

Raul-Laurentiu Mindru

Metoder for å måle istykkelse på vann

En analyse av ulike teknologier for måling av istykkelse på vann

Bacheloroppgave i IELEG2900 Bacheloroppgave elektronikk og sensorsystemer

Veileder: Halgeir Leiknes

Mai 2024

Raul-Laurentiu Mindru

Metoder for å måle istykkelse på vann

En analyse av ulike teknologier for måling av
istykkelse på vann

Bacheloroppgave i IELEG2900 Bacheloroppgave elektronikk og
sensorsystemer

Veileder: Halgeir Leiknes

Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elektroniske systemer



Kunnskap for en bedre verden

Tittel: Metoder for å måle istykkelse på vann	Dato: 21.05.2024 Antall sider: 48		
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave X
Navn: Raul-Laurentiu Mindru e-mail: raulmindru@hotmail.com			
Veildere: Halger Leiknes, NTNU Gjøvik e-mail: halgeir.leiknes@ntnu.no			
Oppdragsgiver: Gjøvik Kommune Kontaktperson: Ingun Revhaug e-mail: ingun.revhaug@gjovik.kommune.no			
Sammendrag:			
<p>Bacheloroppgaven undersøker allerede eksisterende sensorløsning for å måle istykkelse, et behov som ble presentert av Gjøvik kommune. Prosjektet hadde hovedmål: å undersøke ulike sensorteknologier og eventuelt utvikle en prototyp eller teste en teknologi som egner seg til formålet. En litteraturstudie har identifisert tre ikke-intrusive metoder: Ground Penetrating Radar (GPR), elektromagnetisk induksjon (EM) og ultralydsensor. Den første nevnte er effektiv, men tung og kostbar, og dermed ikke egnet til oppgavens rammer. EM-teknologi ble vurdert som løsning for en prototyp, men en videre studie har identifisert en prototyp produkt, EDI-ICE. Utviklingen av EDI ICE var en lang prosess, med flere år for å stille inn antenne og et budsjett som var utenfor formålet. Ultralydsensoren viste seg til å være lovende, men oppsto utfordringer knyttet til refleksjon når ultralydbølgen traff luft is islaget. Testresultatene viste at ultralydsensoren A1207 Pengauge kunne gi nøyaktige målinger under optimale forhold (klar is), men var følsom for forurensinger (luftbobler) i islaget.</p> <p>Selv om prosjektet klarte å identifisere potensielle teknologier for måling av istykkelse på vann med god nøyaktighet, er det konkludert at ingen av de vurderte teknologiene er innenfor de stilte kravene av oppdragsgiver for vekt, mobilitet og pris. Prosjektet anbefaler videre samarbeid med utviklere av EDI-ICE eller begynne en prototyp utvikling basert på ultralyd eller EM.</p>			

Title: Methods for measuring ice thickness on water	Date: 21.05.2024 Number of pages: 48		
	Masterthesis:		Bachelorthesis X
Name: Raul-Laurentiu Mindru e-mail: raulmindru@hotmail.com			
Coordinator: Halger Leiknes, NTNU Gjøvik e-mail: halgeir.leiknes@ntnu.no			
Client: Gjøvik Kommune Contact person: Ingun Revhaug e-mail: ingun.revhaug@gjovik.kommune.no			
<p>Abstract: This bachelor's thesis investigates already existing sensor solutions for measuring ice thickness, a need presented by Gjøvik municipality. The main objective of the project was to investigate various sensor technologies and possibly develop a prototype or test a technology suitable for the purpose. A literature study has identified three non-intrusive methods: Ground Penetrating Radar (GPR), electromagnetic induction (EM) and ultrasonic sensor. The first mentioned is effective, but heavy and expensive, and thus not suitable for the scope of the task. EM technology was considered as a solution for a prototype, but a further study has identified a prototype product, EDI-ICE. The development of EDI ICE was a long process, with several years to tune the antenna and a budget that was beyond the scope. The ultrasound sensor proved to be promising, but challenges arose related to reflection when the ultrasound wave hit air and the ice layer. The test results showed that the ultrasonic sensor A1207 Pengauge could provide accurate measurements under optimal conditions (clear ice), but was sensitive to contamination (air bubbles) in the ice layer.</p> <p>Although the project was able to identify potential technologies for measuring ice thickness on water with good accuracy, it has been concluded that none of the assessed technologies are within the requirements for the requirements set by the employer in terms of weight, mobility and price. The project recommends further collaboration with developers of EDI-ICE or start a prototype development based on ultrasound or EM.</p>			

Innhold

Figurer:	III
Tabeller:	III
1. Innledning.....	1
1.1 Oppgave beskrivelse	1
1.2 Problemstilling og avgrensing	1
1.3 Begrunnelse	1
2. Ulike teknologier for måling av istykkelse	2
2.1 Retningslinjer for istykkelse.....	2
2.2 Manuelt måling av is.....	2
2.3 GPR – Ground penetrating radar.....	3
2.3.1 Generelt om GPR	3
2.3.2 GPR innenfor istykkelse-måling.....	4
2.3.3 Casestudie GPR teknologi for istykkelse måling, ICEMAP.....	5
2.3.5 Case studie for LD-1200 og LD-400:	5
2.4 Ultralyd sensor	6
2.4.1 Hva er transduser.....	6
2.4.2 Transduser innenfor istykkelse-måling	6
2.4.4 Casestudie ultralyd sensor, ICESPY	7
2.4.5 Casestudie for ultralydsensor, A1207 pengauge.....	8
2.5 Elektromagnetisk induksjonssensor:.....	8
2.5.1 Hva er elektromagnetisk induksjon	8
2.5.2 EM innenfor istykkelse-måling	9
2.5.3 Casestudie EDI-ICE.....	9
3. Valg av sensor	10
4. Teori for ultralydsensor	11
4.1 Ultralyd.....	11
4.1.1 Bølgefysikk	11
4.1.2 Hva er ultralyd	11
4.2 Transduser	11
4.2.1 Generelt om transduser.....	11
4.2.2 Piezoelektrisk transduser	12
4.3 Strømkilde/batteri	13
4.3 Kontaktvæske	14
5. Metode	15

5.1 A1207 Pengauge, referanse A1207 datablad	15
5.2 Mobilapplikasjon, referanse A1207 datablad	15
5.3 Gjennomføring av tester, referanse A1207 datablad.....	16
5.3.2 Planlegging og gjennomføring	16
5.3.2 <i>Kalibrering av sensor</i>	17
6. Resultater.....	18
7.Diskusjon	21
7.1 Diskusjon rundt selve oppgaven	21
7.2 Diskusjon av resultatene fra A1207	21
7.2.1 Begrensinger av ultralydsensor.....	21
7.2.3 Mobilapplikasjon	22
7.2.4 Bruk av kontaktvæske i feltsituasjoner	22
8. Konklusjon	23
Referanser	24
Vedlegg.....	27
Vedlegg 1.....	27
GPR:	29
Vedlegg 2	29
Vedlegg 3	31
Ultralydsensor:	34
Vedlegg 4	34
Vedlegg 5	36
Vedlegg 6	40
Electromagnetic Sounding	42
Vedlegg 7	42

Figurer:

Figur 1: Boring gjennom is med isbor, hentet fra.....	2
Figur 2: Skjematisk diagram av en GPR-undersøkelse.	3
Figur 3: IceMap™ sanntidsvisning viser automatisk detektert bunn av isen (blå linje) i sanntid....	5
Figur 4: Bilde av LD-400 dratt av en snøbil	5
Figur 5: Arbeidsprinsippet for en transduser	6
Figur 6: Prototyp av IceSpy laget av Winter recreation technologies	7
Figur 7: Pengauge for måling av tykkelser	8
Figur 8: Testing av EDI-ICE	9
Figur 9: Virkemåte for en piezoelektrisk transduser,	12
Figur 10: Prinsipp for battericelle.	13
Figur 11: Et litiumpolymert batteri	14
Figur 12: Kalibrering av A1207	17
Figur 13: En 5cm blokk er vist til venstre	18
Figur 14: Til venstre isblokk med tykkelse 11 cm	19
Figur 15: A-Scan måling av ultralydsignal gjennom 3cm isblokk	20
Figur 16: Til venstre bilde av en 3cm isblokk	20

Tabeller:

Tabell 1: Målinger gjennomført ved grenseflaten mellom is og luft.....	18
--	----

1. Innledning

1.1 Oppgave beskrivelse

Om vinteren fryser mange innsjøer og andre vann rundt i Gjøvik. Da åpner en verden av vinterlige aktiviteter inkludert isfiske, skøytegåing, og skiløyper over det frosne vannet. Mens vinteren tiltrekker aktivitet på is, bærer den en stor risiko, nemlig usikkerheten rundt isens tykkelse og trygghet. Tradisjonelt blir målinger av istykkelse tatt manuelt med boring.

1.2 Problemstilling og avgrensing

Bakgrunnen for prosjektet er et oppdrag gitt av Gjøvik kommune, hvor kommunen ba om en tryggere og raskere løsning å beregne istykkelsen på. Opprinnelig er oppdraget tredelt, hvor første del innebærer undersøkelse av ulike sensor teknologier, andre del utvikle en sensor og tredje utvikle en app for å varsle når isen er utrygg. Dette bachelor prosjektet setter fokus på undersøkning av ulike sensorteknologier og eventuelt utvikle en prototype sensorløsning eller teste et allerede eksisterende produkt.

1.3 Begrunnelse

Behovet for å utvikle en sensorløsning for måling av istykkelse understreker nødvendigheten for innovasjon for å løse praktisk problemer knyttet til sikker måling og ferdsel på isen i Gjøvik. Ved å utforske disse problemstillingene, står prosjektet overfor muligheten til å transformere den tradisjonelle, manuelle praksisen, til en automatisert prosess som lover økt sikkerhet av ferdsel på is.

2. Ulike teknologier for måling av istykkelse

I dette kapitlet undersøkes ulike teknologier som kan benyttes til å måle istykkelse. Målet er å identifisere de mest effektive metodene for nøyaktige og pålitelige målinger under ulike forhold. Kapitlet starter med en gjennomgang av grunnleggende retningslinjer for istykkelse, som setter standardene for sikker is. Videre gjør kapitlet en grundig analyse av ulike teknologier og instrumenter innenfor disse teknologiene som kan brukes for å måle istykkelse.

2.1 Retningslinjer for istykkelse

Før oppgaven går videre på de ulike metodene er det viktig å ha en forståelse for hva sikker is innebærer. Stålis med en tykkelse på 5-8cm anses som trygg nok til å bære en voksen mann. Friluftsrådernes Landsforbund fraråder allikevel å stole på is som er så tynn. For at isen skal være trygg for skøyting, bør istykkelse være på minst 10cm på mindre vann og 14-15cm for større vannflater. En tommelfingerregel er at 12cm skal være trygg å gå på uansett istype, unntatt vår-is. Ferdsel med kjøretøy på is krever en tykkere isflate, med et estimat på rundt 20cm for stålis [1].

