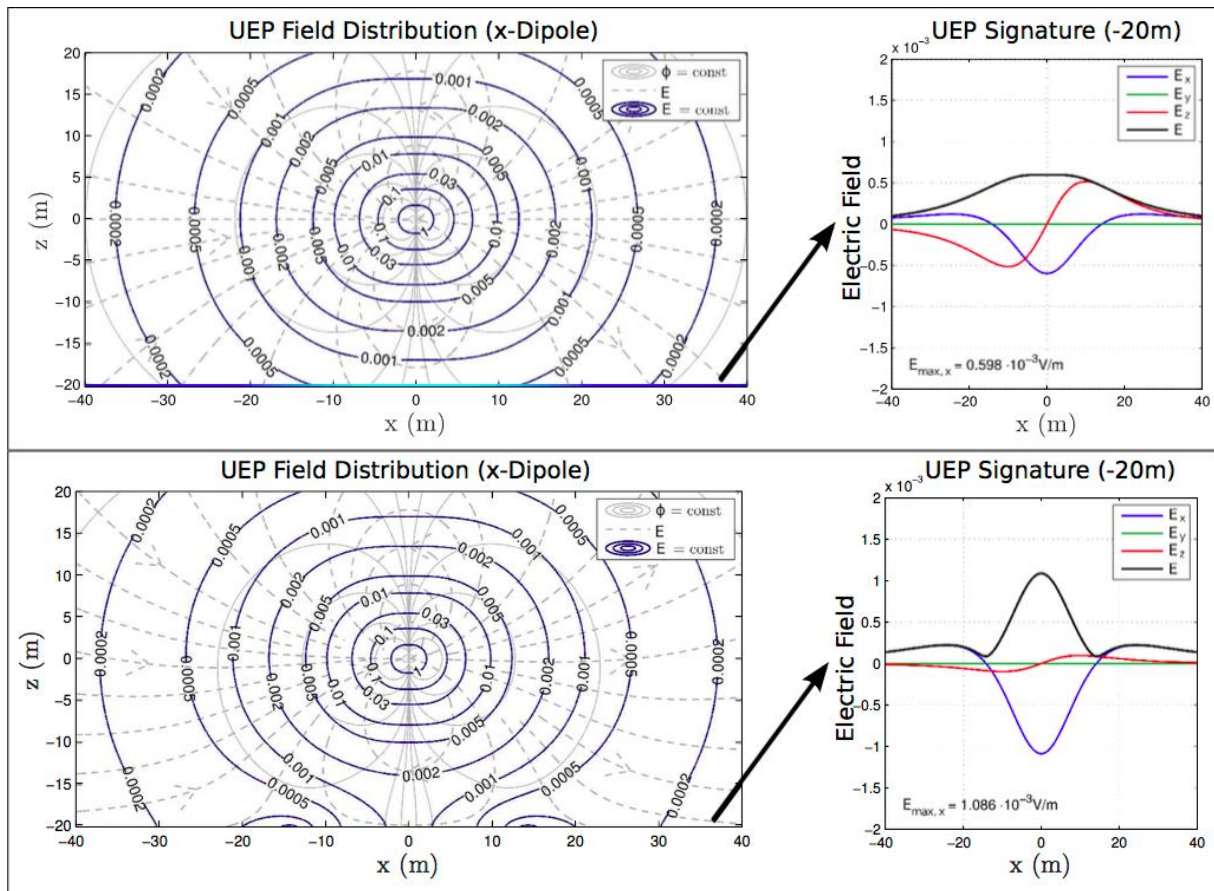
Figur 4.11 Med en havbunn som har uendelig lav konduktivitet vil dipolfeltet speiles i havbunnen og feltstyrken i dybdens retning elimineres helt. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)

Dette er et grenseverdi eksempel. Selv om konduktiviteten i havbunnen kan være lav vil den ikke være null, og det induerte feltet blir ikke like kraftig som feltet fra ubåten.

