



Isnavigering med crowd sourced radardata – en förstudie

Joakim Lundman, RISE avdelning Maritim

Ted Sjöblom, RISE avdelning Maritim

Leif Eriksson, Chalmers, Institutionen för rymd-, geo-
och miljövetenskap

RISE Rapport :P120776 – TrV 2023/98276

Isnavigering med crowd sourced radardata – en förstudie

Joakim Lundman, RISE avdelning Maritim

Ted Sjöblom, RISE avdelning Maritim

Leif Eriksson, Chalmers, Institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap

Ice navigation supported by crowd sourced radar data

Key words: Crowd sourcing sensor data, isnavigering, sensorfusion, kollektiv datainsamling, radar, objektidentifiering, isdrift, vintersjöfart, Ice navigation, uppkopplade farleder, framtidens isbrytare,

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport :P120776 – TrV 2023/98276

ISBN:

Chalmers, 2024



CHALMERS

Innehåll

Innehåll.....	2
Förord.....	4
Sammanfattning	5
1 Kontext	6
1.1 Bakgrund till studien.....	6
1.2 Isbryartjänsten idag	7
1.3 Isnavigering	8
1.3.1 Framföra fartyg i is	8
1.3.2 Strategisk och taktisk navigation	9
1.4 Behov	10
1.5 Genomförande.....	10
1.6 Förkortningslista	11
2 Studien.....	12
2.1 Ombordintervjuer isbrytare	12
2.2 Ombordstudier	13
2.3 Insikter från handelssjöfarten/näringen.....	16
2.4 Radardata ombord	17
2.4.1 Kalibrering- och standardiseringsbehov	18
2.4.2 Tillförlitlighet efter databearbetning.....	18
2.4.3 Systemgränssnitt för tredje parts API	19
2.4.4 Summering delning av radardata.....	19
2.5 Radardata från satellit.....	19
2.5.1 Satellitdatakällor	19
2.5.2 Isinformation från satellitdata	21
2.5.3 Isdriftsalgoritm.....	22
2.6 Försök med radar	22
3 Resultat.....	24
3.1 Vision för stödtjänst isnavigering med stöd från kollektiv radardata.....	24
3.2 Nautiskt koncept	25
3.2.1 Strategisk och taktisk isnavigation.....	25
3.2.2 Nautiskt koncept isnavigation.....	26
3.2.3 Operationsanalys.....	27
3.3 Analys av radardata	29
3.3.1 Isdynamik.....	29
3.3.2 Fusionering av fartygsradar och satellitradar	31
3.4 Tekniskt koncept	34

3.5	Möjliga tillämpningar	38
4	Rekommendationer	39
4.1	Slutsatser	39
4.2	Förslag på fortsättning	40
4.3	Potentiella vinster med fungerade tjänst	41
4.4	Utvecklingsbehov och utmaningar	42
	Referenser	44

Förord

Denna förstudie har finansierats av Trafikverkets forskning och innovationsportfölj för sjöfart och har genomförts av RISE Research Institutes of Sweden avdelning Maritim tillsammans med Chalmers institution för rymd-, geo och miljövetenskap. Idéer och stöd har kommit från Sjöfartsverkets forsknings och innovations enhet och från isbrytarledningen, SMHI Istjänst samt från representanter från svenska fartyg som opererar i Bottenvikens is.

Idéen till studien har varit att kombinera Chalmers forskning kring isobservationer med syntetisk apertur radardata för att bestämma isdrift (distanser, hastigheter och riktningar) för att förutspå ispress och var isvallar respektive råkar i isen kan förväntas uppstå och tillsammans med RISE fokusområde smarta fartyg skapa tillämpningar av forskningen som bidrar till att stärka svensk näring och sjöfart. En stor del av faktainsamling kommer genom att en av författarna tillbringade fyra veckor ombord på isbrytaren Ymer under issäsongen 2023/2024 som var en av de svårare på senare år. Eventuella fel i beskrivningen av isbrytarnas operation skall tillskrivas författarens tillkortakommanden.

Sammanfattning

Denna rapport, framtagen av RISE Maritim i samarbete med Chalmers, undersöker möjligheterna att förbättra säkerheten och effektiviteten inom vintersjöfart genom att använda crowd-sourced/kollektiva radardata och satellitbaserad radar (SAR). Förstudien adresserar de utmaningar som uppstår vid navigation i istäckta vatten, med fokus på taktisk och strategisk isnavigering.

Rapporten beskriver hur insamling och fusion av data från fartygsradar och satelliter kan bidra till en gemensam, realtidsuppdaterad lägesbild. Genom att kombinera dessa datakällor kan sjöfarten få tillgång till detaljerad information om isförhållanden, såsom isdrift, råkar och isvallar, vilket stöder bättre beslutsfattande och effektivare ruttplanering.

Förtudien omfattar ombordintervjuer med isbrytare, analyser av radardata och tester av tekniska koncept. Resultaten visar att delning av radardata mellan fartyg och isbrytare kan minska bränsleförbrukning, förbättra samordningen och öka tillgängligheten för isbrytarassistans. Rapporten belyser även tekniska och organisatoriska utmaningar, såsom standardisering av radarinställningar, cybersäkerhet och behovet av robusta API:er för datadelning.

Slutligen presenteras en vision för ett framtida stödsystem där data från olika källor integreras och tillgängliggörs via elektroniska navigationssystem. Detta system skulle kunna revolutionera vintersjöfarten genom att öka säkerheten, minska miljöpåverkan och stärka samarbetet mellan olika aktörer inom sjöfartssektorn.

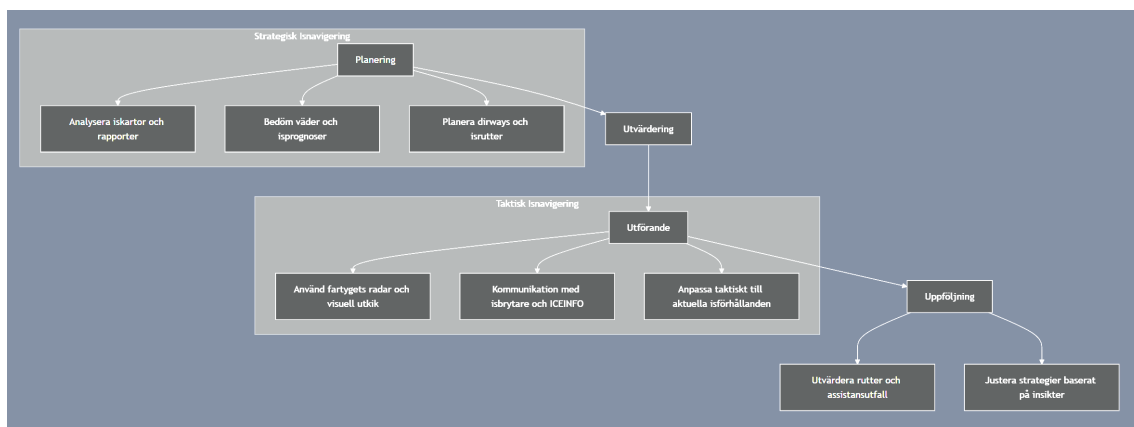
1 Kontext

1.1 Bakgrund till studien

Denna förstudie adresserar vintersjöfart. Bakgrunden är att den är en viktig del av det svenska och finska transportsystemet och även om havsisen i Bottenviken, Bottenhavet och Östersjön har minskat de senaste 30 åren så bildas det betydande mängder havsis vintertid. Sverige och Finland projekterar nu nästa generation isbrytare. En säker och effektiv vintersjöfart kommer att vara av betydande vikt även de närmsta decennierna.

Sjöfarten har stor potential att bidra till ett hållbarare samhälle och dess behov av säkra och effektiva transporter. I Föreningen Svensk Sjöfarts "Hållbar svensk sjöfart - Strategi för forskning, innovation och utveckling 2019–2023" (Ref 2) står det b.l.a.: "Digitaliseringens möjligheter – där fokus är tydligt på att utveckla en allt smartare sjöfart som verkar i symbios med allt smartare omgivande system". Med smarta fartyg menas här framtida fartygskoncept som drar nytta av framsteg inom digitalisering och automatisering. Arbete görs nu internationellt och i Sverige för att dra nytta av digitalisering och automation inom transportsektorn och här ligger Sverige långt framme.