2.2 Manuelt måling av is



Figur 1: Boring gjennom is med drill, hentet fra internett 16.02.24

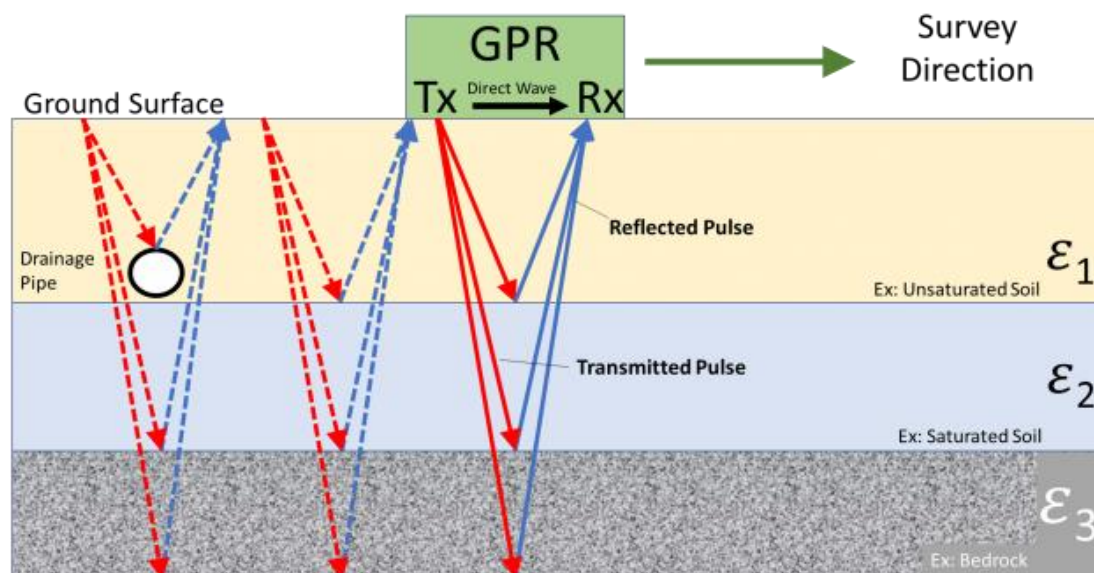
En isbor som vist i figur 1, er et tungt metallstang med et skarpt, flatt blad sveiset på den ene enden. Dette verktøyet blir brukt til å lage hull i isen. Det finnes tre forskjellige typer isbor: manuelle, elektriske og gassdrevne. Etter å ha boret et hull, kan istykkelsen blir målt med et målebånd. En trådløs drill kan også brukes til å bore gjennom isen. Uansett hvilken redskap brukes, er det viktig å begynne med å måle istykkelsen på land og deretter bevege utøver på vannet. Isstav kan deretter brukes som et tredje øye for å stakke frem på vannet hvor isen er

tynnere for å sørge trygg vei [2]. Istykkelse måling er et tungtvint arbeid som kan muligens bli gjort tryggere og raskere med bruk av sensorer. I neste del av kapitlet skal rapporten gjør rede for ulike teknologier som finnes innenfor istykkelse måling.

I dag finnes det flere måter å måle istykkelse på, men disse er mer utbredt for store vannarealer, gjerne i forbindelse med isbreer. For mindre vannarealer som Mjøsa innsjøen i Gjøvik er det vanlig å gjennomføre manuelle målinger. I neste kapittel vil oppgaven gjennomgå ikke-intrusive metoder for måling av istykkelse.

2.3 GPR – Ground penetrating radar

2.3.1 Generelt om GPR



Figur 2: Skjematisk diagram av en GPR-undersøkelse. Reflekterte bølger som trenger gjennom underflaten, beveger seg med forskjellige hastigheter basert på den dielektriske permittiviteten (ϵ) til mediet de møter. GPR signalet lages av en TX-antenne, reflekteres og mottas av en Rx-antenne. Hentet fra <https://www.epa.gov/environmental-geophysics/ground-penetrating-radar-gpr> 17.02.24

Georadar (GPR) er en metode som bruker radarimpulser til å avbilde undergrunnen [3]. Det er en ikke-intrusive metode for å undersøke underjordiske installasjoner som betong, asfalt, metaller, rør, kabler eller murverk. Metoden bruker elektromagnetisk stråling i mikrobølgebandet (UHF/VHF-frekvenser) av radiospekteret, og detekterer de reflekterte signalene fra underjorden. Figur 2 viser hvordan GPR brukes til å detektere underjordiske materialer.

GPR bruker polariserte høyfrekvente radiobølger, i området 10 MHz til 2,6 GHz. En antenne sender elektromagnetisk energi inn i bakken. Når energien møter et begravet objekt eller en grense mellom materialer med forskjellige ledningsegenskaper blir signalet reflektert til overflaten. En mottakende antenne kan deretter registrere variasjonene i retursignalet. Prinsippene som er involvert, er liknende som i seismologi, bortsett fra at GPR-metoder implementerer elektromagnetisk energi i stedet for akustisk energi [3] [4].

Den elektriske ledningsevnen til bakken, den overførte frekvensen og den utstrålte effekten kan alle begrense det effektive dybdepenetrasjonen for GPR-undersøkelsen. Økninger i elektrisk ledningsevne demper den elektromagnetiske bølgen gjennom bakken, og dermed reduseres penetrasjonsdybden. Høyere frekvenser penetrerer ikke like langt som lavere frekvenser [4]. Høyere frekvenser kan imidlertid gi forbedret oppløsning. Derfor er driftsfrekvens alltid en avveining mellom oppløsning og penetrasjon. Is kan ha en stor penetrasjonsdybde og radarimpulsen når flere tusen meter (til berggrunnen på Grønland) ved lave GPR-frekvenser. Tørre sandjord eller massive tørre materialer som granitt, kalkstein og betong har en tendens til å være mer resistente, og penetrasjonsdybden kan være lavere, opptil 15 meter. I fuktig jord og materialer med høy elektrisk ledningsevne, kan penetrasjonen være så lite som noen få centimeter [3].

2.3.2 GPR innenfor istykkelse-måling

Radioglasologi er studiet av isbreer og iskapper ved bruk av radar som trenger gjennom is. Metoden opererer vanligvis på frekvenser i MF, HF, VHF og UHF-delen av radiospekteret. Denne teknikken er også ofte referert til som "Ice Penetrating Radar (IPS)" eller "Radio-echo sounding (RES)" [3].

Isbreer er spesielt godt egnet for undersøkelse med radar fordi ledningsevnen og den dielektriske absorpsjonen av is er små ved radiofrekvenser, noe som resulterer i lave verdier for demping av den elektromagnetiske bølgen. Dette gjør det mulig å oppdage istykkelse større enn 4 km [5] [6]. Observasjon av ismasser ved bruk av radiobølger har vært i utvikling i over et halvt århundre. De mest utbredte bruksområdene har vært måling av istykkelse, subglasial topografi, og stratigrafi av isdekket. GPR har også blitt brukt til å observere forholdene og tilstandene til isdekke og isbreer, inkludert hydrologi, termisk tilstand, flytehistorikk av isbreer, is-struktur, og geologi under isen [5] [6].

2.3.3 Casestudie GPR teknologi for istykkelse måling, ICEMAP



Figur 3: IceMap™ sanntidsvisning viser automatisk detektert bunn av isen (blå linje) i sanntid. Brukere kan sette en minimumstykkelsesterskel for advarsel (gullinje) hentet fra: <https://www.sensoft.ca/products/icemap/overview/>, 20.02.24

ICEMAP er en GPR-basert istykkelse sensor som dras over isflaten bak en lastebil eller snøscooter som vist i figur 3. Dataene sendes trådløst fra sensoren til operatørens datamaskin og vises i sanntid som et tverrsnittsbilde. Den nåværende istykkelsen under sensoren vises både numerisk og grafisk. Det vises også minimums- og maksimumsverdier for is-dybde for den aktuelle målingen. En alarm lyder når isen faller under den brukerdefinerte minimumsverdien for istykkelse [7].

2.3.5 Case studie for LD-1200 og LD-400:



Hardware and software complex LD-400

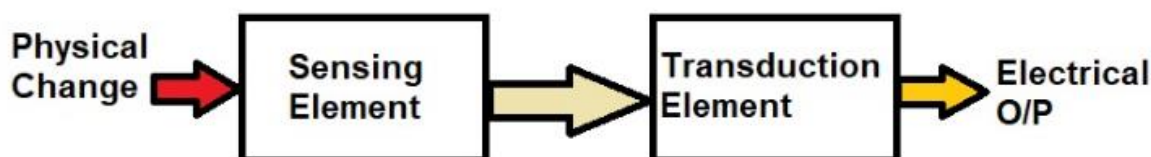
Figur 4: Bilde av LD-400 dratt av en snøbil, hentet fra <https://geotechru.com/products/geophysical-survey/ice-thickness-measurement/> 22.02.24

LD-1200 Ice Thickness Sensor fra Geotech er et innovativt instrument designet for å måle tykkelsen på fersk is både med og uten direkte kontakt. Dette verktøyet sikrer sikkerheten ved aktiviteter på isdekte overflater ved å raskt identifisere potensielle farer som sprekker, erosjoner og hulrom i isen. Sensoren benytter seg av GPR teknologi for å tilby nøyaktige målinger av istykkelse fra 0,05 til 2,0 meter [8].

Maskinvare- og programvarekompleks LD-400 ble utviklet på basis av GPR-komplekset "OKO-3" med en antenneenhet "MG-400" for rask bestemmelse av tykkelse og struktur av is i sanntid. Enheten har en masse på 5,5 kg og kan installeres på ethvert kjøretøy ved hjelp av eksternt oppheng med en avstand fra overflaten på 0,5 – 1,0 m. Dybden for «sounding» av ferskvanns is er opptil 8 m og sjøis opptil 2,5 m.

2.4 Ultralyd sensor

2.4.1 Hva er transduser



Figur 5: Arbeidsprinsippet for en transduser, hentet fra <https://electricalbaba.com/transducer-definition-working-components-and-application/> 9.03.24

Å bestemme de eksakte størrelsene av fysiske krefter som temperatur og trykk kan være vanskelig. Men, hvis disse fysiske kreftene konverteres til et elektrisk signal, kan verdiene lett bestemmes ved hjelp av et måleinstrument [9].

En transduser er en elektronisk enhet som konverterer energi fra én form til en annen. Denne prosessen inneholder to blokker, en for sansing av fysisk endring og en for konvertering av signalet til elektrisk signal som vist i figur 5 [10]. Transdusere brukes ofte i grensesnittene av automatisering, måling og kontrollsystemer, hvor elektriske signaler konverteres til og fra andre fysiske størrelser som energi, kraft, dreiemoment, lys, bevegelse, posisjon osv. Den primære funksjonen til transdusere er derfor å konvertere en fysisk kraft til et elektrisk signal, slik at det enkelt kan håndteres, digitaliseres og overføres for måling [11].

2.4.2 Transduser innenfor istykkelse-måling

I et litteraturstudium har det blitt identifisert flere vitenskapelige undersøkelser som har utforsket bruk av akustiske transdusere for måling av istykkelse. Den vitenskapelige forskningen har påvist at den akustiske metoden fungerer under laboratorieforhold, men at den ikke er pålitelig i praksis. I denne vitenskapelige rapporten presenteres detaljert konstruksjonen av et eksperiment for måling av istykkelse med ultralyd. I rapportens konklusjoner fremgår det at målingene i laboratoriet hadde en feilmargin på 1,6 cm, og samtidig påpekes det at under

realistiske feltsituasjoner: "Field deployments of this system will have more complex conditions to resolve, yet laboratory tests indicate positive results. Some of these complex conditions include, varying ice density and sound speed through actual sea ice, ice thickness of much greater magnitudes, air pockets and salinity channels within the ice and a snow layer on top of the ice." [12]. Et annet eksperiment som forsøkte å utvikle en bærbar prototype for måling av istykkelse fant samme problem, nemlig at den akustiske målingen ikke er pålitelig under reelle feltsituasjoner [13]. Imidlertid har det blitt identifisert to mulige produkter som bruker ultralyd for å måle istykkelse.

2.4.4 Casestudie ultralyd sensor, ICESPY



*Figur 6: Prototyp av IceSpy laget av Winter recreation technologies,
Hentet fra <https://www.winrectech.com/our-products.html> 11.03.24*

ICESPY er en prototyp basert ultralyd transduser som har en fast posisjon i vann. For å overvåke istykkelse på overflaten av en innsjø, er det nødvendig med flere sensorer plassert forskjellige punkter før vannet fryser, og en fysisk måling for å bekrefte sensorens nøyaktighet (sensorpålitelighet). ICESPY er designet og bygget for å tåle strenge vinterforhold i isen. Det nyskapende systemet som flyter på vann, er forankret og sikrer stabilitet både før og etter at isen legger seg. Bøyen som holder systemet over vannet, er svært synlig både dag og natt. Den patentventende transduseren måler istykkelse opptil 40 cm med en oppløsning ned til 2,5 cm. Målinger av omgivelsestemperatur og is temperatur gir innsikt i nåværende forhold over og under is overflaten. En integrert 4G-modem gir internettilkobling der det er tilgjengelig mobilnett. Elektronikken og batteriet er designet for å gi kontinuerlig drift gjennom hele vintersesongen [14].