Dog, prinsippet for påvirkningen av feltet og hvordan feltlinjene bøyes er det samme som påvirkningen en havbunn med lavere konduktivitet enn sjøvannet har på den elektriske signaturen til et fartøy. Når en ubåt går nærmere en havbunn med lav konduktivitet vil feltet svekkes i dybdens retning, men forsterkes langs med havbunnen.



Figur 4.12 Sammenlignet med figur 4.8 og 4.10, så ser vi hvordan en feltet påvirkes av en havbunn med lav konduktivitet. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)

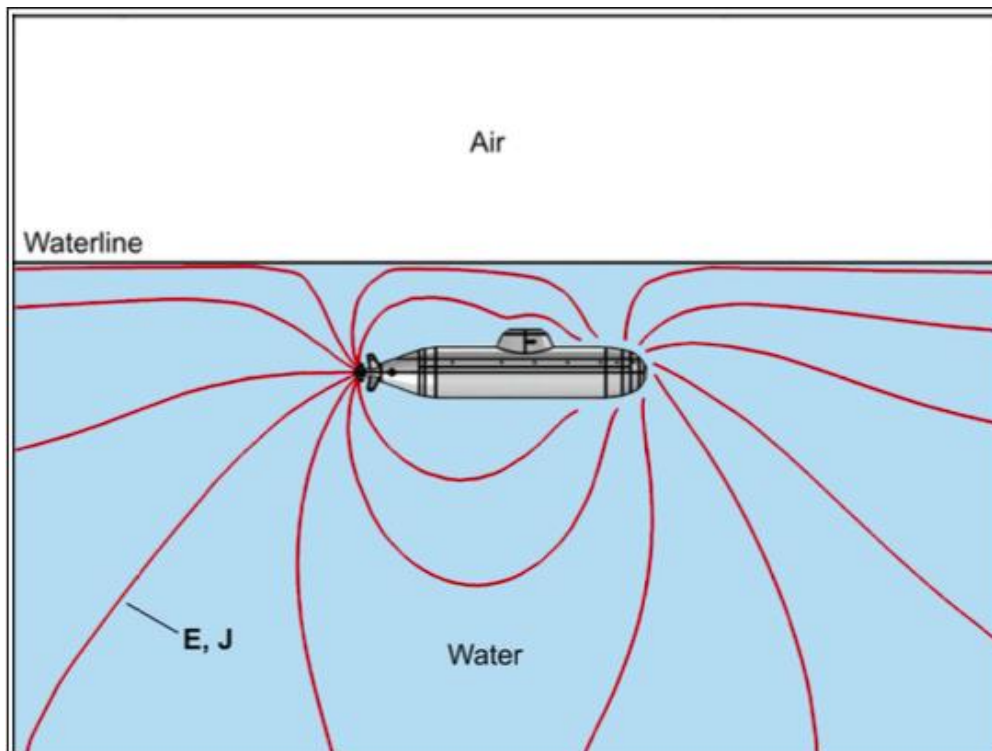


Figur 4-13 Viser det samme prinsippet som figur 4.8 og 4.12. Øverst har er fra en ubåt i fritt vann, nederst er samme båten nære en havbunn med lav konduktivitet. Her er det brukt feltlinjer, ekvipotensiallinjer og en graf til høyre. Legg merke til hvordan de stiplede linjene blir flate ved $z = -20$ i det nederste bilde, i forhold til det øverste der de er symmetriske ved over og under $z = 0$. g Vi ser også forskjellen på den totale signaturen som er satt sammen av feltstyrken i dybde og fartsretning. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

4.5. Påvirkning av fartøyets dybde

En dipol i et helt homogent element vil ha en helt symmetrisk utbredelse av feltlinjer på alle kanter rundt en akse som går gjennom senter av begge polene. Fritt vannsmodellen har også relativt lik fordeling av feltlinjer over og under fartøyet, men noe forskjell vil det være på grunn av formen på skroget og propellen og at lagningstettheten ikke er helt jevn.