Fartygets navigering och likaledes isnavigering kan delas upp i planering och genomförande. Såväl planering som genomförande aktiviteter kan utföras på en strategisk- och en taktisk nivå. För isnavigering på den strategiska nivån kan dagens israpporter och iskartor användas. Även satellitbaserade radardata tillför mycket information. På den taktiska nivån behövs mer detaljerad information om isen och här kan fartygets egen radarbild användas tillsammans med optisk utkik. Kommunikation sker även med Isbrytare eller ICEINFO rörande isbrytarkonvojer och isrutter.



Figur 1 Förhållandet mellan navigation på strategisk respektive taktisk nivå.

Det finns flera typer av satellitdata. Det som är mest tillämpligt för isobservationer är Syntetisk apertur radar (SAR) som har relativt hög upplösning och kan samlas in oberoende av molntäcke och utan krav på dagsljus. SAR data från satelliterna Sentinel-1A, 1B och 1C går att ladda ner gratis från EU:s Copernicusprogram. Annan data som kan vara viktigt för isläget och prognos är ytemperatur, vind, vågstatus och havsströmmar.

Syftet med studien är att öka vintersjöfartens säkerhet och effektivitet. Idén bakom förslaget är att förbättra den gemensamma lägesbilden kopplat till vintersjöfart och då framför allt information som stöder fartygens navigation på den taktiska nivån. Genom att kombinera redan befintliga datakällor erhålls en snabbare och mer användarvänlig presentation av läget än när presentationen sker i flera separata system. Avsikten är också att integrera ny information, genererad från befintliga datakällor, som kan bidra till ökad säkerhet och effektivitet

1.2 Isbrytartjänsten idag

Nedan ges en överblick av befintliga system och information.

I Sverige är det Sjöfartsverket som ansvarar för isbrytartjänsten och att det finns isfarleder vintertid. Sjöfartsverket ansvarar för att sjöfart kan bedrivas året om. Detta sker i nära samarbete med Finland då bägge länderna har kuster till Bottenviken, Bottenhavet och Östersjön. Sverige har fem äldre statsisbrytare i tjänst idag varav en är anpassad för Vänersjöfarten. Ett sjätte fartyg har köpts in under 2024 och kommer komplettera isbrytarflottan. Dessutom finns avtal på plats för att ta in ytterligare kapacitet från privata rederier.

Vintertid kan information om trafikrestriktioner och isbrytarnas verksamhetsområden erhållas från Sjöfartsverkets hemsida med hjälp av tjänsten ICE INFO, vilken:

- tar emot passageanmälningar, ankomstmeddelanden och avgångsmeddelanden från fartyg;
- ger information om isläget, isbrytarpositionerna och isfarleder;
- vidarebefordrar informationen till berörda aktörer genom det gemensamma systemet IBNET; och
- delger fartygen dirigeringsvägar och kontakt med isbrytarna

Isbrytarpositioner och dirigeringsvägar skickas via email till fartygen. Genom ytterligare utveckling av IBNET kan denna information skickas direkt till fartygen elektroniska navigationssystem.

Genom Automatic Identification System (AIS) sänds kontinuerligt fartygens både dynamiska, rese- och statiska information ut till omgivande fartyg och landorganisationer.

SMHI har implementerat en istjänst. Under isperioden (november till maj) publiceras daglig info om ytvattentemperaturer, kartor på isläget och prognoser på utbredning och isdrift. Iskartor och -rapporten är på en hög nivå och går inte att använda i fartygens taktiska isnavigering utan mer för strategisk planering. Information som ligger till grund för iskartor, rapporter och prognoser är bland annat: ytvattentemperatur, in-situ-observationer och satellitdata.

1.3 Isnavigering

Arbeta med isen – inte emot den! (Buyssse, 2007)

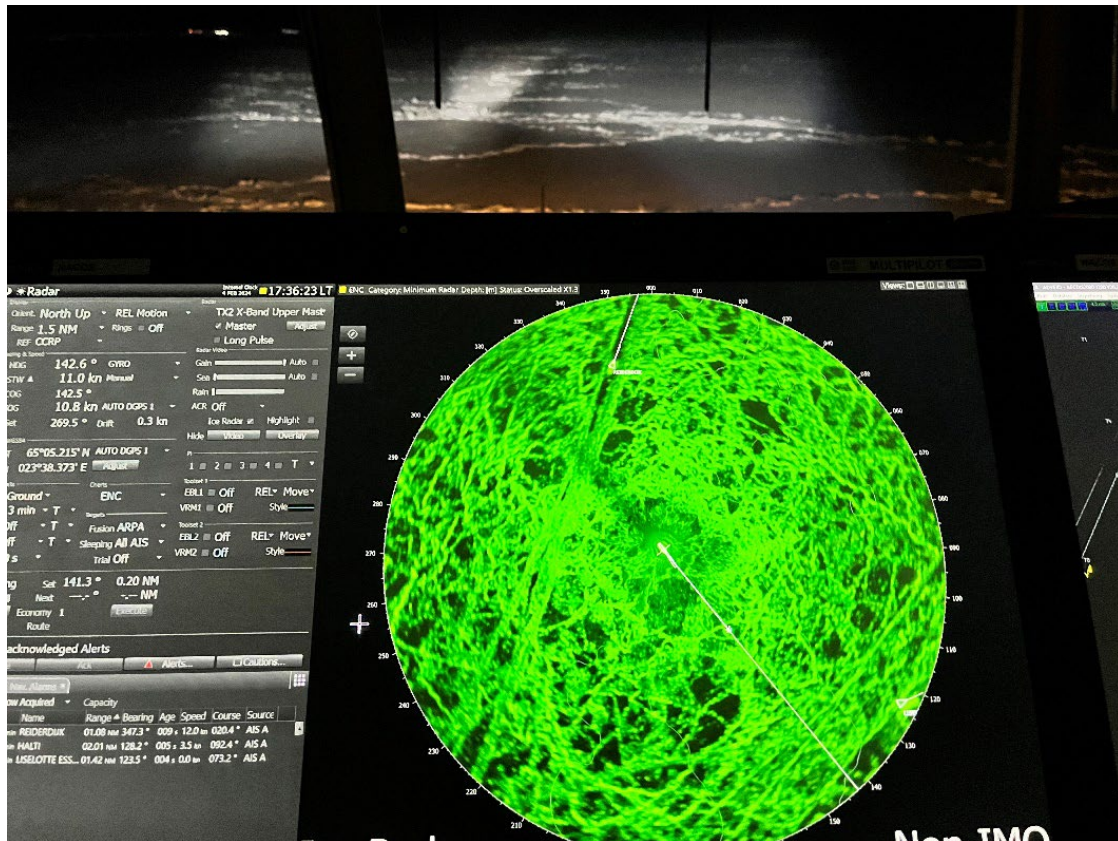
1.3.1 Framföra fartyg i is

Att framföra fartyg i istäckta vatten innebär ett specialfall av konventionell navigation och ruttplanering. I tillägg till normala faktorer som navigatören behöver ta hänsyn till så tillkommer isens utbredning och beskaffenhet tillsammans med risken för att köra in i ett område med så tät och hård is att fartyget fastnar. I svenska och finska vatten utfärdas krav på olika grader av isklass, enligt de finsk-svenska isklassreglerna, för att fartygen som färdas i istäckta områden skall räkna med assistans. När isen lägger sig över större områden lägger isbrytarna ut anvisade rutten som fartyg skall följa, s.k. dirways eller dirigeringsvägar.

Navigatörens viktigaste verktyg vid passage i istäckta vatten är radarn och visuell utkik, vilka påverkas också av förekomsten av is. En skarp utkik, nattetid med bistånd av strålkastare, och en väl inställd radar kan vara avgörande för att navigatören skall följa en uppbruten ränna eller undvika en isvall (Buyssse, 2007). Is längs kusten kan påverka radareköt och göra det svårare att identifiera landkonturen. Stampisvallar på grundare vatten kan till exempel misstas för land.