2.4.5 Casestudie for ultralydsensor, A1207 pengauge



Figur 7: Pengauge for måling av tykkelser, hentet fra <https://acs-international.com/product/pengauge/> 30.03.24

Sensoren bruker en avtakbar tuppe med en innebygd utskiftbar dobbeltkrystall transduser med en driftsfrekvens på 7 MHz. A1207 bruker en piezoelektrisk transduser, D1572, for å skape ultralydbølgen [15].

Sensoren brukes til måling av veggtykkelsen, skrogplater og andre objekter laget av jernholdige og ikke-jernholdige metaller. Den er også egnet for ultralydmålinger av veggtykkelse på smådiameter metall- og plastrør fra 20 mm. Den lille diameteren på transduserens arbeidsflate muliggjør testing av korroderte overflateobjekter med minimum radius for krumning fra 10 mm. Instrumentet medfølger en avtakbar transduser som omformereren kan lett byttes ut ved å skru av tuppen og koble fra omformerens kapsel uten ekstra verktøy [16].

2.5 Elektromagnetisk induksjonssensor:

2.5.1 Hva er elektromagnetisk induksjon

Elektromagnetisk induksjon er et fundamentalt prinsipp innen fysikken. Kort fortalt innebærer elektromagnetisk induksjon at en elektromotorisk spenning (EMS) blir generert i en krets som følge av varierende magnetisk fluks gjennom kretsen [17].

Fenomenet ble først beskrevet av Michael Faraday i 1831, og danner grunnlaget for moderne elektromagnetisk teknologi. Faradays lov sier at når det magnetiske feltet gjennom en overflate endres, vil det induseres en elektromotorisk kraft (emf) i en sløyfe av ledning [18]. Dette kan demonstreres med to spoler av elektriske ledere, hvor bevegelse av en spole inn og ut av en annen endrer den magnetiske fluksen og induserer en spenning [19]. Denne prosessen er kjernen i hvordan generatorer, motorer og transformatorer fungerer, og er grunnlaget for selvinduksjon, gjensidig induksjon, og induktans.

2.5.2 EM innenfor istykkelse-måling

Innenfor måling av istykkelse brukes sensorer basert på elektromagnetisk induksjonslyd (fra engelsk EM-sounding).

Metoden utnytter det faktum at sjøis er svært motstandsdyktig (nesten like motstandsdyktig som luft), mens sjøvannet under er svært ledende. Derfor kan dybden av grensesnittet mellom is og vann bestemmes. En EM-sensor krever ikke fysisk kontakt med bakken, derfor kan teknologien opereres fra både luft eller ved direkte kontakt, for eksempel en slede eller et helikopter eller håndholdt [20]. Ved å kombinere to antenner, generer TX (transmitter) et primært magnetfelt og induserer en liten Eddy-strøm i vannet under isen. Eddy-strømmene lager en sekundær magnetisk felt som tas opp av en mottakende antenne (Rx) [21]. EM-instrumentet bestemmer forskjellen (tykkelsen) fra overflaten av isen ned til is/vann-grensesnittet. Dersom instrumentet er luftbåren, brukes en laser eller sonisk avstandsmåler for å måle høyden fra kjøretøyet ned til snøoverflaten. Forskjellen mellom begge målingene er tykkelsen på snøen pluss isen [22] .

2.5.3 Casestudie EDI-ICE



Figur 8: Testing av EDI-ICE, hentet fra <https://labsoflatvia.com/en/news/latvian-technology-non-invasively-measures-ice-thickness> 20.04.24

EDI-ICE er en EM-sounding basert instrument utviklet av Ģirts Smelters. Enheten er utstyrt med en GPS for geografisk lokalisering av hver måling og kobles til en laptop eller nettbrett, for visning av data. Det håndholdte instrumentet måler istykkelse mellom 5cm opptil 1.5m med en nøyaktighet på ± 5 (1*) cm [23]. EDI-ICE innovasjon støttes av nasjonale forskningsprogrammer og kommersialiseres gjennom samarbeid med LIAA program for vitenskapskommersialisering, med over 250 tusen euro i finansiering. Ifølge del 2 av prosjektet, ble teknologien auksjonert og solgt mars 2023 [24]

3. Valg av sensor

En litteraturanalyse har blitt utført. Det har blitt identifisert tre teknologier for måling av is, ground penetrating radar, elektromagnetisk induksjon og ultralydsensor.

Ground penetrating radar passer for måling av is på 5-20cm, og det finnes kommersielle produkter på markedet, se vedlegg 2 og 3. Likevel er disse produktene relativt tunge (10-50kg) og må transporteres med et is-kjøretøy, som en snøscooter. I tillegg er GPR mer utbredt for å måle isbreer og større isdekket arealer med tunge måleinstrumenter montert på helikopter, båt eller lignende.

Metoden for å måle istykkelse ved hjelp av elektromagnetisk induksjon er anvendelig for måling av is på cm nivå. I tillegg har det blitt identifisert gjennom litteraturstudie en håndholdt enhet basert på EM-teknologi, EDI-ICE. Ifølge del 2 av EDI-ICE prosjektet, teknologien ble kommersialisert mars 2023 [24]. I en email-samtale, med EDI (Institute of Electronics and Computer Science) har de klarert at universitetet er villig til å inngå en samarbeidsavtale for lisensen.

Ultralydsensormetoden har identifisert flere prosjekter som studerte utviklingen av en bærbare sensorer for måling av istykkelse med en nøyaktighet på 1-2 cm. Fra studiene under kapittel 2.4.2, har disse sensorene ikke tilstrekkelig nøyaktighet og er ikke pålitelige. Imidlertid har det blitt identifisert to ulike instrumenter. Den første er IceSpy protoyp, men den er enda ikke på markedet og produsenten venter fortsatt på en patent. Den andre er en kommersiell håndholdt sensor basert på ultralyd, Pengauge A1207 som er tilgjengelig for kjøp hos ndtnordic.

Fire sensor-utviklere ble kontaktet: to har ikke svart (Winter Recreations som lagde IceSpy fra Canada og Geotech fra USA). Videre ble det kontaktet Institute of Electronics and Computer Science fra Riga Latvia, som utviklet Eddy Ice. Gjennom en email samtale ble det bekreftet at de er villige til å inngå en samarbeidsavtale med NTNU. Teknologien ble utviklet gjennom flere år, og de ønsket en større samarbeidsavtale som var utenfor bachelorprosjektets rammer med tanke på pris. Til slutt ble leverandøren for A1207 Pengauge kontaktet. Firmaet har hovedkontor nærme Oslo, og var villige til å sende en demoversjon som kunne blitt testet. Neste del av bachelorprosjektet undersøker hvor godt ultralydsensor egner seg for måling av istykkelse på vann.

4. Teori for ultralydsensor

I kapittel 2 ble det kort nevnt prinsippet bak transduser og hvordan disse kan brukes til å måle fysiske størrelser. Kapitlet gjør rede for og forklarer prinsippet for bølgefysikk, ultralyd, piezoelektrisk effekt og piezoelektrisk transduser.

4.1 Ultralyd

4.1.1 Bølgefysikk

Det er to type bølger: langsgående og tverrgående. Langsgående bølger, som for eksempel lyd, overføres når molekylene kolliderer og overfører energi til andre partikler. Bevegelsen skjer parallelt med bølgeretningen da det oppstår kompresjon og fortykning fra kollisjonen [25]. Tverrgående bølger beveger seg ved at partiklene i mediet svinger vinkelrett på bølgeretningen. Et eksempel er vannbølger som svinger vertikalt mens bølgen forplanter seg horisontalt. Lys og andre elektromagnetiske bølger er også tverrgående bølger [26].

En annen viktig egenskap hos bølger er refleksjon og refraksjon (bryting). Når bølgen går fra et medium til en annen (treffer en ny grense) vil noe av energien bli reflektert (sendt tilbake) og samtidig vil den reflekterte bølgeenergien få en annen retning (refraksjon) [26].

4.1.2 Hva er ultralyd

Ultralyd er definert som langsgående lydbølger med en frekvens høyere enn 20kHz, som er over den øvre grensen for menneskelig hørsel. Vanligvis brukes frekvenser mellom 2 til 18 MHz i ultralydapplikasjoner. Prinsippet for ultralyddeteksjon bygger på bølgefysikk, hvor lydbølger reflekteres ved grensesnitt mellom materialer med ulike impedanser. Ultralyd fungerer ved bruke en transduser som sender høyfrekvente lydbølger inn i et objekt og måle tiden det tar for bølgene å reflekteres tilbake [27].

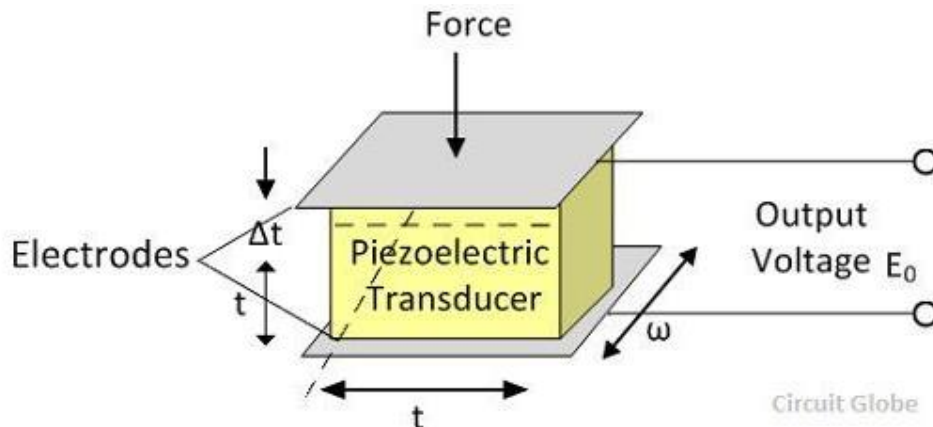
4.2 Transduser

4.2.1 Generelt om transduser

En transduser er en elektronisk komponent som konverterer energi fra én form til en annen. Den primære funksjonen til transduserer er å konvertere en fysisk kraft til et elektrisk signal slik at det enkelt kan håndteres og måles. Dette kan være fra mekanisk, termisk eller annen fysisk energi til et elektrisk signal som kan måles og analyseres. For eksempel høyttaler er en transduser som omdanner elektrisk svingning (vekselspenning) til akustiske svingninger (lydbølger), altså omdanner strøm til lyd [28].

Det finnes flere typer transdusere, avhengig av hvilken type energi som skal omdannes. Piezoelektriske transdusere konverterer mekanisk trykk til elektrisk spenning ved hjelp av piezoelektriske materialer, mens termoelementer omdanner temperaturforskjeller til elektrisk spenning. Fotodioder konverterer lys til elektrisk strøm, og induktive transdusere bruker elektromagnetisk induksjon for å måle forflytning eller posisjon [28].

4.2.2 Piezoelektrisk transduser

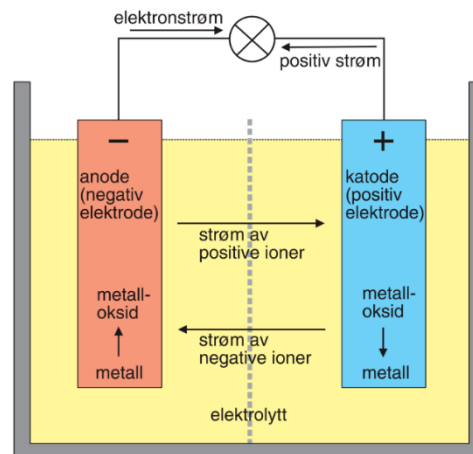


Figur 9: Virkemåte for en piezoelektrisk transduser, hentet fra <https://circuitglobe.com/piezo-electric-transducer.html> 01.05.24

Piezoelektrisk effekt oppstår når visse materialer, som krystaller, utsettes for mekanisk belastning, og elektrisk polariserte partikler dannes i materialet. Partiklene dannes på overflaten (overflateladning) med ulike polariteter på forskjellige sider av krystallet. Ved å feste to elektroder til de motsatt ladede overflatene som vist i figur 9, vil det oppstå elektrisk spenning med en positiv og en negativ pol [29]. Hvordan krystallet er kuttet vil endre egenskapene til transduseren. For eksempel en skiveformet krystaller brukes til å danne ultralydbølger [27].