Feltlinjene vil ikke bre seg fra undersiden av vannflaten og opp i luften, på samme måte som at polariseringsstrømmene ikke vil gå gjennom luften, fordi den har alt for lav ledningsevne. Luften fungerer som et dielektrikum som polariseres og gir tilnærmet total refleksjon på grunn av polariseringsfeltet. Da vil feltlinjene som går opp mot vannoverflaten bøyes av og gå parallelt med den. (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)



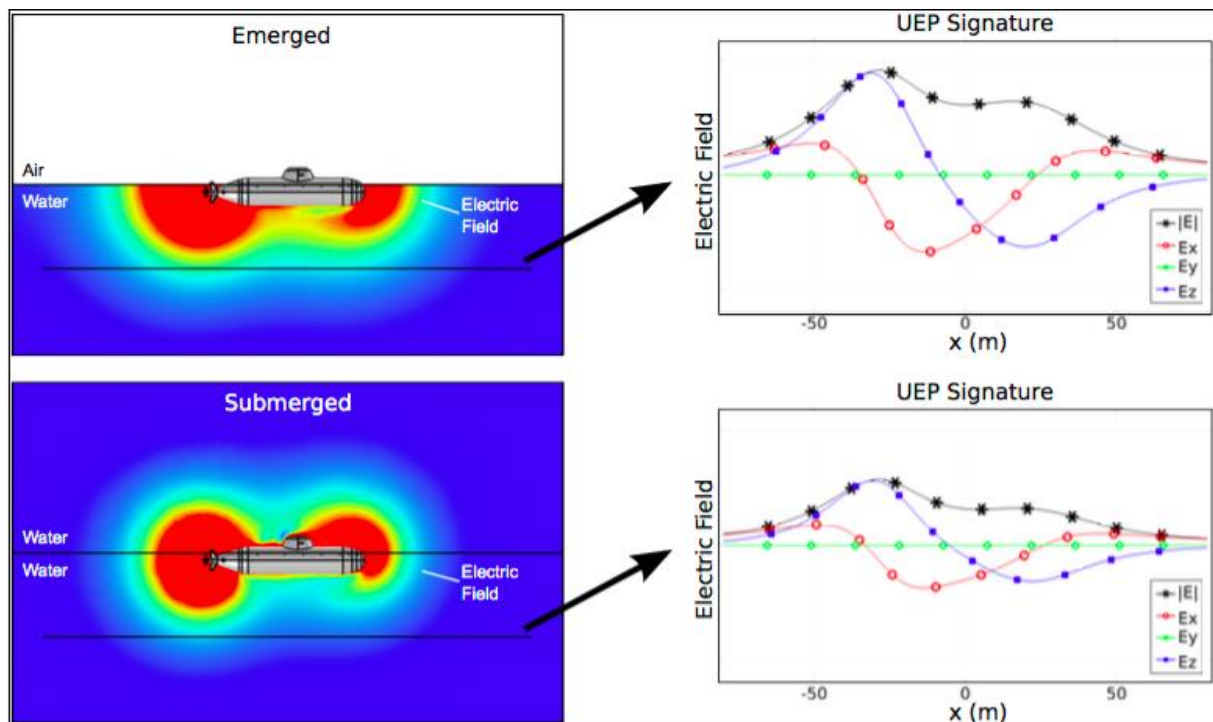
Figur 4-14 Viser hvordan feltlinjene bøyes av og legger seg parallelt med vannflaten. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

Når en ubåt beveger seg nærmere overflaten vil arealet som feltlinjene går gjennom bli mindre. Gauss lov forteller oss at netto elektrisk fluks vil være konstant gjennom ett hvert areal som omgir ladningene, uavhengig av arealets fasong eller størrelse.

$$\phi_e = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

(Knight, 2014)

Den elektriske fluksen ϕ_e , q som er ladningen og ϵ_0 som er permittiviteten vil være konstante. Og derfor vil feltstyrken \vec{E} øke når \vec{A} , som er størrelsen på arealet som står vinkelrett på feltet, avtar.