Olika radarsystems användningsområde ombord:

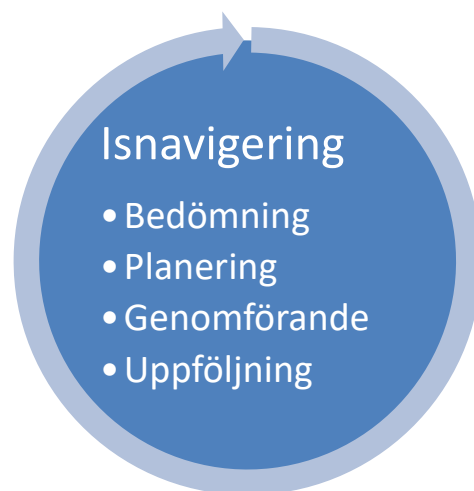
- X-band/3-cm radar används för att följa öppningar vid gång genom istäckta vatten och för att följa råkar och spår samt för att upptäcka vallar och råkar i isen.
- S-band/10-cm radar är lämplig för att upptäcka is i öppnare vatten och vid gång i is för att identifiera andra fartyg och större föremål, då X-bands radar lätt störs av klutter från isen.
- Isradar (radar processeing system) omvandlar rådata från X-bandsradar till digitala signaler som kan behandlas och presenteras på separat monitor där den rätt inställd ger en tydligare överblick över isen kring fartyget.



Figur 2 X-bandsradar på isbrytare inställd för isnavigation. Fartyget är centrerat i radarbilden, med 1,5 M radie.

1.3.2 Strategisk och taktisk navigation

Navigation och ruttplanering kan delas in i två övergripande nivåer; strategisk respektive taktisk. Bägge dessa nivåer har fyra faser; bedömning, planering, genomförande och slutligen uppföljning (Appraisal/Planing/Execution/Monitoring) (Bridge Procedures guide, 2022) (Bhattacharjee, u.d.).



Figur 3 (Is-)navigeringens fyra faser; bedömning, planering, genomförande och uppföljning.

1.4 Behov

Det finns möjligheter att komplettera dagens information till sjöfarten genom att kombinera redan befintliga dataset för att skapa en bättre bild av issituationen med hjälp av olika typer av radardata. Crowd sourcing eller kollektiv datainsamling har bland annat diskuterats när det gäller att få in mer data till SMHI:s strömmodeller. I studien avses att bygga vidare på denna idé och undersöka om radardata från fartyg kan användas på liknande sätt.

Vidare studeras möjligheter med information om isdynamik baserat på data från satellitburen SAR-data och möjligheter med datafusion mellan SAR-data och fartygsradardata. Detta åstadkoms genom analys och enklare prototyping.

Med befintliga isdriftsalgoritmer kan man idag ta fram vektorfält som visar hur isen förflyttat sig mellan två satellitbilder. Med information om isdriften genereras kartor som visar var isen konvergerar respektive divergerar, dvs var isen tryckts ihop och det finns risk att isvallar bildas respektive var isen dragits isär och där det är troligt att råkar öppnats upp. Med längre tidsserier av satellitbilder kan man följa dessa förlopp vilket gör det lättare att uppskatta hur svårt det är att ta sig igenom isen i olika områden.

1.5 Genomförande

I studien definieras ett användarfall (use case) baserat på diskussioner med relevanta användare och avnämare för informationen via bland annat referensgruppen.

Intervjuer och studier ombord på en av statsisbrytarna möjliggjordes av att en RISE medarbetare tjänstgjorde ombord under fyra veckor i januari-februari 2023. Detta innebar också att personalen ombord involverades i projektet och bidrog till underlaget.

Parallellt samlades representanter från SMHI:s istjänst, Sjöfartsverkets isbrytarledning och personal från en av isbrytarna i en referensgrupp där möjlighet gavs att kommentera på arbetet. Även personal från handelsfartyg som opererar vintertid i Bottenviken har intervjuats.

Användarfallet har brutits ned till ett nautiskt koncept som praktiskt beskriver hur den nya informationen kan användas ombord på fartygen. Det genomfördes bland annat med hjälp av en operationsanalys.

1.6 Förkortningslista

AI	Artificial Intelligence
AIS	Automatic Identification System
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
CET	Central European Time
CO ₂	Koldioxid
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
ENC	Electronic Navigation Chart
FAL	Convention on Facilitation of International Maritime Traffic
Fol	Forskning och Innovation
GB	Gigabyte
GHz	Gigahertz
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Service
IB	Isbrytare
IBNET	Ice Breaker Network
IHO	International Hydrographical Organization
IMO	International Maritime Organisation
IP	Intenetprotokoll
JIT	Just in Time
LEO	Low Earth Orbit satellite
Loa	Längd överallt
LTE	Long Term Evolution Broadband network (4G)
M	Nautisk mil, sjömil (1852m)
MSC	IMO Maritime Safety Committee
NTP	Network Time Protocol
SAR	Syntetisk Aperatur Radar
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
SOLAS	Safety of Lives at Sea convention 1978
STCW	International convention on Standards for Training, Certification and watchkeeping for Seafarers, 2014
STM	Sea Traffic Management
TB	Terabyte
UAV	Unmanned Arial Vehicle
VDES	VHF Data Exchange System
VDR	Voyage Data Recorders
VHF	Very High Frequency radio
VTs	Vessel Traffic Service

2 Studien

2.1 Ombordintervjuer isbrytare

Tes och ansatserna för studien att dela radardata och kombinera den med satellitdata presenterades för styrmän och kaptener på isbrytare för att få deras insikter och kommentarer till dem. Likaså emottogs tacksamt annan input och åsikter om hur isbrytningen genomförs och vilka önskemål om förbättringar och hjälpmedel som fanns.

Sammanfattningsvis tycks styrmän med lång erfarenhet av isbrytartjänst vara mer nöjda med de hjälpmedel som står dem till buds än de som gör sina första säsonger och som har erfarenheter från andra beslutsstödsystem. En återkommande kommentar är värdet av frekventare uppdateringar av satellitdata. Då detta styrs av tillgängliga satelliter och när dessa passerar över Bottenviken kan det vara värt att studera vidare på vilka sätt det går att öka värdet av den information som satellitbilderna som de facto finns tillhands kan ge.

Att direkt dela radarbild mellan isbrytare och andra fartyg i området kan enligt styrmännen på isbrytarna vara av begränsat värde, helt enkelt för att radarbilden justerats på ett helt annat sätt när den används ombord på isbrytaren. En styrman på dem får inte ut den information som han är intresserad av från en radarbild som en styrman på ett handelsfartyg ställt in för att navigera med.

Däremot är det önskvärt att kunna dela radarbilder mellan isbrytare, till exempel om två isbrytare är på väg mot varandra med assisterande fartyg kunde de dela sin radarbild med varandra. Då kan de till exempel bedöma om de vågar släppa sitt assisterade fartyg för att på egen hand segla den andra isbrytaren tillmötes och inte behöva assistera den hela vägen dit och sedan vända tillbaka igen. Med 12 M (sjömil) radarbilder skulle det kunna spara in upp till 20 M segling om bilden tydligt kunde visa att det är lätta förhållanden mellan dem, även om det i de flesta fall skulle handla om kortare distanser än så.

Isbrytning i tuffa isförhållanden kan ta betydande tid och energi i anspråk. Hög energiförbrukning medför höga driftskostnader och stora utsläpp av CO₂. Att lösgöra en isbrytare från en eskort tidigare skulle öka tillgängligheten när många fartyg väntar på assistans och isbrytaren skulle kunna ta sig fortare till dem och även minska bunkerförbrukningen betydligt.

Isbrytarna opererar till stor del på samma sätt som när de var en del av Marinen, men med betydligt mindre personal ombord. Något som saknas enligt de som tjänstgjorde ombord då och som fortfarande är delaktiga i isbrytningen är flygspaningen, för såväl operativa som taktiska vägval. Tidigare fanns det tillgång till helikopter ombord, där pilot och en nautiker kunde rekognosera för situationsbedömning samt för isspaning. Dessutom kom det rapporter om observationer från Linjeflyg när de passerade över området. Det pågår försök med flygande drönare för isspaning på ATLE, men med begränsad räckvidd och väderkänsligt system. Utmaning i att när isspaning behövs som mest är det i regel också när det är svårast att flyga.

Önskemål om uppkopplingar med större bandbredd ombord där Starlink eller annat system med Low Earth Orbit satelliter skulle öppna för nya möjligheter. För tillfället erbjuds lösningar med upp till 1 TB/månad.