Piezoelektrisk transduser bruker elektrostriksjon (motsatt effekt av piezoelektrisitet) hvor vekselspenning er tilført en transduser. Vekselspenningen får krystallet i transduseren til å vibrere, som danner forflytting av luftpartikler og dermed høyfrekvente langsgående bølger (ultralyd) [27].

4.3 Strømkilde/batteri



Figur 10: Prinsipp for battericelle, hentet 18.05.24 fra

<https://snl.no/batteri#:~:text=Når%20battericellen%20avgir%20strøm%2C%20skjer,elektroner%20i%20den%20ytre%20krets.>

All elektronikk er drevet av en strømkilde. Den meste brukte strømkilden er et batteri.

Virkemåten til batteri er å omdanne kjemisk energi til elektrisk energi. Batterier bygger på prinsippet av redoksreaksjon av en positiv elektrode, en negativ elektrode og en elektrolytisk væske samt en elektrodeseparator [30].

I oksidasjonsprosessen fra figur 2 frigis elektroner ved anoden som flyter i en ytre krets til katoden. Ved katoden tas opp elektronene gjennom en kjemisk reduksjon. Den kjemiske reaksjonen kalt redoksreaksjon, skaper elektrisk potensialforskjell mellom elektrodene, slik at løsningen (elektrolytten) rundt katoden blir negativt og løsningen rundt anoden blir positivt. De to halvreaksjonene er adskilt med en elektrodeseparator for å hindre direkte kontakt mellom elektrolyttene i de to kamrene [30].

Hele prosessen skaper en negativ strøm av ioner som går fra katode til anode og en positiv strøm av ioner i motsatt retning, slik at det blir en sluttet krets. Selv om batteriet ikke er i bruk, over tid vil ionene allikevel diffundere gjennom skilleveggen og batteriet langsom utlades [30].

De siste årene har litiumbatterier blitt mer attraktive, fordi litium har høyere spenning per celle og høyere energitetthet. Normalpotensialet for litium ligger på 3,05 volt, som er 2-2,5 ganger høyere enn for alkaliske batterier [30]. Katoden består av et litiumforbindelser som litiumkoboltoksid (LiCoO_2) eller litium-jernfosfat, mens anoden vanligvis laget av grafitt hvor litium-ionene lagres ved utlading. Elektrolytten, som er en væske tillater bevegelse av litium-ioner mellom anoden og katoden og er laget av en litiumsaltoppløsning (litium heksafluorfosfat) i et organisk løsemiddel. Separatoren er en tynn polymerfilm som holder anoden og katoden adskilt, men tillater ioner å passere gjennom [31].

Forflyttingen av Li-ioner tillater utviklingen av oppladbare batterier ved å snu på anoden og katoden under opplading. Når en ekstern over-spenning fra strømkilde påføres batteriet, blir elektronene føres gjennom en ytre krets fra positive til negativ elektrode. Litium ionene blir tvunget gjennom elektrolytten tilbake fra anoden til katoden hvor de kombineres med elektroden. Prosessen kalles interkalering og gjør at litiumbatterier kan lades og utlades flere ganger [31].

A1207 er drevet av et litiumbatteri, nærmere bestemt LiPol (litium polymer). LiPol-batterier bruker solid eller gel-lignende polymer elektrolytt i stedet for en flytende elektrolytt. Battericeller med solid polymer elektrolytt er fortsatt under utvikling, dermed er de fleste litiumpolymerbatterier med gel. Disse batteriene har høyere energitetthet, nominell spenning på 3,6V, lavere vekt og gir fleksibilitet i design.



Figur 11: Et litiumpolymert batteri, hentet fra https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery 16.05.24

Den faste eller gel-lignede elektrolytten tillater en mer fleksibel design enn tradisjonelle Li-ion batterier, som er en fordel når applikasjonen krever minimumsvekt, som A1207 [32].

Sammenlignet med tradisjonelle batterityper, gir LiPol-batterier bedre ytelse og lengre levetid, noe som er avgjørende for instrumenter som A1207, hvor presisjon og pålitelighet er kritiske. Med disse egenskapene bidrar LiPol-batterier til å sikre at A1207 fungerer effektivt og pålitelig under ulike miljøforhold og bruksområder [32].

4.3 Kontaktvæske

Luft innfører en stor impedans for ultralydbølger. Dette har med bølgefysikk å gjøre, som forårsaker refleksjon av bølgen når den treffer et medium med forskjellig impedans. Små ujevnheter på overflaten av materialet skaper luftlommer, som hindrer effektiv overføring av ultralydbølger. For å sikre god kontakt og fjerne luftlommer må kontaktvæske brukes, som er en viskøs substans (gel-akit) påføres mellom transduseren og overflaten. Kontakt-gelen tillater overføring av ultralydbølger direkte til materialet [33].

5. Metode

5.1 A1207 Pengauge, referanse A1207 datablad

A1207 PenGauge benytter en piezoelektrisk transduser, nærmere bestemt en dobbeltkrystall piezoelektrisk transduser med en frekvens på 7 MHz. Denne transduseren er valgt for sin evne til å sende og motta ultralydsignaler, noe som er nødvendig for nøyaktige tykkelsesmålinger. Piezoelektriske transdusere er spesielt egnet ultralydapplikasjoner, fordi de kan generere presise høyfrekvente lydbølger.

Når ultralydbølgene treffer en grenseflate mellom is og luft eller is og vann, blir en del av bølgene reflektert tilbake til transduseren. Sensoren måler tiden det tar for ultralydbølgene å reise fra den blir sendt ut til den blir reflektert tilbake, og konverterer denne tiden til en digital verdi ved hjelp av en intern A/D-omformer. Resultatet vises deretter i millimeter per sekund (mm/s).

Instrumentet har en digital skjerm som viser måleresultatene, valgt ultralydshastighet og batteristatus. A1207 Pengauge er også utstyrt med et innebygget oppladbart LiPol batteri som gir opptil 16 timers drift. Batteriet lades via en ekstern lader eller fra en PC via USB. Enheten er designet for å operere under et bredt temperaturområde, fra -30°C til +50°C, med en relativ luftfuktighet opp til 95% ved 35°C.

Hvis enheten ikke skal brukes over en lengre periode, bør batteriet lades til omtrent 50% og lagres på et kjølig og tørt sted. Unngå å lagre enheten med et utladet batteri for å forhindre funksjonstap. Batteriet er designet for å vare gjennom hele enhetens garantitid. Skulle det være nødvendig å bytte batteriet, må dette gjøres av et autorisert servicesenter for å opprettholde garantien.

5.2 Mobilapplikasjon, referanse A1207 datablad

ACS-international har utviklet en mobilapp for A1207, som kobles til enheten via Bluetooth. Appen er designet for å motta, behandle og presentere mottatt data i et brukervennlig grensesnitt. Funksjonaliteten til appen inkluderer fem faner for tilkobling av enheter, sanntidsvisning, og to skann-moduser samt innstillinger. Under tilkoblingsfanen er det mulig å se en liste med alle sammenkoblede A1207 enheter. Når enheten er skrudd på vil den vises under «paired devices». Så lenge Bluetooth er på vil enheten vises med serielt nummer og batteri nivået på toppen av applikasjonen. Hvis tilkobling blir brutt, vil applikasjonen bytte tilbake til tilkoblingsfanen.

Måledataen kan illustreres på tre ulike måter: «display», «A-Scan» og «B-Scan». A-Scan-modus gir en graf av signalamplituden for den returnerte ultralydbølgen som funksjon av tiden. I den øvre delen vises den digitale målingen av tykkelsen i valgte enheter (enten millimeter eller inch). Denne grafiske fremstillingen av ultralydsignalet muliggjør identifisering av skjulte feil i det inspiserte materialet.

Når enheten beveges over overflaten, samles en serie ultralydpulser som reflekteres fra ulike dybder i materialet. B-scan-modus er et plott som tillater en kontinuerlig profilering av variasjonene i tykkelsen på materiale.

All data kan lagres i appen for senere analyse. I første fane har brukeren mulighet til å trykke på «save measurment» for å lagre dataen i grupper og celler som gjør det enkelt å holde orden på forskjellige måleserier. Ny data kan kategoriseres i ulike grupper og hver gruppe vil inneholde lagrede digital data i tillegg til A-Scan data. A-Scan data lagres under «save measurment» ved å trykke på «pluss» knappen. Derimot B-Scan lagres separat i tilhørende fane ved å trykke på pluss knappen. Brukeren kan vise en liste over alle lagrede B-Scans ved å holde inne pluss-knappen, med mulighet for å slette eller analysere dem individuelt.

Til slutt tilbyr appen en fane for å tilpasse måleinnstillingene som for eksempel justering av ultralydhastighet, valg av måleenheter, og tilpasning av signalforsterkning. Dette gir fleksibilitet til å tilpasse enheten til spesifikke måleoppgaver og miljøforhold. Med en brukervennlig design, har ACS-international utviklet en mobilapplikasjon for å samle inn, analysere og lagre måledata med høy nøyaktighet og pålitelighet.

5.3 Gjennomføring av tester, referanse A1207 datablad

5.3.2 Planlegging og gjennomføring

Gjennomføring av målinger skjedde i uke 20. Forsøket begynte med å fryse ned vann i ulike størrelser fra 1 til 11 cm. Forsøkene foregikk i to ulike faser. I den første fasen ble sensoren testet på en hard flate for å vurdere hvor godt den kunne detektere istykkelsen ved grenseflaten mellom is og luft. I den andre fasen ble isblokkene plassert i en dyp beholder fylt med vann for å simulere forholdene i en innsjø og måle isens tykkelse over vannet. I den første fasen ble sensoren også koblet til appen for å teste dens funksjonalitet. For å sikre pålitelige målinger må sensoren også gå gjennom en kalibreringsfase som beskrevet nedenfor. Alle resultater blir presentert i neste hovedkapittel.

5.3.2 Kalibrering av sensor



Figur 12: Kalibrering av A1207, til venstre 25cm kalibreringsblokk til høyre 5cm kalibreringsblokk, bilde tatt av Raul Mindru, 15.05.24

For at sensoren skal gå inn i kalibreringsmodus må «+» og «-» knappene godes inn samtidig for mer enn to 2 sekunder. En blinkende tekst kommer opp med enten «dUal» eller «SnGl» avhengig av hvilken type transduser er satt inn. Innen tre sekund sett sensoren mot overflaten av kalibreringsprøvene og vent til nedtelling er ferdig. Hvis kalibrerings mislykkes, skjermen vil vise «Fail», og kalibrerings prosessen må gjentas, ellers vil instrumentet gå i målemodus.

Kalibrering skjer på to ulike måter avhengig av transduser type. For enkelt transduser (single-crystal transducer) kalibreringen blir gjennomført med 5mm prøven. For en dobbel transduser (double-crystal transducer) må kalibrerings først tas på 25mm prøven og rett etterpå, på 5mm prøven. Figur 12 viser gjennomført kalibrering. For dette prosjektet ble det valgt dobbel-krystall transduser. Først ble lydshastigheten gjennom is satt i sensoren. Ifølge databladet for A1207, oppgitt på side 16, er lydshastigheten gjennom is 3980 m/s. Når lydshastigheten ble innstilt ved hjelp av «+» og «-» knappene, ble kalibreringsblokkene tilsatt koblings-gel og sensoren ble kalibrert som beskrevet ovenfor. Da var sensoren klar for testing.

6. Resultater

Etter kalibrering av sensor ble det gjennomført flere målinger på isblokker med tykkelser fra 1 til 11 cm presentert. Resultatene som ble gjort på en hard flate blir presentert i tabell 1.