Figur 4-15 Når en ubåt går oppdykket vil ikke lenger polariseringsstrømmene som gikk i vannet over fartøyet måtte finne en ny vei og går på undersiden av fartøyet. Derfor blir feltet under fartøyet kraftig forsterket. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)

Dette vil i en mye større grad påvirke ubåter enn overflatefartøy, siden de kan være helt eller delvis neddykket. Om de går i oppdykket tilstand eller nære overflaten har de et sterkere felt under seg, der sensorene ligger.

5. Drøfting

5.1. Målenøyaktighet

For å bruke den elektriske signaturen til kjenning er man nødt til å alt ha informasjon om fartøyets signatur. Etter hva vi har sett i kapittel 4, er vi også avhengig av at signaturen er målt med lik konduktivitet i vannet og sjøbunnen under målingene, avstanden mellom fartøyet og sensorene må være den samme og fartøyet skal ha de samme polariseringsstrømmene som ved tidligere målinger. For å kunne bekrefte at det er samme fartøyet som er målt tidligere.

Måling av elektrisk signatur i sjøen kan ikke sies å være spesielt nøyaktig. Den største påvirkningsfaktoren ser ut til å være avstanden mellom fartøyet og sensoren. Små variasjoner i denne avstanden endrer kraftig styrken på det elektriske feltet. Det ser allikevel ut til at dette skal kunne tas høyde for så lenge man kjenner til endringene og sammenligner målingene i forhold til dette. Ved å bruke deteksjon av elektrisk signatur i grunnere farvann vil man få sikrere resultater, siden dette begrenser avstanden en ubåt kan skape mellom seg å sensoren.

Vannets konduktivitet er en enkel faktor å monitorere, og skal også være lett å ta høyde for i en omregning av hvordan feltstyrken rundt fartøyet vil påvirkes. Det være seg at konduktiviteten i måleområdene er homogen.

Det er vanskelig å si hvordan signaturen vil endre seg i forhold til konduktiviteten i havbunnen. Det er krevende å skulle måle eller beregne havbunnens konduktivitet. Og om man i tilfelle har disse dataene er det meget vanskelig å si hvordan den vil deformere den målte signaturen.

For å kunne sammenligne signaturen målt av ett fartøy på forskjellige målestasjoner er man avhengig av å kjenne til hele målesystemet som er benyttet på de forskjellige stasjonene, og ha kunnskaper om hvordan forskjeller i systemene kan gi forskjellige resultater. Det være seg sensor- eller elektrodetype, fysisk plassering, programmering, kobling og kabelstrek og all elektronikk som er del av systemet.

Hvordan et fartøy selv kan være i stand til å endre sin egen elektriske signatur er et spennende konsept. Ut i fra det som kommer frem i denne oppgaven kan det se ut til at med kjennskap til hvor sensorene er plassert og hvilke faktorer som påvirker signaturen at man kan manipulere sensorens måling ved listig manøvrering, formasjonsseiling eller utplassering av elektrisk ladde ”lokkeduer”.

5.2. Militære bruksområder

Måling av elektrisk signatur kan brukes i flere militære sammenhenger. hovedsakelig som en deteksjonsmetode for hvor vidt det er undersjøisk skipsaktivitet i ett område.

Som vi har sett i denne oppgaven er avstanden mellom sensor og fartøyet meget viktig i forhold til den målte feltstyrken. Dette gjør at elektrisk signatur kan være et godt hjelpemiddel til å si hvorvidt det beveger seg fartøy i nærheten av en sensor eller ikke, men man er avhengig av at avstanden mellom fartøyet og sensoren er liten sammenlignet med fartøyets lengde. Når avstanden blir større enn 1,5 ganger et fartøys lengde vil man ikke kunne detektere et fartøy ved hjelp av måling av ionestrøm. Fordi potensialforskjellen blir så lav på avstander større enn dette, slik at det er usikkert hvorvidt man måler et fartøys signatur eller bare målestøy.