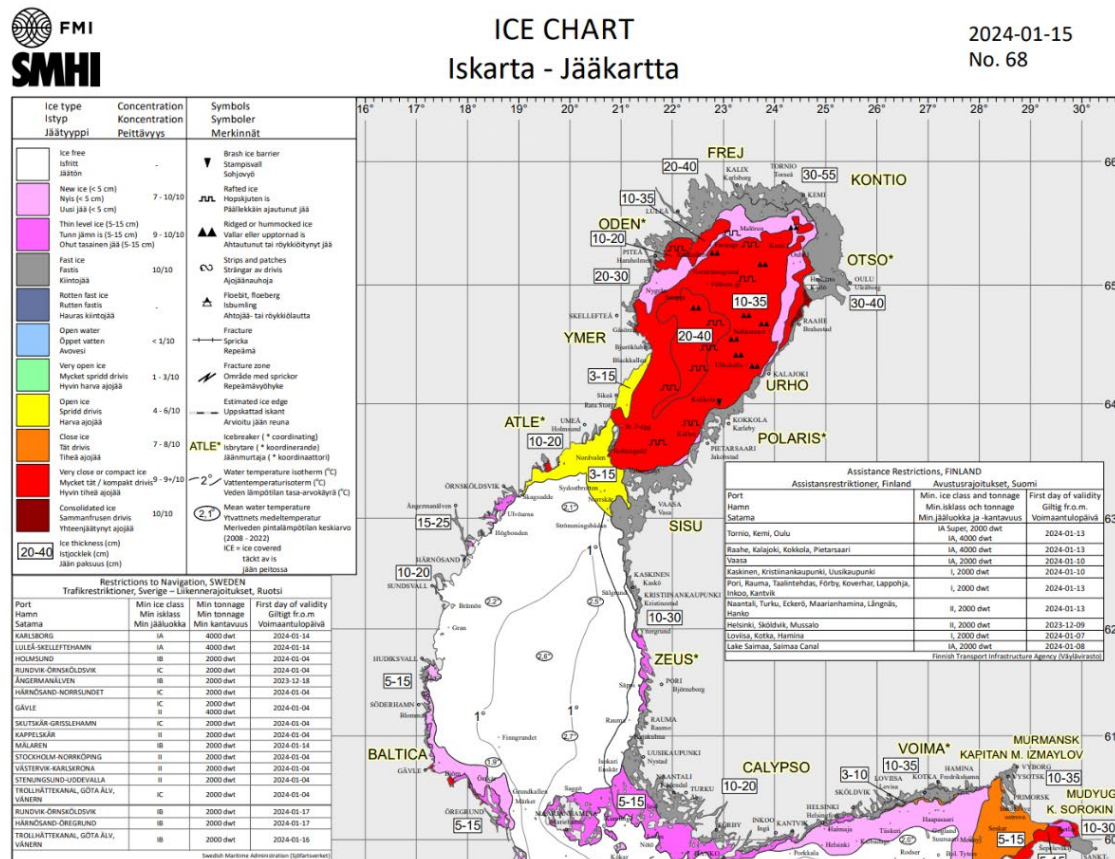
IB-Net upplevs som väldigt potent och det uppskattas att systemet fortsätter att utvecklas med nya funktioner, men det skrapar enligt användarna ombord bara på ytan av funktionaliteter. Idag finns det två fasta kameror som ger möjlighet att i realtid se is- och väderförhållanden; en i Karleby på finska kusten och en på Nordvalens fyr. Önskvärt att koppla in fler fasta kameror i IB-Net. Dessa skulle kunna kopplas till sensorfusionen med fartygsradar och satellit dito.

2.2 Ombordstudier

Isbrytarna ansvarar för trafiken i olika områden där de assisterar fartygen i det området med dirways och vid behov assistans. Områden beror på aktuellt isläge och isens utbredning. Under säsongen 2023–2024 användes de tre ATLE-klass isbrytarna för varsitt kustområde från Nordvalen längs norra Bottenhavet och Bottenviken upp till finska gränsen. Ett fartyg låg utanför Nordvalen, ett höll farlederna in till Skellefteå och Piteå hamn öppna och det tredje utgick från Luleå och ansvarade för de nordligaste hamnarna. Den fjärde isbrytaren av ODEN-klass agerade som koordinerande isbrytare och höll igång trafiken i nord-sydlig riktning. Det gjordes en översiktlig planering för trafiken och i vilken ordning fartyg skulle assisteras för de kommande 12–24 hrs, men mycket ad-hoc omplanering under gång.

Planeringen tar inte alltid hänsyn till prioriteringar i assistans med hänsyn till last eller samhällsnytta. Det kan noteras flera exempel med i efterhand onödiga förhållningar och där mycket tid och energi lades på att assistera fartyg som i slutändan inte var tidskritiskt utan skulle ligga och vänta på hantering i hamnen. Om besluten hade stämts av oftare med de andra aktörerna så som stuveri, lots, lotsbåt, bogserbåt, fartyg etcetera är det inte omöjligt att de tagits större hänsyn till den övergripande situationen och optimerat insatserna.

Kommunikationen mellan isbrytarna och de assisterade fartygen via VHF är kortfattad och fokuserad, vilket kan bidra till att minska onödig radiotrafik och skapa ett effektivt flöde av information. Det finns dock potential att ytterligare förbättra samarbetet genom att ge mer insikt i isbrytarnas intentioner och planer för verksamheten. Detta skulle kunna skapa en bättre framförhållning och ge kapten och besättning på assisterade fartyg möjlighet att planera sin tid mer effektivt, till exempel genom att ta vara på väntetid för vila och återhämtning. En sådan förbättring skulle kunna bidra till ännu smidigare och mer välkoordinerade operationer.



© RISE Research Institutes of Sweden

Assistans för att bryta loss ett fartyg som fastnat i isen innebär mycket närgångna manövrar och att passera på mycket nära avstånd i 10 knops fart. En lösning är s.k. quarter-pass när isbrytaren kommer från låring och styr mot fören på fartyget, på nära håll faller isbrytaren av något och isen som packas mellan fartygen agerar som en kudde som pressar bort isbrytaren från skrovet och gör att isbrytaren går klart för om fartyget på nära håll. Då uppstår normalt en spricka från fartygets för och ut i rännan. Om fartyget då ligger med maskinerna i full fart framåt kan det utnyttja öppningen och ta sig ut i isbrytarens kölvatten (Buysse, 2007).



Figur 5 Isbrytare bryter loss fartyg som fastnat i isen med s.k. Quarter pass. Notera sprickbildningen från den uppbrutna rännan mot fartygets förstäv.

Utgångspunkt därefter är att assisterat fartyg skall ha full fart framåt och att det är isbrytaren som håller säkert avstånd utifrån den fart det andra fartyget kan hålla. För att inte fartyget skall riskera att fastna i isen igen behöver det hållas tajta avstånd med assisterat fartyg, 0,4–0,6 M för mindre tonnage. Det ställer stora krav på att aktivt monitorera och anpassa isbrytarens fart.



Figur 6 Isbrytare som genomfört en Quarter pass. Assisterade fartyget kan med fullt påslag i maskin nyttja sprickorna och tränga sig ut i den uppbrutna rännan.

Det är centralt att alltid ha en genomtänkt plan för assistansen, men också ha en alternativ plan redo. Inte låsa sig vid den ena om förutsättningarna visar sig vara annorlunda. Det anses inte vara någon idé att dela intentioner för tidigt, i stället väljer besättningen att avvakta tills man har bra uppfattning av situationen och förutsättningarna.

Idag spelar satellitbilderna en central roll för isbrytarna att planera den kommande verksamheten och för att uppdatera dirways som ges till handelssjöfarten. Bilderna uppdateras när aktuella satelliter passerar över Bottenviken, vilket sker med minst 12 timmars mellanrum. För att kompensera för den långa uppdateringshastigheten simulerar besättning olika scenarier för isdriften utifrån rådande och förväntade ström och vindriktning och helt enkelt stegar fram satellitbilden som överlagrats på en översiktskarta över Bottenviken.

2.3 Insikter från handelssjöfarten/näringen

Majoriteten av de fartyg som får direkt assistans av isbrytarna är mindre tonnage som även om de uppfyller de aktuella kraven för isklass inte alltid kan ta sig fram för egen maskin genom tuffare isförhållanden. När dessa får problem att ta sig fram genom isen eller fastnar i densamma bistår isbrytarna dem antingen med eskort eller iskonvoj och de följer efter isbrytaren i uppbruten ränna genom isen eller under svårare förhållande kopplade direkt mot isbrytarens bogserklyka med vajer eller tross. Uppfattning om dessa fartyg från besättningarna på isbrytarna är att de saknar mer än de mest basala verktygen på bryggan.