Tabell 1: Målinger gjennomført ved grenseflaten mellom is og luft

Isblokktykkelse (cm)	1,5	3	4	5	11
Ikke forurenset del (mm)	1.9	30.3	39.8	50.0	-
Forurenset del (mm)	15.5	2.35	23.8	12.6	2,01



Figur 13: En 5cm blokk er vist til venstre, med luftrom og forurensning ca. 1,1cm fra overflaten. Bildet i midten måler over klar-is. Til høyre er en måling over luftrommet. Alle tre bilder er tatt av Raul Mindru, 14.05.24

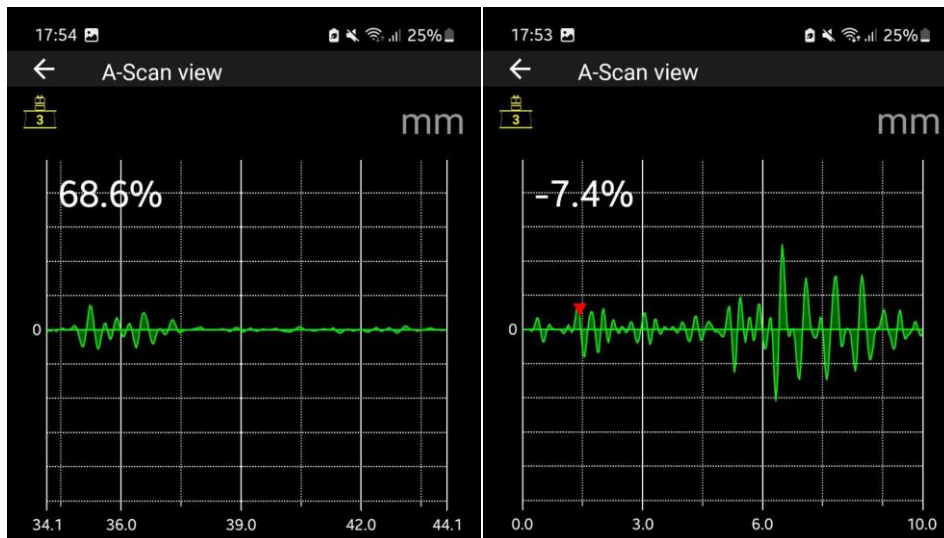
Innledningsvis ble alle målinger gjennomført på en hard flate for å bekrefte sensorens funksjonalitet. Målingene viser at sensoren fungerer med høy nøyaktighet og samsvarer med det leverandøren påstår. Mobilapplikasjon er lett å håndtere og er et nyttig verktøy for en dypere analyse og tuning av signalet. For dette prosjektet var det mer sentralt å bruke A-Scan funksjonen, men B-Scan ble også testet.

Figur 13 viser en 5cm blokk som ble brukt i dette forsøket. I midten er det observert luftrom og forurensinger som er ca. 1,1 cm fra overflaten. Først ble sensoren ført over kanten hvor isen var klar, for å måle total dybde. Deretter ble sensoren ført over midten for å teste om den fanget opp luftrommet. Figur 13 bekrefter at lydbølgen faktisk blir reflektert ved første luftrom.



Figur 14: Til venstre isblokk med tykkelse 11 cm. I midten samme blokk brukt til å profilere dybdeforskjeller av luftrommet. Til høyre B-Scan av dybdeforskjellene. Skjermdump tatt av Raul Mindru 16.05.24

Det mest interessante resultatet er målingen på den 11cm tykke blokken som vist i figur 14. Isblokken ble brukt til flere mål, blant annet til å finne ut hvor dypt ultralyden fra sensoren penetrerer. I [videoen](#) fra nettsiden til ndtnordic, ble det beskrevet at sensoren måler en maksimal dybde på 10cm gjennom is. Ved å måle på blokken som vist i figur 14, ble det bekreftet at maksimal dybde for sensoren er 10cm. Lydbølgen fra sensoren ble absorbert av isen og sensoren hadde ingen retur bølge å måle. Dette kom opp på sensoren som antageligvis forstyrrelser på ADC-omformer i form avtall på millimeternivå på skjermen. Videre ble blokken snudd for å videre undersøke hvordan B-Scan fungerer og hvordan luftrommet variere i dybden langs lengden. Ved å bevege sensoren langs isblokken profilerte B-Scan dybdeforskjeller av luftrommet.



Figur 16: A-Scan måling av ultralydsignal gjennom 3cm isblokk. Til venstre: signalet gjennom hele isblokken. Til høyre: signalet til den treffer luftrommet i isen. Skjermdump av Raul Mindru 14.05.24

A-Scan funksjonen ble benyttet som tillegg for å teste ultralydbølgens respons gjennom isen. Til venstre i figur 15, er det observert at ultralydsignalet er glatt med få amplitude forskjeller. Det betyr at ultralyden sendes, reflekteres og mottas korrekt og sensoren måler gjennom hele isblokken. Derimot når signalet treffer en brå impedansendring som luftrommet i isblokken, blir signalet reflektert i ulike retninger og dette plukkes og forårsaker raske desimale endringer på A/D-omformereren. A-Scan funksjonen plukker dette opp og oversetter gjennom innebygd algoritme til raske amplitude endringer av det forstyrret signalet.



Figur 15: Til venstre bilde av en 3cm isblokk. Til høyre: samme isblokk ble lagt i vann for å teste sensoren. Bildet tatt av Raul Mindru 18.05.24

I andre fase ble noen av isblokkene plassert på vann for å teste hvor godt ultralydbølgen fungerer ved is-vann-overgangen. I figur 15 ble en blokk på 3cm testet. Overgangen mellom vann og is reflekterer ultralyden som følge av impedansforskjeller ved denne overgangen. I tillegg skaper vannet på ise-overflaten bra nok kontakt til at lydbølgen kan overføre direkte gjennom blokken. Resultatet i figur 16 viser at ultralyd er egnet for å måle istykkelse over vann, og både hvis isen er våt eller tørt (bruk av kontaktvæske).

7. Diskusjon

7.1 Diskusjon rundt selve oppgaven

Oppdragsgiveren, Gjøvik Kommune, ønsker en løsning komplett med sensorer for å måle istykkelse over Mjøsa. I dette prosjektet ble det undersøkt flere teknologier som eksisterer på markedet, for å identifisere en løsning som passer med kravene. Løsningene kan måle istykkelse på vann, men noen er mer utbredt for mye større is arealer og mye tykkere is (flere meter), typisk fra helikopter eller dratt bak en bil i polare regioner, som blant annet GPR.

Gjennom en email samtale med universitet i Latvia (EDI), ble det klarert at gruppen som utviklet sensoren hadde brukt flere år på utvikling og tuning av antenne. I tillegg nevnes i kapittel 3 at produktet ble auksjonert for 250 tusen euro, noe som tyder at budsjettet for utvikling var veldig stort. Det faktumet at antenne tok flere år og budsjettet var stort, ble det konstatert at EM er ikke innenfor prosjektets tids- og ressursrammer. Bruken av elektromagnetisk induksjon, er en komplisert utvikling, som vent i eksemplet med EDI-ICE instrumentet og ligger utenfor prosjektets rammer. Allikevel er denne teknologien som oppfyller best kravene til oppdragsgiveren. En videre arbeid, kan være å ta kontakt med EDI universitet fra Latvia, for å lisensiere produktet deres.

Etter en videre litteraturstudie, har ble det oppdaget en [video](#) på nettsiden til ndtnordic som viser bruk av ultralydsensor for å måle istykkelse. I stedet for å begynne på en prototyp, var det bedre å ta i bruk et allerede eksisterende produkt for å bekrefte funksjonaliteten til ultralyd metoden. Resultatene fra forsøket diskuteres i underkapitlet. Selv om A1207 kun måler 10cm, utelukker dette ikke at ultralydmetoden kan anvendes på tykkere is.

7.2 Diskusjon av resultatene fra A1207

7.2.1 Begrensinger av ultralydsensor

I teoridelen ble det gjennomgått ulike aspekter ved lydbølger, blant annet refleksjon som er spesielt viktig. Når en brå endring i impedansen oppstår, vil lydbølger reflekteres i ulike retninger. Luft er den største fienden for bølger, og spesielt for ultralydbølger, fordi luft reduserer hastigheten til ultralyd, som igjen innfører en impedansendring for sensoren og vil reflektere signalet før den når til enden av isen.

Som påvist tidligere, fungerer sensoren med veldig bra nøyaktighet under de rette forholdene. Derimot er ultralydbølgesensoren svært følsom for forurensninger i islaget, spesielt luftrom i islaget. For å faktisk kunne få en luftfri is måtte vann kokes, og selv dette var ikke så effektivt.

Nye målinger tatt midt i isen, der luftboblene samlet seg, og nær kantene, som var fri for luftbobler. Det viser seg at lydbølgen blir reflektert tilbake ved den minste impedansendringen, noe som kan være problematisk i virkelige situasjoner der isen ikke er klar og fri for luftrom islaget.

Ultralydmetoden måler den klare delen av isen over vann. Vann skaper tilstrekkelig isolasjon fra luft og gir nok kontakt og isolering med overflaten for å måle istykkelse. Imidlertid var det også luftrom i islaget som påvirket målingene der isen ikke er perfekt. Både mine målinger og videoen på nettsiden til ndtnordic (hvor de bruker perfekt klar-is) bekrefter at sensoren ikke måler istykkelse over 10cm og er svært påvirket av luftrom, noe som er et problem for virkelige applikasjoner hvor isen ikke er perfekt.

7.2.3 Mobilapplikasjon

For å videre bekrefte sensorens pålitelighet ble den koblet til appen. Den første observasjonen er at koblingen mellom enhet og mobil er veldig rask. A-Scan ble brukt til å undersøke amplituden til ekkoet fra ultralydbølgen. Når sensoren ble ført over luftrommet is laget, ble det observert at signalet er veldig ujevnt med store amplitude svingninger. Derimot var signal glattere og amplitude svingningene var lavere når ultralydsensoren ble ført over luftfri is. Dette bekrefter ytterligere at ultralydsensor kan være en dårlig løsning for måling av istykkelse.

B-Scan var mindre brukt for dette prosjektet. Funksjonen er mer egnet for å finne ujevnheter og skjulte hull gjennom flater som ikke er gjennomsiktige. Som beskrevet under kapitlet for mobilapplikasjon, fungerer den ved å profilere en graf av ujevnheter (dybdeforskjeller) gjennom flaten.

7.2.4 Bruk av kontaktvæske i feltsituasjoner

En annen utfordring som må ta hensyn til er bruk av kontaktvæsken. Kontaktvæsken begynner å fryse som fjerner kontakten mellom transduseren og flaten (is), i tillegg må det påføres tilstrekkelig mengder for å isolere arbeidsflaten for luft.

8. Konklusjon

Hensikten med bachelor prosjektet var å finne en sensorløsning for å måle istykkelse. Oppgaven gikk ut på å undersøke ulike teknologier og eventuelt bygge en prototyp eller teste en sensor. Fra litteraturstudie ble det identifisert tre ulike metoder for å måle istykkelse, GPR (ground penetrating radar), ultralyd sensor og EM (elektromagnetisk induksjon). Videre ble det oppdaget flere utfordringer med disse metodene, som ble beskrevet i både kapittel 3 og diskusjonsdelen.

Imidlertid ble det oppdaget fire mulige sensorteknologier som oppfylte problemstillingen, alle fire utviklere ble kontakt på både mobil og email, men bare to av dem svarte. Den første teknologien er en latvisk prototyp (kommersialisert), som bruker EM-induksjon, mens den andre var ultralyd basert. EDI-ICE, (EM induksjon basert sensoren) var villige til å inngå en dypere samarbeidsavtale for å selge lisensen til teknologien, noe som var utenfor prosjektets krav, mens leverandøren for A1207 (ultralyd basert) sendte en demoversjon. Prosjektet gikk videre med å teste ultralydbasert sensor.

Oppgaven konkluderer med å svare ja, det finnes teknologier som er egnet for å måle istykkelse på vann, men disse er ikke godt nok utviklet til kravene oppdragsgiveren stiller, iht. vekt, mobilitet og pris. A1207 sensoren er veldig nøyaktig og oppfyller disse kraven, men det har blitt identifisert svakheter når det gjelder luftlommer i islaget og liten dybde på signalet (10cm for isblokk).