Det er tenkelig at et overvåkning- eller deteksjonssystem som bruker andre deteksjonsmetoder kombinert med deteksjon av elektrisk felt vil kunne gi langt mer pålitelige målinger. Den akustiske signaturen er også unikt for alle fartøy, men lett å forfalske ved bruk av høyttalere. Ved å kombinere disse to signaturene kan med stor sikkerhet fastslå hvilket fartøy som er i nærheten, siden det er vanskelig å manipulere den elektriske signaturen. All gjenkjenning gjennom signatur krever riktignok at man kjenner fartøyets signatur fra tidligere.

Avstandsmåling sammen med elektrisk signatur kan også være en god kombinasjon, der man bruker avstandsmåling til å detektere hvor vidt det er noe i vannet og den elektriske signaturen til å avgjøre om det er et fartøy. Avstanden er også en av faktorene som forteller hvor sterk signatur du kan forvente i målepunktet, og gjør at den elektriske signaturen sammen med en avstandsmåling vil gi et sikrere måleresultat.

Det vil ikke være gunstig å bruke måling av elektrisk signatur til undersjøisk kjenningstjeneste alene. Denne oppgaven viser at det er så mange miljømessige varierende faktorer som fører til store variasjoner i den målte signaturen, derfor vil ikke målsikkerheten være god nok til å bruke til kjenningstjeneste alene.

Måling av elektrisk signatur kan være et element av at et større system som kombinerer flere måleprinsipper sammen og bruker de forskjellige måledataene til å analysere resultatene i forhold til hverandre. Et slikt system ville kunne vært verdifullt for et land som Norge med lang kystlinje og mange fjorder. I inngangen på en fjord er det ofte en fjordterskel, som er et grunnere parti. Ved å installere et overvåkningssystem der vil man kunne ha oversikt over skipstrafikk både under og over vann. Samt at det grunnere partiet vil gi målingene større pålitelig og tilgjengeligheten av systemet blir bedre enn på dypt vann. Et slikt system vil kunne bidra til full sjøkontroll under vann og på overflaten. Det vil være mulig å gjøre nøyaktige nok målinger til å bruke systemet til kjenningstjeneste og dermed også kartlegging av operasjonsmønsteret til fartøyene som går inn og ut av fjordene.

6. Konklusjon

Elektrisk signatur er det elektriske feltet et fartøy genererer rundt seg på grunn av de galvaniske egenskapene til metallene det er bygget av. Et elektrisk felt kan ikke måles, på lik linje med et gravitasjonsfelt, men man kan måle virkningen det gjør på omgivelsene. Denne oppgave ser på hvordan man måler elektrisk signatur ved bruk av sølv-sølvkloridelektroder som er følsomme ovenfor ionestrømmen i havet.

De vanligste sjømilitære bruksområdene for måling av elektrisk signatur i dag er i detoneringsmekanismen til sjø-miner, og målestasjoner der man måler den elektriske signaturen til et fartøy og gjør tiltak for å redusere den.

Digital simulering er et nyttig verktøy i forskning og forsøk på den elektriske signaturen, for å spare tid og kostnader det ved å gjøre reelle eksperimenter. Og det er en god måte å visualisere eksempler. Det gir ikke en god nok nøyaktighet til å kunne fastslå den elektriske signaturen til et fartøy, da den påvirkes i så stor grad av miljømessige faktorer.

Den elektriske signaturen til et fartøy vil påvirkes av miljømessige faktorer som polarisering, måledybde, fartøyets dyptgående, vannets og havbunnens konduktivitet. Noen av disse miljømessige faktorene er mulig å forhåndsberegne hvordan vil påvirke den elektriske signaturen under forskjellige målinger. Som vannets konduktivitet eller fartøyets avstand til sensoren.