Utöver dessa finns det större och maskinstarkare fartyg som frekvent opererar i Bottenviken året runt, som till exempel pappersindustriernas fartyg byggda för att

uppfylla den högsta finsk-svenska isklassen 1A Super. Dessa uppträder i regel på egen hand men följer givna dirways och stödjer indirekt isbrytarna med att hålla rännorna öppna. Fartygen har typiskt en högre standard på bryggutrustningen och fler moderna verktyg ombord än det mindre tonnaget. Inom studien fanns en hypotes om att dela radardata från civila handelsfartyg och isbrytarna för att ge bättre situational awareness. Idén delas upp i två tillämpningar:

1. Dela live radardata direkt mellan två fartyg eller isbrytare som själva får tolka data och agera utifrån den eller
2. Dela radardata till en tjänst iland och ta del av aggregerad information där radardata och satellitdata fusioneras och tolkas innan den delges som beslutsstöd till fartygen

Navigationsansvariga ombord på handelsfartygen visade stort intresse av att ta del av beslutsstöd för planering och navigering. Det konstateras dock att även ombord på de fartyg som återkommande trafikerar Bottenviken under issäsongen är det få styrmän som är vana vid att köra i istäckta vatten, många följer bara givna dirways. För dem kan det vara en utmaning att tolka ytterligare radardata. Navigationsansvariga som får ta del av en isradarbild bekräftar att isbrytarnas besättning ställer in radarn med helt andra inställningar än vad som är normalt för vanlig navigering och manövrering för att se strukturen i isen. Det är lämpligare att de civila styrmännen i stället får ta del av processade data med rekommendationer.

Att handelsfartygen skulle delge isbrytarna underlag från fartyget och att de utifrån det kan ge bättre dirways uppfattas som välkommet. Allt som underlättar navigeringen i istäckta vatten, sparar tid och framför allt bunkers för handelsfartygen är prioriterat. Det upplevs redan idag att det är en utmaning med vilotiderna och marginalen för störningar i form av is är obefintliga när tidtabellerna för linjesjöfarten skall hållas.

Ett öppet resonemang om att det kanske krävs en separat radar som är dedikerad för delning av is data konstaterar att även om det är en investering förknippad med en extra radar kan det betala sig med minskad bunkerförbrukning och mindre risk för förseningar genom isen.

2.4 Radardata ombord

Fartyg över 3 000 bruttoton är enligt SOLAS skyldiga att ha både 9 GHz och 3 GHz radar ombord, vilket primärt används för navigering och kollisionsundvikande. Vid isnavigeringen är radar också ett ovärderligt verktyg för att identifiera isens egenskaper, som råkar och isvallar, och för att optimera ruttval genom isfält. Genom att använda radar på ett effektivt sätt kan fartyg minska bränsleförbrukningen och förbättra energieffektiviteten, vilket stärker både säkerheten och hållbarheten inom vintersjöfarten. Mera om detta kan läsas i kapitel 1.3 Isnavigering.

Teoretiskt sett skulle radardata från alla fartyg i ett område kunna samlas in och användas för att skapa en gemensam och detaljerad lägesbild av issituationen. Kommersiella fartyg är redan utrustade med radar, fartygens externa dataöverföringskapacitet kan hanteras både genom optimering med mjukvara samt nyttjande av

ständigt ökande utbud av kombination av datalänkar som exempelvis satellit och LTE, därav anses den tekniska mognaden finns för att möjliggöra detta. Dock saknas infrastruktur för att samla in data genom etablerade gränssnitt mellan ombordsystem, valideringsmetodik och dela data på ett standardiserat och tillförlitligt sätt.

Radar ombord är en del av den operationskritiska utrustningen, och det är därför av största vikt att upprätthålla hög cybersäkerhet vid hantering av systemet. Eventuella anslutningar till tredje part eller direktkopplingar till internet måste utformas med största försiktighet för att minimera risken för intrång eller manipulation. Detta kräver implementering av robusta säkerhetslösningar, som exempelvis segmentering av nätverk, användning av säkra kommunikationsprotokoll och kontinuerlig övervakning för att upptäcka och hantera potentiella hot.

För att implementera kollektiv datainsamling från fartygssystem behöver flera utmaningar hanteras.

2.4.1 Kalibrering- och standardiseringsbehov

Dagens radarinstallationer på befintliga handelsfartyg är sällan dedikerade enbart för att identifiera isfältens struktur, då den primära användningen är för navigering och trafikövervakning. För att använda radarstationer för att observera isläget krävs ofta att radarbilderna justeras och anpassas efter det specifika ändamålet. Inställning av inhämtande av islägesbild kan dock påverka radarns prestanda negativt för andra kritiska funktioner, såsom övervakning av trafikläget. Det kan hanteras med dedikerade radarstationer ombord.

Kalibreringen av radarbilder för is-observation varierar mellan operatörer, tillverkare och även mellan olika installationer. Skillnader i enheternas inställningar både manuella och automatiserade samt övriga systembegränsningar kan göra dem mindre effektiva för inhämtning av is-relaterad information på grund av en stor variation av radarobservationer som fångas i radarbilden. Kalibrering av radarbilden ligger idag på operatörens ansvar, och utgår ofta från rådande omständigheter och tillgängliga referensobjekt, samt egna preferenser. Därav är en fullt automatiserad inställning av radarbilden utmanande då mycket beror på de externa förhållandena. Dessa variationer försvårar dessutom standardisering och samordning, vilket är avgörande för att möjliggöra ett enhetligt och tillförlitligt system för datainsamling och analys.

2.4.2 Tillförlitlighet efter databearbetning

För att skapa ett tillförlitligt och användbart beslutsstöd krävs fusion av radardata från flera källor. Detta innebär att data från olika radarstationer måste kombineras och bearbetas för att skapa en sammanhängande och tydlig lägesbild. Överlappande områden mellan radarstationer medför att systemet måste hantera både redundanta och potentiellt motstridiga detekteringar. Falska detekteringar kan uppstå på grund av externa faktorer som väderförhållanden, isflakens reflektioner eller störningar från andra fartyg, vilket ställer krav på avancerad filtrering och datavalidering.

2.4.3 Systemgränssnitt för tredje parts API

De nuvarande radarinstallationerna på kommersiella fartyg har inte specificerat att tillhandahålla API (application programming interface) för insamling av lågnivåsdetektdata av tredjepartssystem på ett öppet dokumenterat API. Ett av de få befintliga systemen som samlar in radar data ombord är Voyage Data Recorders (VDR), som registrerar radarbilder i form av en skärminspelning från operatörens gränssnitt. Denna metod innebär att radardetektdata inte kommuniceras i ett separerat eller datorläsbart format, utan oftast enbart som videobaserad information. Detta begränsar avsevärt möjligheten att använda radardata för avancerade analyser, realtidsbearbetning eller beslutstöd som kräver tillgång till lågnivådata och punktdetektering.

För att möjliggöra extern åtkomst till radardata krävs utveckling av gränssnitt som är väl dokumenterade och öppna för tredjeparts integrationer, för att kunna hantera insamling och delning av radardata på ett säkert och effektivt sätt. Utvecklingen av nya gränssnitt måste dock ta hänsyn till produktcertifiering och säkerhetskrav. För att en sådan funktionalitet ska kunna implementeras och accepteras brett kan det komma att krävas standardisering och krav på internationell nivå för navigations- och radarsystem. Detta innebär att involvera tillverkare, reglerande organ och branschorganisationer i processen för att säkerställa både kompatibilitet och efterlevnad av säkerhets- och kvalitetskrav.

Ett framgångsrikt införande av sådana gränssnitt skulle kunna revolutionera användningen av radardata, genom att möjliggöra tredjeparts integrationer skapa mera flexibilitet i systemuppsättning och därav ökar marknadskonkurrensen inom sjöfarten.