Alt i alt har oppgaven klart å svare på problemstillingen satt av oppdragsgiveren, men løsningene som ble identifisert er ikke egnet for å måle istykkelsen i realistiske sammenhenger. En vei videre er å prøve å utvikle en bedre ultralydsensor med høyere penetrasjon, ta kontakt med EDI universitet eller utvikle en EM-basert sensor.

Referanser

K. A. Sørensen , «Is sikker eller usikker,» Friluftsrådernes Landforbund , 19 12 2017. [Internett]. Available: <https://friluftsråd-no.herokuapp.com/b/3149/is-sikker-eller-usikker>.

varsom, «Isbor - isstav,» varsom.no, [Internett]. Available: <https://www.varsom.no/is/isskolen/sikkerhetsutstyr/isbor-isstav/>.

Wikipedia, «Ground-penetrating radar,» Wikipedia , [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Ground-penetrating_radar#Further_reading.

NGI, «Ground Penetrating Radar - GPR,» ngi.no, 21 Mars 2023. [Internett]. Available: <https://www.ngi.no/en/research-and-consulting/site-invest-container/geophysical-ground-investigations/ground-penetrating-radar---gpr/>.

J. L. Bamber, J. A. Griggs, R. T. W. L. Hurkmans, J. A. Dowdeswell, S. P. Gogineni, I. Howat, J. Mouginot og J. Paden, «A new bed elevation dataset for Greenland,» European Geosciences Union, 2013 Mars 22. [Internett]. Available: <https://tc.copernicus.org/articles/7/499/2013/>.

P. F. e. al, «Bedmap2: improved ice bed, surface,» Copernicus Publications , [Internett]. Available: <https://tc.copernicus.org/articles/7/375/2013/tc-7-375-2013.pdf>.

S. a. Software, «IceMap™,» Sensor and Software , [Internett]. Available: <https://www.sensoft.ca/products/icemap/overview/>.

GEOTECH, «ICE THICKNESS MEASUREMENT,» GEOTECH , [Internett]. Available: <https://geotechru.com/products/geophysical-survey/ice-thickness-measurement/>.

BYJUS, «Transducer,» BYJUS , [Internett]. Available: <https://byjus.com/physics/transducer/>.

E. Concepts, «Transducer – Definition, Working, Components and Application,» Electrical Concepts , Juni 2017 . [Internett]. Available: <https://electricalbaba.com/transducer-definition-working-components-and-application/>.

Wikipedia, «Transducer,» Wikipedia , 28 September 2023. [Internett]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Transducer>.

L. Cahill, T. Kazo og S. Li, «Acoustic Measurements of Ice Thickness,» Sea Grant New Hampshire , [Internett]. Available: https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/46268/noaa_46268_DS1.pdf.

P. W. H. S. A. R. K. G. Shubham Pawar, «MAKE DEVICE TO MEASURE ICE THICKNESS,» International Journal of Technical Research and Application, Mars 2016. [Internett]. Available: <https://www.ijtra.com/special-issue-view.php?paper=make-device-to-measure-ice-thickness-using-sonar.pdf>.

W. R. Technologies, «SAY HI TO ICESPY,» Winter Recreation Technologies , [Internett]. Available: <https://www.winrectech.com/our-products.html>.

acs-international, «A1207 PenGauge,» acs-international , 2022. [Internett]. Available: <http://subscribe.acs-international.online/file/download?p=entities/10/1/10100>.

acs-international, «A1207 PENGAUGE,» acs-international , [Internett]. Available: <https://acs-international.com/product/pengauge/>.

Ø. Grøn og J. Skaar, «elektromagnetisk induksjon,» Store Norske Leksikon , 20 November 2023. [Internett]. Available: https://snl.no/elektromagnetisk_induksjon.

Wikipedia, «Electromagnetic induction,» Wikipedia , 4 Februar 2024. [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_induction.

Elcometer, «Electronic Coating Thickness Gauges,» Elcometer , [Internett]. Available: <https://www.elcometer.com/en/electronic-coating-thickness-gauges>.

C. Haas, «Electromagnetic induction sounding – ice thickness measurements at the University Bremen Campus?,» University Bremen, 2018. [Internett]. Available: https://www.msc-ep.uni-bremen.de/services/lectures/practicals/pr_emice_2018.pdf.

K. Shirasawa, K. Tateyama, T. Takatsuka, T. Kawamura og S. Uto, «Ship-borne electromagnetic induction sounding of sea ice thickness in the Arctic during summer 2003,» Hokkaido University, 31 July 2006. [Internett]. Available: https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/38912/1/SEM_CHINARE2003_%28PMG20_2006%29.pdf.

geo.uib.no, «Electromagnetic (EM) ice thickness measurements,» geo.uib.no, 24 Mars 2012. [Internett]. Available: <https://www.geo.uib.no/polarhovercraft/index.php?n=Main.EmSystem>.

Ģ. Smelters og R. Maliks, «Portative, non-invasive ice thickness measuring device,» Institute of Electronics and Computer Science, 21 Mars 2018. [Internett]. Available: <https://www.edi.lv/en/solutions/portative-non-invasive-ice-thickness-measuring-device/>.

G. Šūpols, «Contactless ice thickness measurement device (EDI-ICE) part 2,» Institute of Electronics and Computer Science, 29 Mars 2023. [Internett]. Available: <https://www.edi.lv/en/projects/contactless-ice-thickness-measurement-device-edi-ice-2/>.

T. E. o. E. Britannica, «wave,» britannica.com, 14 May 2024. [Internett]. Available: <https://www.britannica.com/science/wave-physics#ref333566>.

H. Ormestrand, «bølge,» snl.no, 28 Juni 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/bølge#:~:text=Hvis%20hver%20enkelt%20svingende%20enhet,det%20en%20longitudinal%20bølgebevegelse%2C%20langsbølger..>

R. E. Berg, «ultrasonics,» britannica.com, 22 Februar 2024. [Internett]. Available: <https://www.britannica.com/science/ultrasonics>.

gmw, «Transducers,» gmw.com, 26 Oktober 2021. [Internett]. Available: <https://gmw.com/transducers/>.

CIRCUIT GLOBE , «Piezo-Electric Transducer,» circuitglobe.com, 2018. [Internett]. Available: <https://circuitglobe.com/piezo-electric-transducer.html>.

G. M. Haaberg, «batteri,» snl.no, 14 Mai 2024. [Internett]. Available: [https://snl.no/batteri#:~:text=Litiumion%20\(Li-Ion\),-Litiumionbatterier%20brukes%20i&text=En%20litiumioncelle%20best%C3%A5r%20typisk%20av,6-3%2C7%20V..](https://snl.no/batteri#:~:text=Litiumion%20(Li-Ion),-Litiumionbatterier%20brukes%20i&text=En%20litiumioncelle%20best%C3%A5r%20typisk%20av,6-3%2C7%20V..)

wikipedia , «Lithium-ion battery,» wikipedia.org, 15 Mai 2024. [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery.

Wikipedia, «Lithium polymer battery,» wikipedia.org, 24 Februar 2024. [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery.

soundwatertech, «Using Coupling Gels with Ultrasonic Flowmeters,» soundwatertech.com, 13 Oktober 2020. [Internett]. Available: <https://www.soundwatertech.com/news/coupling-gels-ultrasonic-flowmeters#:~:text=Coupling%20gel%20is%20the%20goop,will%20not%20transfer%20through%20air..>

EPA, «Ground Penetrating Radar (GPR),» EPA , 30 Mai 2023. [Internett]. Available: <https://www.epa.gov/environmental-geophysics/ground-penetrating-radar-gpr>.

B. Haines, «How to Measure Ice Thickness: 5 Methods and Testing Devices,» GudGear , 5 April 2023. [Internett]. Available: <https://gudgear.com/how-to-measure-ice-thickness/>.

K. Enterprise, «Ice Thickness Gauge,» Kovacs Enterprise , [Internett]. Available: <https://kovacsicedrillingequipment.com/mechanical-drilling/ice-thickness-gage/>.

A. Asere, «Latvian technology non-invasively measures ice thickness,» labsoflatvia, 18 September 2022. [Internett]. Available: <https://labsoflatvia.com/en/news/latvian-technology-non-invasively-measures-ice-thickness>.

ultrasoniccuttingsystem, «Prinsipp og fordeler med piezoelektrisk transduser fra kvartskrystall til keramikk,» ultrasoniccuttingsystem.com, 11 Desember 2017. [Internett].

Vedlegg

Vedlegg 1

[Datablad for A1207:](#)

Nedenfor er det to sider tatt fra databladet for A1207, og selve databladet kan lastes ned via hyperlinken

1.2.1.2 Operation conditions

The instrument is designed to work under the following conditions:

- ambient air temperature ranges from - 30 to +50 °C;
- relative air humidity up to 95 % at +35 °C.

1.2.2 Technical specifications

The table below lists the main instrument parameters.

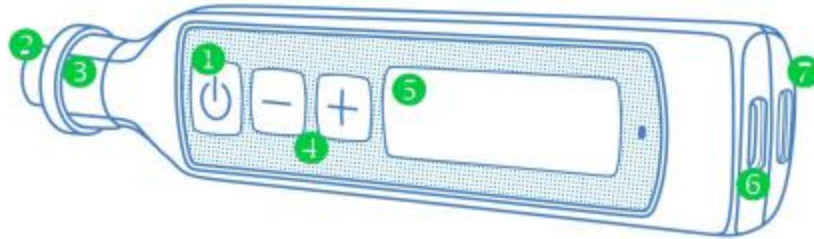
Table 1: Key instrument parameters

Parameter	Value
Measurement range of the thickness (steel), mm	from 0.8 to 75.00 (double-crystal transducer) from 25 to 100.00 (double-crystal transducer)
Sampling rate of the thickness indication, mm:	0.01
from 0.80 to 9.99 mm	0.1
from 10.0 to 100.0 mm	
Setting range of ultrasound velocity, m/s	from 1000 to 9000
Type of the built-in transducer	double-crystal or single element
Frequency of the built-in transducer, MHz	7 (double-crystal) or 5 (single element)
Diameter of the work surface of the built-in transducer, mm	8 (double-crystal) or 10 (single element)
Power	built-in LiPol rechargeable battery
Nominal battery voltage, V	3.7
Period of continuous operation of the instrument powered from the completely charged accumulator under normal environmental conditions, min.	16 h
Overall dimensions, max.	125 × 25 × 15 mm
Maximum weight, g	40
Average time between failures, min.	18 000 h
Average service life, min.	5 years

1.2.3 Instrument design and operation principle

1.2.3.1 Instrument design


A1207 Ultrasonic Thickness Gauge is a pocket-type one-piece case (see figure below) with a built-in accumulator battery and a built-in double-crystal transducer or single-crystal transducer (if requested).



Label	Description
❶	On/Off Key
❷	Capsule of the piezoelectric transducer
❸	Tip
❹	Tuning keys
❺	Digital display
❻	USB port
❼	Eyelet for strap

The instrument's design allows the replacement of the worn-out capsule of the built-in transducer by unscrewing the tip detaching the transducer capsule from the instrument without extra tools (see [Replacement of the transducer capsule](#) (14)).



The  key is used to:

- switch the instrument On/Off;
- toggle between the measurement units (millimeters/inches).



The setting keys  and  are used to switch:

- the velocity adjustment mode;
- the calibration mode.

The digital measurement results, the ultrasound velocity, the accumulator battery state, and the current measurement units (see figure below) are displayed on the screen.

The USB connector is used to connect the power adaptor 220 V – USB to charge the built-in accumulator battery.