Resultatet av de varierende miljømessige faktorene påvirker signaturen i så stor grad at det ikke vil være hensiktsmessig å bruke måling av elektrisk signatur alene til kjenningstjeneste av fartøy. Det vil derimot kunne være et brukbart og nyttig element i ett større målesystem som benytter flere måledata sammen. Og elektriske signaturen er en god indikator på hvor vidt det er et fartøy i nærheten av en sensor.

7. Kilder

7.1. Kilder

- Dubson, M. (u.d.). *Charges and Fields*. (University of Colorado Boulder) Hentet fra PHET Interactive Simulations: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html .. 26, 27, 28
- Gyldendal, Danske leksikon. (2009, 1 31). *Ionledning*. Hentet fra Den Stroe Danske: http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Faste_stoffers_transportegenskaber/ionledning..... 22
- Knight, R. D. (2014). *Physics for Scientists and Engineers, A Strategic Approach with Modern Physics, Third Edition*. Pearson. 8, 31
- Schfer et al; Comparability of UEP Signatures Measured under Varying Environmental Conditions; Marleelec, 2013, Helmut-Schmidt-University, Hamburg Germany 8, 18, 19, 20, 25, 29, 30, 31
- wikipedia.org. (2016, 4 13). *Koksalt*. Hentet fra no.wikipedia.org: <https://no.wikipedia.org/wiki/Koksalt> 22
- wikipedia.org. (2016, feb 5). *Permittivitet*. Hentet fra Wikipedia.org: <https://no.wikipedia.org/wiki/Permittivitet> 5
- Yan, Z., Yuan-sheng, W., & Yu-su, S. (2009, 02). Impedance characteristics for solid Ag/AgCl electrode used as recording electric field generated by vessels in seawater. *Journal of Shanghai University (English Edition)*, 13(1), ss. 57-62. 8

7.2. Bibliografi

- Dubson, M. (u.d.). *Charges and Fields*. (University of Colorado Boulder) Hentet fra PHET Interactive Simulations: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html
- Gyldendal, Danske leksikon. (2009, 1 31). *Ionledning*. Hentet fra Den Stroe Danske: http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Faste_stoffers_transportegenskaber/ionledning
- Knight, R. D. (2014). *Physics for Scientists and Engineers, A Strategic Approach with Modern Physics, Third Edition*. Pearson.
- Schäfer, D., Doose, J., Pichlmaier, M., Rennings, A., & Erni, D. (2013). *Comparability of UEP Signatures Measured under Varying Environmental Conditions*. Hentet fra www.ate.uni-due.de: http://www.ate.uni-due.de/data/dokumente_2013/MARELEC_2013_Schaefer_Env.pdf
- wikipedia.org. (2016, apr 13). *Koksalt*. Hentet fra no.wikipedia.org: <https://no.wikipedia.org/wiki/Koksalt>
- wikipedia.org. (2016, feb 5). *Permittivitet*. Hentet fra Wikipedia.org: <https://no.wikipedia.org/wiki/Permittivitet>
- Yan, Z., Yuan-sheng, W., & Yu-su, S. (2009, 02). Impedance characteristics for solid Ag/AgCl electrode used as recording electric field generated by vessels in seawater. *Journal of Shanghai University (English Edition)*, 13(1), ss. 57-62.

7.3. Figurliste

- Figur 3-1 Viser polariseringsstrømmene og det elektriske feltet et fartøy genererer. (fra: http://www.davis-eng.com/images/asg_cp_field.png) 11
- Figur 3.2 Måleprinsippet ved bruk av elektroder. Spenningsforskjellen måles mellom de to elektrodene og avstanden mellom dem er kjent..... 13