2.4.4 Summering delning av radardata

Att utveckla och implementera kollektiv datainsamling skulle kunna öka säkerheten och effektiviteten inom vintersjöfarten utan också minska miljöpåverkan genom lägre bränsleförbrukning och färre driftstopp. Arbetet med att skapa standarder för datainsamling och integration är dock omfattande, särskilt om man inkluderar hela internationella handelsflottan. Det är därför viktigt att i ett tidigt skede utvärdera och kvantifiera de potentiella nyttorna med en sådan lösning innan en bred implementering föreslås.

2.5 Radardata från satellit

2.5.1 Satellitdatakällor

Sedan början av 1990-talet används högupplösta radarbilder (SAR) från europeiska och kanadensiska satelliter som bas för att framställa iskartor för Östersjön (se exempel i Figur 2 ovan). Samma satellitbilder är tillgängliga för isbrytarna via IB-Net. Sedan 10 år kommer majoriteten av dessa radarbilder från Sentinel-1 satelliterna som är en del av Europeiska unionens Copernicusprogram (<https://www.copernicus.eu/en>). Sentinel-1A sköts upp 3 april 2014, Sentinel-1B 25 april 2016 och Sentinel-1C 5 december 2024. Målet är att alltid ha två aktiva Sentinel-1 satelliter i omloppsbana för att öka frekvensen då SAR-bilder kan tas. Den 23 december 2021 drabbades Sentinel-1B av ett allvarligt

elfel som gjorde att dess radar inte längre kunde användas. Uppskjutningen av ersättaren Sentinel-1C försenades av problem med den nya europeiska raketen Vega-C, men efter en inledande period av tester och kalibrering bör insamling av SAR-data med två Sentinel-1 satelliter kunna återupptas under 2025. För att säkra kontinuiteten av data är planen att skjuta upp Sentinel-1D i omloppsbanan innan Sentinel-1A slutar fungera.

Under tiden då bara Sentinel-1A var aktiv har även SAR-data från andra satelliter kunnat användas. Detta inkluderar de kanadensiska satellitsystemen Radarsat-2 och Radarsat Constellation Mission (RCM), det italienska satellitsystemet COSMO-SkyMed och de tyska TerraSAR-X satelliterna. Sentinel-1, Radarsat-2 och RCM har SAR-system på C-band (runt 5,4 GHz) medan COSMO-SkyMed och TerraSAR-X använder X-band (runt 9,6 GHz). Flera av dessa SAR-system har möjlighet att ta bilder med en rumslig upplösning på mindre än 3 m, men då det inte är möjligt att täcka stora områden med så hög upplösning används normalt sett SAR data med en upplösning på 10–20 m för havsis i Östersjön. För Sentinel-1 används den observationsmod som kallas "Interferometric Wide swath" (IW) som ger 20 m upplösning och täcker ett område som är 250 km brett.

Alla dessa SAR-satelliter ligger i nästan polära banor på mellan 500 km och 700 km höjd. För att optimera energin från satelliternas solpaneler ligger de i solsynkrona banor och passerar ekvatorn ungefär 6:00 och 18:00 lokal tid. Ett varv runt jorden tar ca 90 minuter så tiden mellan ekvatorpassage och våra breddgrader är drygt 15 minuter, men det tar 11–15 dagar (beroende på satellit) innan en satellit passerar över exakt samma plats. Med fler satelliter kortas repetitionscykeln. Varje Sentinel-1 satellit har en repetitionscykel som är 12 dagar, så med två Sentinel-1 satelliter kommer man ned i 6 dagars repetitionscykel. Satellitbilder med en bredd på 250 km ger relativt mycket överlapp mellan närliggande satellitbanor så för Bottenviken kan man med en satellit få två satellitbilder samma dag medan man vissa dagar inte får någon bild alls. Med två satelliter får man normalt sett minst en bild per dag.

Satellitdata från Copernicusprogrammet, inklusive SAR-bilder från Sentinel-1, är fritt tillgängliga, medan SAR-bilder från andra satelliter kan köpas eller kräver specialavtal. Under perioden då bara Sentinel-1A varit aktiv har sådana specialavtal upprättats som gett isbrytarledningarna och istjänsterna i Sverige och Finland tillgång till fler SAR-bilder än från Sentinel-1A. I denna förstudie har vi bara använt SAR-bilder från Sentinel-1A.

Som komplement till SAR-bilder kan optiska satellitbilder användas. Denna typ av bilder finns med rumsliga upplösningar från 25 cm till 500 m, men som för SAR-bilder gäller att man med hög upplösning bara kan täcka små områden. Största nackdelarna med optiska bilder är att de kräver klart väder (inga moln) och solljus, vilket inte gör dem lämpliga som förstahandsval för operationell isinformation eftersom det i Bottenviken ofta är mörkt och molnigt under issäsongen. Inom Copernicus-programmet går det att få fria optiska bilder från Sentinel-2 och Sentinel-3 satelliterna. Sentinel-2 ger en rumslig upplösning på 10–60 m, beroende på spektralband, och en bildbredd på 290 km, medan Sentinel-3 erbjuder rumslig upplösning på 300 - 500 m, men med fler spektralband och en bildbredd på nästan 1500 km. Vår förstudie är fokuserad på radardata och har inte inkluderat några optiska data.

2.5.2 Isinformation från satellitdata

Varje SAR-bild ger en översikt över isläget då bilden togs och används för att identifiera iskanten och isflak, beräkna isens utbredning och koncentration, upptäcka och följa sprickor, råkar och isvallar samt för att ge en uppfattning om istyp och istjocklek. SAR-bilderna är enkelt uttryckt känsliga för ytans fuktighet och skrovlighet samt till viss del andelen luftbubblor och "fickor" med saltvatten i isen. För öppet vatten gäller att med ökande vindhastighet ökar vattenytans "skrovlighet" vilket gör att vid vissa vindriktningar ökar styrkan på den reflekterade radarsignalen. Är det vindstilla kan vattenytan se ut som slät nyfrusen is i radarbilden, medan stark vind kan ge en vattenyta som har samma radarsignatur som mycket skrovlig is. Har SAR-bilden två polarisationer (HH och HV eller VV och VH) kan man minska risken för dessa tvetydigheter eftersom radarsignalens korspolarisation (HV eller VH) inte är lika känslig för vind över öppet vatten som de "vanliga" polarisationerna HH och VV.

Tvetydigheter kan också uppträda på våren då isens yta eller snön på isen blir fuktig eller smälter. Smältpölar och hög fuktighet maskerar den underliggande isen och försvårar istypsklassificering. I vissa fall kan is med blöt yta få samma radarsignatur som öppet vatten. Radarvågor med längre våglängd har större möjlighet att tränga igenom en fuktig yta och bidra till en korrekt klassificering. Det finns japanska och argentinska satelliter med SAR-system på L-band (omkring 1,2 GHz), men dessa tar inte bilder över Bottenviken tillräckligt ofta för att bidra till den operationella iskarteringen i området. Detta kommer troligen att ändras om några år då det europeiska Copernicussystemet utökas med satelliter med L-bands SAR (går än så länge under namnet ROSE-L).

Ovan nämnda isinformation från SAR-data används redan av isbrytare och istjänster i Sverige och Finland. Det är statisk information från en SAR-bild eller förändringar som identifieras genom att jämföra två bilder. Med två eller fler bilder i en tidsserie går det dock även att få fram information om isdynamik såsom isdrift och isdeformation. Denna information är än så länge underutnyttjad eller används inte alls.

I Bottenviken är vinden främsta orsaken till isdrift, men havsströmmar påverkar också isens rörelser. Havsisens rörlighet begränsas av land, öar och grund, men fritt rörlig is kan förflytta sig mer än en km per timme. Om delar av isen rör sig olika fort får vi divergens (isen dras isär) eller konvergens (isen trycks ihop). Vid divergens öppnas sprickor, råkar eller större områden med öppet vatten. Vid konvergens minskar eller sluts områden med öppet vatten och isflak skjuts upp på varandra eller krossas. När isen krossas kan isvallar bildas. Dessa isvallar kan bli flera meter tjocka och utgör då hinder för sjöfarten. Ett vanligt exempel i Bottenviken är när vinden trycker den fritt rörliga isen över mot den finska sidan medan fastisen stannar längs den svenska kusten. Detta ökar framkomligheten längs den svenska kusten, men ger mer kompakt och svårframkomlig is längs finska kusten. Fält av isvallar kan bildas som sedan följer med drivisen om vinden skiftar riktning.