GPR:

Vedlegg 2

IceMap – GPR sensor

http://www.sensoft.ca/wp-content/uploads/2022/01/Icemap-Brochure_2022.pdf



Applications



Ice thickness measurements of winter roads and runways over water bodies



Ice thickness measurement on muskeg



Ice/snow thickness measurements for melt water volume estimates

Product specifications

Electronics	Size: 78 x 53 x 38 cm (31 x 21 x 15 in) Weight: 30 kg (65 lbs)
Toboggan	Size: 191 x 79 x 30 cm (75 x 31 x 12 in) Weight: without tow hitch: 16 kg (36 lbs) with tow hitch: 310 cm (122 in) long 20 kg (45 lbs)
Center Frequency -3 dB Bandwidth	500 MHz 250-750 Mhz
Maximum Depth Setting	10 meters (33 feet)
Maximum Tow Speed	80 kph (50 mph)
Operating Modes	Free Run at constant speed, Odometer
Power	8 Watts - 0.7 A @ 12 V
Performance Factor	160 dB + 10 log ₁₀ N ex: for 2048 stacks are 193 dB
DynaQ	Yes
Battery	Life: 4 - 6 hrs, Capacity: 9 Ah, Charger Input: 110-240V
Acquisition Rate	Up to 100,000 samples per second
Operating Temperature	-50°C to +40°C
Environmental	IP66
Integrated GPS	Continuous NMEA string logging

IceMap complies with the Industry Canada (IC), United States Federal Communications Commission (FCC), and European Technical Standards Institute (ETSI) Regulations for ultra-wide bandwidth (UWB) devices.

Sensors & Software Inc. +1 905 624 8909
+1 800 267 6013
1040 Stacey Court
Mississauga, ON
Canada L4W 2XB
Sensoft_Sales@spx.com
www.senssoft.ca

IceMap is a trademark of Sensors & Software

**Subsurface
imaging
solutions**

Vedlegg 3

Ice meter LD-1200- GPR sensor: <https://geotechru.com/products/geophysical-survey/ice-thickness-measurement/>

ICE THICKNESS MEASUREMENT

The use of GPR technology for the study of freshwater ice has been known for a long time and is widely used.

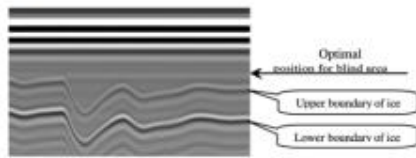
GPRs allow to determine not only the thickness of the ice, but also to identify its structural features (to localize dangerous places such as cracks, flushes, voids, etc.).

It is advisable to use GPRs to ensure the safety of movement of people and transport on ice crossings and winter roads, to monitor the thickness of the ice in the last dates of river navigation, to obtain data on the ice, etc.

The physical principle of operation of the "Ice Scanner" GPR devices is based on low power ultra-wideband pulse radar which forms a radio image (radargram) from reflected signals.

The operator can use the instrument to determine the thickness of the ice under the instrument's antenna in real time. Besides, devices can be located both directly on the ice surface, and with a separation from it.

Synchronously with the movement of the device along the ice surface, GPR's display shows a radargram with an image of boundaries between the media (air, ice, water), and the measured values of the ice cover thickness.



Ice sheet radargram

(<https://geotechru.com/wp-content/uploads/2017/07/Screenshot-2022-05-05-at-13.41.12.png>)

Based on a wide range of GPRs produced by our company, for ice thickness measurements two versions of portable specialized GPR "Ice Scanner" were developed:

Hand-held Ice Scanner LD-1200.

The LD-1200 hand-held Ice Scanner is able to determine the structure and thickness of ice when in direct contact with its surface and at a separation from it of up to 15 cm. The maximum depth of freshwater ice sounding is up to 2 m.



Ice meter LD-1200 (folded and in operational mode)

(<https://geotechru.com/wp-content/uploads/2017/07/Screenshot-2022-05-05-at-13.41.30.png>)

Hardware and software complex LD-400.

Hardware and software complex LD-400 was developed on the basis of the "OKO-3" GPR complex with a "MG-400" antenna unit for quick determination of thickness and structure of ice, localization of heterogeneity, cracks, and other defects inside the ice massif in real time.

The device has a mass of 5.5 kg and can be installed on any vehicle by means of external suspension with a separation from surface of 0.5 – 1.0 m. The depth of sounding of freshwater ice – up to 8 m, sea ice – up to 2.5 m



Hardware and software complex LD-400

(<https://geotechru.com/wp-content/uploads/2017/07/Screenshot-2022-05-05-at-13.41.46.png>)

 [Email \(mailto:info@geotechru.com\)](mailto:info@geotechru.com)



ICE THICKNESS SENSOR LD-1200

The LD-1200 Ice Thickness Sensor is designed for non-contact and contact measurement of the thickness of fresh ice, detection of dangerous places (cracks, scours, voids) in real time. It has a convenient, lightweight, portable design for pedestrian operation: one-handed operation,...

[LEARN MORE](#)



ICE THICKNESS SENSOR LD-400

The LD-400 hardware and software complex is developed on the basis of the OKO-3 series GPR complex with the MG-400 antenna for the prompt determination of ice thickness and structure, localization of inhomogeneity, cracks, and other defects within the ice...

[LEARN MORE](#)

([HTTPS://GEOTECHRU.COM/ICE-](https://geotechru.com/ice-)

Ultralydsensor:

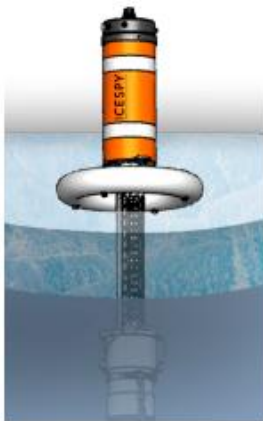
Vedlegg 4

ICESPY-ultralydsensor

https://www.winrectech.com/uploads/1/3/8/9/138913202/wrt_icespy_productbrochure.pdf

ICESPY

BY WINTER RECREATION TECHNOLOGIES



ICESPY™ JUST MADE WINTER BETTER.

Monitor a frozen water body from anywhere, anytime.

Say Hi to **ICESPY**. Now winter enthusiasts of all kinds can monitor a frozen lake or other water body remotely. Get frequent updates on ice thickness without leaving your home or office – plus, save drive time and vehicle miles!

ICESPY is an ice thickness monitor that's easy to deploy, and data can be viewed from anywhere you have an internet connection. Designed to be used year-round, **ICESPY** can be reused season after season.

ICESPY can be used by:

- Snowmobile/ATV clubs
- Ice anglers/fishing clubs
- Snow ski/snowshoe clubs
- Resorts and cabin owners
- County and state agencies
- and more!

HOW IT WORKS



ICESPY is installed like a buoy. Simply put it in the water, drop the anchor, and turn on the power switch. **ICESPY** can also be deployed in the winter by cutting a hole in the ice and dropping it in place.



Once installed, **ICESPY** takes measurements every 12 hours and transmits data wirelessly to an online portal. View the data remotely on your computer or mobile device.



The device is highly reflective and easily visible, rechargeable, and can be used in all seasons. And, access to the data can easily be shared with others if you choose.



At Winter Recreation Technologies, we use the most current technologies to develop products that give you better insights into outdoor conditions with the ability to monitor changes remotely and in real-time. WRT is proudly located in Richmond, Minnesota.

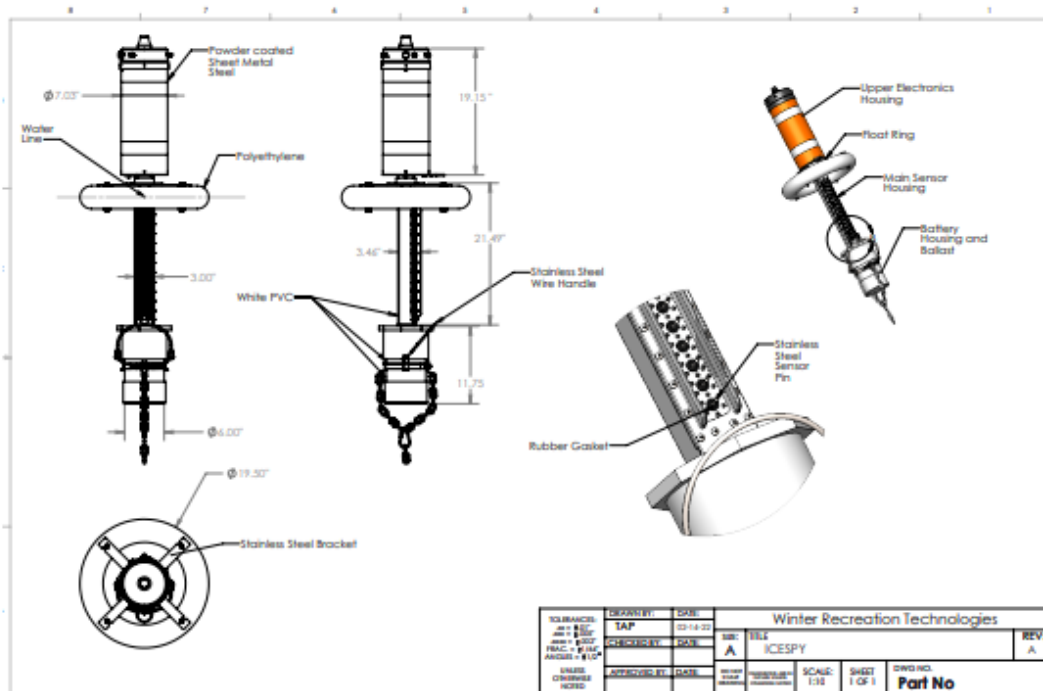
 WINTER RECREATION TECHNOLOGIES



SPECIFICATION SUMMARY

- Ice thickness measurement: Range of 1 to 16 inches in 1-inch increments
- Water/Ice temperature measurement: 0 to 85° F with 0.01° resolution and +/- 0.2° F accuracy
- Ambient temperature measurement: -40 to 100° F with 0.01 degree resolution and +/- 0.5° accuracy
- Measurement frequency: 12 hours
- Local display: Three LEDs viewable 360°. LEDs flash once per inch of ice and repeat every 4 minutes
- Power source: 6 VDC, 24 Ah rechargeable battery, up to 6 months operation between recharges. Ambient temperature range: -40 to 80° F
- Wireless connection: AT&T cellular network
- Minimum water depth for installation: 34 inches
- Unit weight: 35 lbs.

DIMENSIONS



Make your job easier. Order your **ICESPY** ice thickness monitor today by emailing info@winrectech.com or calling 612-229-3941.

Find us at www.winrectech.com.

No ice is ever completely safe. This device is meant to provide information as to the possible thickness of the ice that exists only where the unit is located. Winter Recreation Technologies LLC makes no warranties, express or implied, as to the ability of this product to determine whether any ice surface is safe to be entered upon by the user. Any act or failure to act based on a reading from this product shall be at the user's own risk.

© 2022 Winter Recreation Technologies LLC.
ICESPY™ by Winter Recreation Technologies LLC. Patent Pending. All rights reserved.