Figur 3-3 En ubåt sett ovenfra, på vei over en sensor som måler felt i to akser...	14
Figur 3-4 Plottet av feltstyrken fra en digital simulert ubåt som beveger seg over en sensor fra minus til pluss i x-retning. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013).....	17
Figur 4-1 Viser en digital simulering av den elektriske signaturen (UEP Signature) til samme fartøy målt ved 20m og 30m avstand mellom sensor og fartøy. Resultatet viser at signaturen blir langt svakere når man øker avstanden. Fra (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)	19
Figur 4-2 Hvordan ionestrømmene som beveger seg fra skroget til propellen på grunn av dipolfeltet. Fra (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)	20
Figur 4.3 Dipol med felt visualisert med feltlinjer (fra: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ed/VFPt_charges_plus_minus_thumb.svg/220px-VFPt_charges_plus_minus_thumb.svg.png)....	20
Figur 4.4 Dipol med felt visualisert med vektorfelt (fra: http://img.sparknotes.com/content/testprep/bookings/sat2/physics/0005/)	20
Figur 4-5 Variasjoner i saliniteten vist gjennom en fargeskala på verdenskartet. Merk de store variasjonene mellom Middelhavet og det baltiske hav. (fra: https://no.wikipedia.org/wiki/Sjøvann).....	23
Figur 4-6 Her er et verdenskart med forskjellige havtemperaturer vist gjennom en fargeskala. Bildet viser oss at temperaturdifferansen kan være over 30°C. (fra: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/40/SST_20131220_blended_Global.png)	24
Figur 4-7 Signaturen fra en ubåt som beveger seg i sjøvann med konduktivitet (her $K_w = \sigma_w = 3 \text{ S/m}$). Øverst går den i fritt vann, i midten nær en sjøbunn med litt lavere konduktivitet enn sjøvannet (her $K_s = \sigma_s = 2 \text{ S/m}$). Og nederst går den over en sjøbunn med meget lav konduktivitet ($K_s = \sigma_s = 0.1 \text{ S/m}$). Vi ser at de varierende forholdene har tydelig innvirkning på signaturen. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)	25
Figur 4.8 Forenklingen av ubåten og det elektriske feltet den genererer. Vi ser den positive og negative polen som den røde og blå sfæren. De oransje kulene blir som sensorene plassert på en linje under ubåten plassert helt på havbunnen. Hver sensor viser med en vektor styrken og retningen på feltet i sitt målepunkt. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)	26
Figur 4.9 Den opprinnelige og den induserte dipolen som er helt like, men har positiv og negativ pol i motsatte ender. Vi ser hvordan Feltstyrken parallellt med havbunnen er blitt eliminert. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html).....	27
Figur 4.10 Her er ladningen i ubåt-dipolen dobbelt så stor som den induserte. Ved å sammenligne denne figuren med figur 4.8, som har samme ladning, ser vi at feltet blir svakket langs med havbunnen og forsterket i dybderetning. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html).....	27
Figur 4.11 Med en havbunn som har uendelig lav konduktivitet vil dipolfeltet speiles i havbunnen og feltstyrken i dybdens retning elimineres helt. (fra:	

http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html	28
Figur 4.12 Sammenlignet med figur 4.8 og 4.10, så ser vi hvordan en feltet påvirkes av en havbunn med lav konduktivitet. (fra: http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html).....	28
Figur 4-13 Viser det samme prinsippet som figur 4.8 og 4.12. Øverst har er fra en ubåt i fritt vann, nederst er samme båten nære en havbunn med lav konduktivitet. Her er det brukt feltlinjer, ekvipotensiallinjer og en graf til høyre. Legg merke til hvordan de stiplede linjene blir flate ved $z = -20$ i det nederste bilde, i forhold til det øverste der de er symmetriske ved over og under $z = 0$. g Vi ser også forskjellen på den totale signaturen som er satt sammen av feltstyrken i dybde og fartsretning. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)	29
Figur 4-14 Viser hvordan feltlinjene bøyes av og legger seg parallelt med vannflaten. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013).....	30
Figur 4-15 Når en ubåt går oppdykket vil ikke lenger polariseringsstrømmene som gikk i vanner over fartøyet måtte finne en ny vei og går på undersiden av fartøyet. Derfor blir feltet under fartøyet kraftig forsterket. Fra: (Schäfer, Doose, Pichlmaier, Rennings, & Erni, 2013)	31