Genom datorstödd analys av två satellitbilder går det att bestämma hur långt isen rört sig på olika ställen under tiden mellan bilderna och vilka riktningar den rört sig i. Med denna information kan man beräkna drifhastigheter och identifiera områden med trolig divergens, konvergens, skjuvning eller rotation.

2.5.3 Isdriftsalgoritm

Som nämnts i föregående avsnitt kan isdrift och isdeformation beräknas från SAR-bilder. Det finns ett antal olika isdriftsalgoritmer för SAR, t.ex. de som beskrivs i (Hollands, 2011), (Karvonen, 2012), (Berg & Eriksson, 2014), (Komarov, 2014), (Muckenhuber, 2016), och (Demchev, 2017). De flesta isdriftsalgoritmer baseras på korrelation och/eller "feature tracking" mellan en sekvens av SAR-bilder. I korrelationbaserade algoritmer söker algoritmen av de båda SAR-bilderna efter områden som liknar varandra (hög korrelation). Ofta görs detta "hierarkiskt" där man börjar med stora områden och succesivt minskar till mindre områden för att öka upplösningen. I "feature tracking" försöker man istället identifiera isflak och tydliga isstrukturer som algoritmen kan följa från en bild till nästa. Båda metoderna har sina styrkor och för att kombinera dessa har hybridalgoritmer utvecklats som använder både korrelation och "feature tracking". Beroende på upplösningen hos använda SAR-data kan driftvektorfält beräknas med ett gridavstånd på mindre än 100 m. En jämförelse mellan olika typer av driftalgoritmer presenteras i (Demchev D., 2023).

Den isdriftsalgoritm som använts i projektet är en vidareutvecklad version av den som beskrivs i (Berg & Eriksson, 2014). Algoritmen har utvecklats på Chalmers och körs i Matlab, men har nyligen konverterats till Python för att göra den tillgänglig för fler användare. Algoritmen var ursprungligen en hybridalgoritm, men körs numera huvudsakligen som en korrelationsalgoritm.

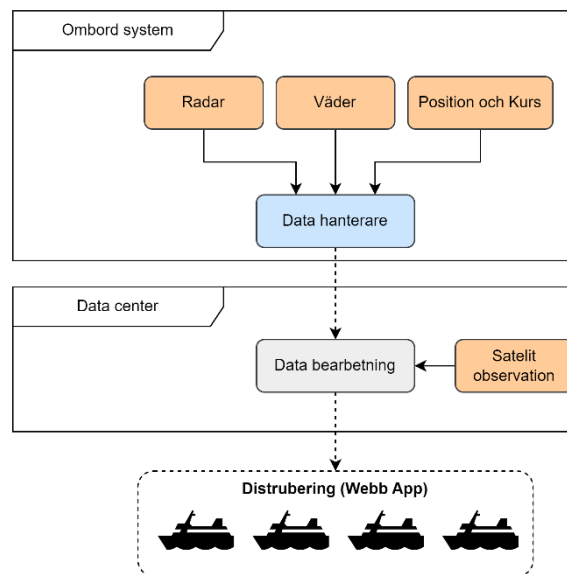
2.6 Försök med radar

Till följd av utebliven åtkomst till data från fartygsradar under förhållanden med is genomfördes endast försök med radardata i samverkan med ett parallellt projekt under sommaren 2024 medelst en fritidsbåtsradar och RISE dataloggningsapplikation Keelson och datavisualiseringsverktyget Crowsnest. Lärdomar från projektet "Enhanced Perception from Shore" tillämpades i denna förstudie, då det inte gick att säkerställa tillgång till radardata som matchade den tillgängliga satellitdata för samma region med is inom räckvidden för båda sensorsystemen samtidigt, givet förstudiens budget- och tidsbegränsningar.

Detta medförde att fokus huvudsakligen lades på att utreda systemarkitekturen samt identifiera möjligheter och utmaningar med användningen av radardata för insamling och bearbetning i kombination med satellitdata. Arbetet omfattar också distribuering av bearbetad satellit- och radardata till isbrytare och fartyg.

Det finns flera alternativ för designen av ett system för kollektiv datainsamling, där hänsyn måste tas till befintlig infrastruktur, kommunikationsprotokoll och datakvalitet. Vid utformningen av ett sådant system är det också viktigt att säkerställa skalbarhet och kompatibilitet med framtida teknologier. Eftersom detta inledande test utfördes helt fristående från någon existerande infrastruktur, beskrivs det på en övergripande och generaliserad nivå. Den använda metoden fokuserade främst på att demonstrera grundläggande funktioner för datainsamling och bearbetning. En översikt av arbetsflödet, inklusive datainsamling, överföring och bearbetning, kan ses i Figur 7

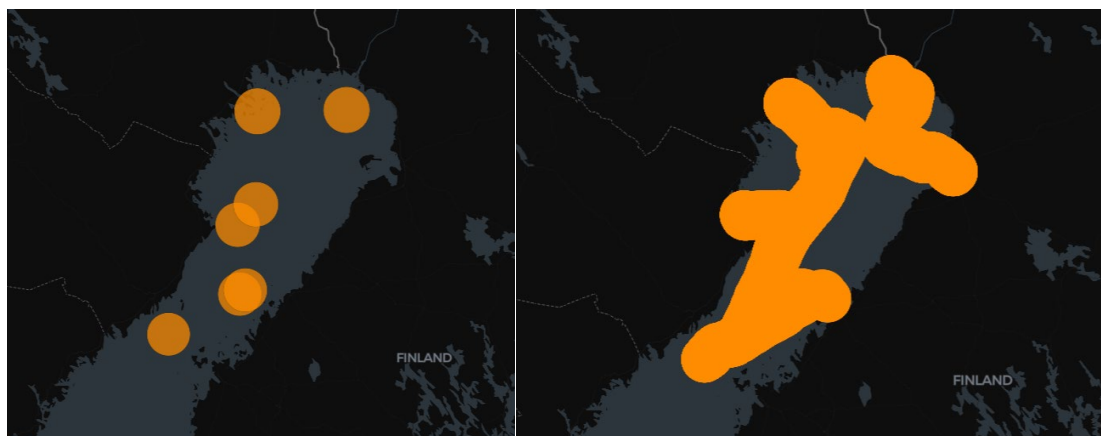
Generaliserad bild över data inhämtning., som illustrerar det konceptuella ramverket för systemet.



Figur 7 Generaliserad bild över data inhämtning.

IBNET vyn centreras runt ett användargränssnitt för kartor som är webbaserat och där det finns ett flertal etablerade ramverk för att bygga och distribuera data. Detta medför även att användarna behöver enbart ha en webbläsare för att nå applikationen och presentera resultaten i ett webbgrenssnitt med kartvyer.

Det kommer att finnas skillnader mellan att samla in ögonblicksbilder från flera källor vid specifika tidpunkter och att dela live-data mellan två enheter, till exempel vid isbrytarassistans.



Figur 8 Teoretisk exempel över täckningsområde med radar i Bottenviken, data är baserad på AIS från den 15 januari 2024. Bilden till vänster är från en tidpunkt, bilden till höger är aggregerad över 24h tidsperiod.

3 Resultat

3.1 Vision för stödtjänst isnavigering med stöd från kollektiv radardata

För att skapa en gemensam lägesbild har en vision för stödtjänst isnavigering med stöd från kollektiv radardata tagits fram i form av en vision. Visionen för en tjänst har tillsammans med input från referensgrupp och andra aktörer i studien formulerats som:

Ökad effektivitet för vintersjöfarten. Detta genom tillgängliggörande av data och delning av den mellan handelsfartyg och isbrytare i ett istäckt område. En syntes av olika datakällor där användare integrerat i sin ECDIS ta del av inte enbart sin egen radar utan även data från andra fartyg i området och data från satelliter, så som syntetisk apertur radardata.

Visionen strävar efter att revolutionera vintersjöfarten genom att skapa en heltäckande och dynamisk förståelse av isläget. Med frekventa och detaljerade isobservationer tillgängliga över stora geografiska områden, samt möjliggjord delning av kombinerad satellit- och radardata mellan fartyg och isbrytare, stärker den lokala isövervakningen för taktisk navigering. Detta bidrar till ökad säkerhet och effektivitet i utmanande, isbelagda miljöer.