 **WINTER RECREATION
TECHNOLOGIES**

Vedlegg 5

Portable, non-invasive ice thickness measuring device (EDI-ICE)

<https://www.edi.lv/en/solutions/portative-non-invasive-ice-thickness-measuring-device/>

Portable, non-invasive ice thickness measuring device

HOME > SOLUTIONS > PORTATIVE, NON-INVASIVE ICE THICKNESS MEASURING DEVICE



Technical parameters

- Ice thickness measuring method: **contactless, electromagnetic**
- Ice thickness measurement range: **5cm ... 1.5m (3m*)**
- Ice thickness measurement accuracy: **±5 (1*) cm**

<https://www.edi.lv/en/solutions/portative-non-invasive-ice-thickness-measuring-device/>

1/4

- Measurement distance from ice to device: **from 50 cm to 1m**
- Operational temperature range: **from -30 °C to +50 °C**
- Power adapter (incl.) voltage range: **From + 9V to + 15V**
- Accuracy of Measurement Location (GPS): **≤5m**
- Data transfer standard: **GSM/ GPRS Quad-band (850, 900, 1800, 1900MHz)**
- SIM card size: **Standard**
- Graphic LCD screen: **128X64 pixels**
- Operation time of the device: **≥10 hours**
- Power source (included): **18650 size 3.6V Li-Ion battery packs [2 pieces]**
- Battery charging time: **≤ 5 hours**

Functionality

- Displays a single ice thickness measurement on a graphical LCD screen
- Determining the time and location of the measurement using GPS data
- Sending measurement data (ice thickness, coordinates, time) to a remote ThingsBoard™ server (<https://thingsboard.io/>) or another (subject to agreement with the customer).
- Display of measurement result on google / openstreet maps (optional)
- Configuring device settings (storage server address, etc.) via SMS (SMS)
- Low battery indication
- Indication of measurement quality (reliability) assessment
- Adjustable telescopic handle for adjusting the height of the sensor part



Figure 1. Application example

Device architecture

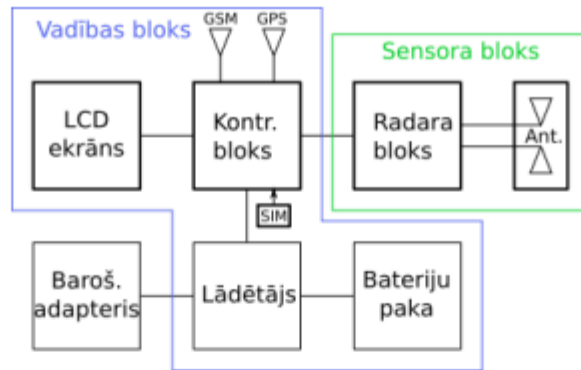


Figure 1. Device block diagram

Device working principle

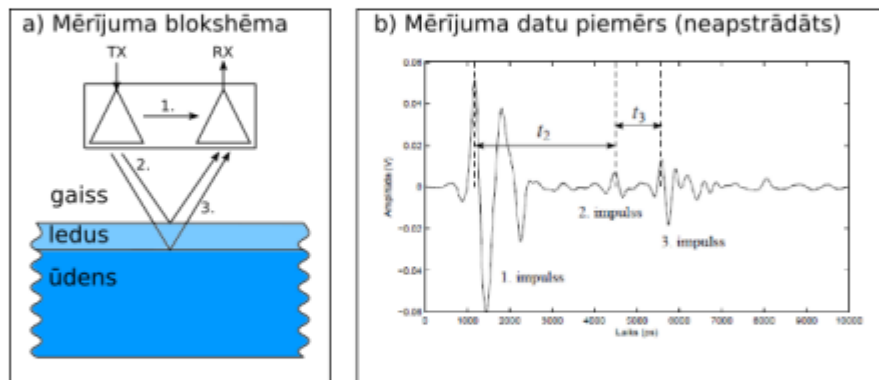


Figure 2. Ice thickness measurement working principle

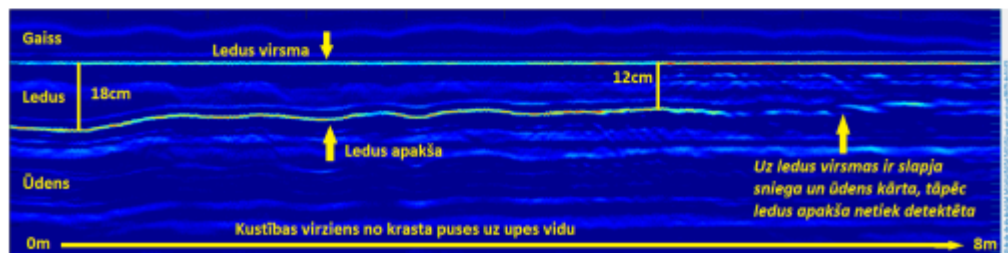


Figure 3. Ice thickness measurement example (Jugla river, 21.03.2018)

Email samtale med universitet i Latvia angående EDI ICE

From: Egils <eberins@edi.lv>
Sent: 08 April 2024 09:30
To: Raul-Laurentiu Mindru <raulalum@stud.ntnu.no>
Cc: Egils <eberins@edi.lv>
Subject: Portative, non-invasive ice thickness measuring device - EDI technology

dear Raul,

thank you for your message. Actually you can find the basic information about this technology in our website. Sure, we can sell this product: traditionally we sell licenses to use our technologies. This means : a company that received our license will be able to start a production independently from Institute and to include this into product list. I guess that The Norwegian University of Science and Technology is organizing the commercialization of own developed technologies in the same way. About ice thickness measurements: the latest tests were done by me personally and we saw that this device measures ice thickness from 2 cm up to 20-30-40 cm (with one of the new antenna design setups). We spend several years in order to find the correct antenna design. Hope you will understand the picture into attachment. Pls do not hesitate to ask additional questions.

In the case if The Norwegian University of Science and Technology would like to discuss about the commercialization of this technology or about some co-operation - we are open.

best regards,

Egils Berins

Cell: +371 26936323 ; E-mail: eberins@edi.lv

Institute of Electronics and Computer Science

14 Dzerbenes St., LV-1006, Riga, Latvia

<https://www.edi.lv/en/>

----- Forwarded Message -----

Subject: Portative, non-invasive ice thickness measuring device

Date: Sat, 6 Apr 2024 23:08:50 +0000

From: Raul-Laurentiu Mindru <raulalum@stud.ntnu.no>

To: info@edi.lv <info@edi.lv>

Hello,

My name is Raul. I am a 3rd year bachelor student in electrical engineering in Norway. I have your contact from <https://www.edi.lv/en/solutions/portative-non-invasive-ice-thickness-measuring-device/> <<https://www.edi.lv/en/solutions/portative-non-invasive-ice-thickness-measuring-device/>> about your non intrusive ice measurement device . My bachelor thesis is about finding and benchmarking sensors to measure ice thickness between 0-20cm (lake measurements). I want to know how your sensor measures ice thickness, the physical principle behind your product and if the product is for sale.

Thanks in advance for your reply,

Raul

 Reply

 Forward

Vedlegg 6

A1207 PENGAUGE – ultralydsensor:

<https://acs-international.com/product/pengauge/>

ACS ACOUSTIC CONTROL SYSTEMS

ACS-SOLUTIONS GMBH
SCIENCE PARK 2, 46123 SAARBRÜCKEN, GERMANY
PHONE: +49 (0) 681-94592270 | FAX: +49 (0) 681-94592280
WWW.ACS-INTERNATIONAL.COM | SALES@ACS-INTERNATIONAL.COM

A1207

PenGauge)))

World smallest & lightest thickness gauge
Easy to use with just three keys
Bluetooth connection to your smartphone
A-scan & thru-paint capability on iPhone & Android
Exchangeable dual-crystal or single-crystal transducer

Download on the **App Store** GET IT ON **Google Play**

ACTUAL SIZE

25.00 mm
Velocity 6100 m/s 50 dB

25.0 mm

2 19 mm

Specification

Transducer type	Dual-crystal transducer	Single-crystal transducer
Measuring range	0.8 to 50 mm 0.03 to 2 inch	5 to 150 mm 0.2 to 6 inch
Transducer frequency	7 MHz	5 MHz
Transducer aperture	6 mm 0.24 inch	8 mm 0.31 inch
Displayed resolution	0.01 up to 9.99 mm, 0.1 above 10 mm 0.001 inch	
Time of continuous operation	up to 16 hours	
Operating temperatures	30°C to +50°C / -20°F to 122°F	
Weight	60 grams / 0.13 pounds	
Physical size	125 x 25 x 15 mm 5.3 x 1.2 x 0.8 inch	

Special features:

- Single-hand operation
- Exchangeable transducer / automatic probe type recognition
- Automatic coupling indication
- Automatic timed shut-off
- Easy velocity & thickness calibration
- Automatic dual-crystal probe delay calibration on reference blocks in delivery set
- User selectable imperial or metric units



Delivery set

- Instrument with a built-in rechargeable battery
- Dual-crystal transducer D1572 (7 MHz, \varnothing 6 mm)
- Calibration samples 5 mm and 25 mm
- Couplant
- Power adapter & USB-cable
- Finger lanyard
- Hard shell carry case
- Optional: Single-crystal transducer S1573 (5 MHz, \varnothing 8mm)

Free software for iPhone & ANDROID

- Real-time digital values
- A-Scans
- Thickness profile (B-Scan)
- Customized measurement gates for through-coating measurements
- Saving results in groups of measurements
- Saving results as image and raw data (A-Scans)



ACS-SOLUTIONS GMBH
SCIENCE PARK 2, 66123 SAARBRÜCKEN, GERMANY
PHONE: +49 (0) 681-96392270 | FAX: +49 (0) 681-96392280
WWW.ACS-INTERNATIONAL.COM | SALES@ACS-INTERNATIONAL.COM

Electromagnetic Sounding

Vedlegg 7

Geonics EM31-MK2 – EM-teknologi:

<https://www.geo.uib.no/polarhovercraft/index.php?n=Main.EmSystem>

4/8/24, 12:00 AM

Polar Hovercraft "Sabvabaa" | Main / EmSystem browse

Blodgett-Hall Polar Presence - A hovercraft for polar research

Contents [\[hide\]](#)

1. [Electromagnetic \(EM\) ice thickness measurements](#)
 - 1.1. [Power supply](#)

1. Electromagnetic (EM) ice thickness measurements

EM sounding is a classical geophysical method to study the conductivity structure of the underground. In the case of sea ice thickness measurements, the method takes advantage of the fact that sea ice is highly resistive (almost as resistive as air), while the sea water underneath is very conductive. Therefore, the depth of the ice-water interface can be very accurately determined. An EM sensor does not require any physical contact with the underground. Therefore it can be operated from any moving platform (like a sledge, a helicopter, an airship, or a hovercraft). As the EM instrument determines the height of the sensor above the ice/water-interface, a laser or sonic distance meter is used to measure the height above the snow surface. The difference between both measurements is the snow-plus-ice thickness.

The EM ice thickness measurement method is described in [Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements of summer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica](#) by Dr. Christian Haas.

Instruments used are a Geonics EM31-MK2 conductivity meter manufactured by [Geonics](#), and a [Microsonic](#) mic-601/IU/HV/M30 sonic distance meter.

Python program that merges three serial data flows, used for logging of EM data:

- [ReadEM_2009.py](#)
- [EM-simulator.py](#) ^Δ, EM and Sonic simulator, March 2012



Dr. C. Haas besides Sabvabaa's EM ice thickness measuring instrument

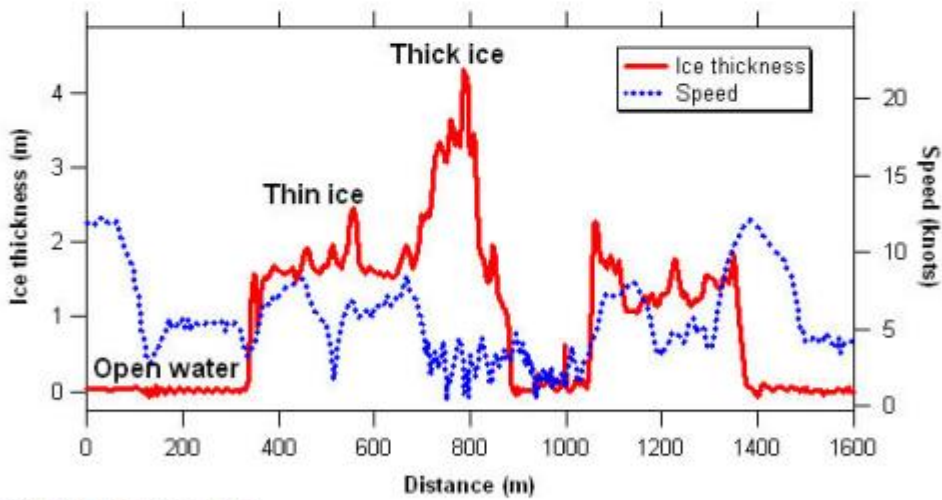
Credits Dr. Haas for text, article reprint and photo.

1.1. Power supply

Dept. of Earth Science made a prototype +/- 6 V power supply. [Description here](#)



EM ice thickness probe in the field in 2009



Sample EM ice thickness results 2008

Page last modified on March 24, 2012, at 04:32 PM

Department of Earth Science
University of Bergen
N O R W A Y