Genom att integrera flera datakällor – från fartygsradar och satelliter till potentiella bidrag från kustradarstationer, flyg och drönare – samt genom att analysera och integrera dessa data i ECDIS, kan systemet erbjuda användarna en sammansatt och realtidsuppdaterad bild av isförhållandena. Denna innovativa samverkan mellan teknologi och informationsdelning främjar samarbete mellan fartyg, isbrytare, hamn och andra aktörer vilket leder till bättre beslutsfattande, minskad bränsleförbrukning och tryggare navigering.

Med denna vision skapar vi en framtid där vintersjöfarten är inte bara smartare och säkrare, utan också mer hållbar och effektiv.

Definition av användarscenario. Som utgångsläge har ett användarscenario definierats med två handelsfartyg i behov av isbrytarassistans och två isbrytare.

- A. Fartyg A – General cargo fartyg. Loa 142m, B 18.95m. Isklass 1A (eller 1B??)
- B. Fartyg B – Produkttanker Loa 147m, B 22m, Isklass 1b (eller 1A??)
- C. Isbrytare C – ansvarig för aktuellt område
- D. Isbrytare D – opererar i anslutning till aktuellt område
- E. Bidrag från flygande källor t.ex. passerande sjöräddnings helikopter (SAR-003) eller drönare (utökat case)

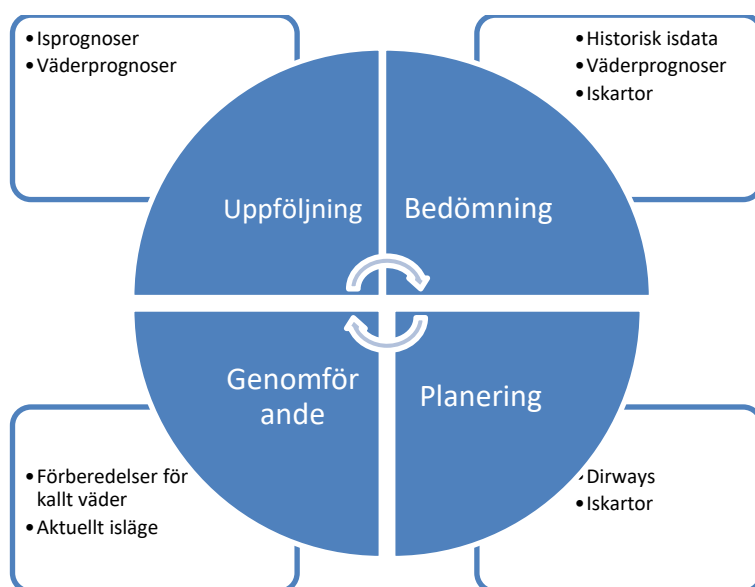
Ett scenario som skulle vara aktuellt att studera för att kunna tillgodose behoven kan vara följande:

- Fartyg A går för egen maskin genom isen och följer givna dirways som uppdateras av isbrytare C. Fartyget är beroende av aktuell info om rännor och råkar och isdrift för att ta sig ut från hamn utan assistans från isbrytaren. Nästa destination för Fartyg A ligger inom Isbrytare D område.
- Fartyg B är på väg in till hamn, men har fastnat i isen och inväntar isbrytarassistans.
- Bägge fartygen kan dela sin radardata till IB.
- Isbrytare C övervakar trafiken i området, anvisar dirways och assisterar vid behov fartygen. Isbrytaren är på väg för att assistera fartyg B och övervakar parallellt fartyg A.
- A kan behöva eskorteras till annan hamn som ligger inom isbrytare D operationsområde.

3.2 Nautiskt koncept

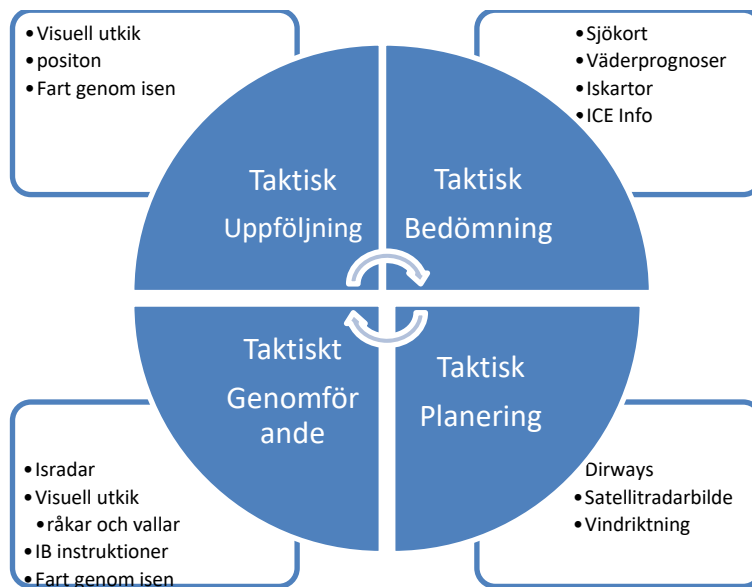
3.2.1 Strategisk och taktisk isnavigation

Strategisk isnavigering innebär långsiktig planering och beslutsfattande inför och under vintersäsongen, där isförhållanden har en betydande inverkan på sjöfartens rutter, hamnval och resursallokering. Syftet med strategisk isnavigering på högre nivå är att optimera användningen av resurser, såsom isbrytare, och att minimera störningar i sjötransporter genom att förutse isbildning och dess påverkan på sjöfarten. Under denna planering görs beslut om allokering av isbrytare till särskilt utsatta områden, anpassning av fartygens rutter och laster baserat på väder- och isprognoser, samt samordning mellan olika aktörer som Sjöfartsverket och transportbolag för att säkerställa effektivt resursutnyttjande. För rederier och fartyg med destinationer i isbelagda vatten handlar det bland annat om förberedelser för gång i is, inhämtning av information om isklassbegränsningar och att anpassa turlistan (Snider, 2012) (Buysse, 2007).



Figur 9 Exempel på isnavigering på strategisk nivå för isbrytare, -ledning och handelsfartyg

Taktisk isnavigering, å andra sidan, fokuserar på kortsiktiga beslut och operationella åtgärder under pågående navigering i istäckta vatten. Syftet här är att hantera specifika utmaningar som uppstår i realtid, till exempel isfält, drivande is eller fastfrusen trafik (Snider, 2012). Taktiska åtgärder kan inkludera justering av kurs eller hastighet baserat på aktuella israpporter, samverkan mellan fartyg och isbrytare för att föra konvojer genom särskilt svåra områden, samt att optimera rutter och undvika trafikstockningar (Buysse, 2007).



Figur 10 Exempel på taktisk isnavigation och underlag som står till buds.

Såväl strategisk som taktisk isnavigering är avgörande för att säkerställa att sjöfarten fortsätter att vara effektiv och säker under vintermånaderna, där väderförhållanden och isbildning kan skapa betydande utmaningar.

3.2.2 Nautiskt koncept isnavigation

I det studerade exemplet på isbrytarna är två styrmän i tjänst samtidigt på bryggan i kontrast till det konventionella för handelssjöfarten (i enlighet med STCW (STCW - International convention on Standards for Training, Certification and watchkeeping for Seafarers, 2014)) med en styrman som navigerar och en matros som utkik. Den ena av de två agerar som ansvarsstyrman och är den som leder arbetet medan den andra styrmannen bistår. En av dessa manövrerar isbrytaren från conningen på styrbords bryggvinge och är den som sköter den taktiska isnavigeringen och bryter loss fartyg som fastnat i isen samt bogseringen vid behov. Den andra styrmannen bistår vid behov med den taktiska isnavigeringen, men ansvarar primärt för den strategiska isnavigeringen och är den som följer den operativa ledningen. I det ligger att bevaka inkommande meddelanden och följa läget för övriga isbrytare och handelsfartygen via IB-Net från den bakre ledningscentralen på bryggan. Det är denna styrman som loggar aktiviteter och sköter kommunikation över VHF förutom vid direkt assistans. Kapten är ytterst ansvarig och den som leder den översiktliga verksamheten och planering för var isbrytaren skall agera och vilken ordning fartyg skall assisteras.



Figur 11 Manöverstation på ATLE-klass vid passage av annan isbrytare.

En utvecklad variant av konceptet är att delad radarbild från annat fartyg i närheten kan nyttjas i den taktiska isnavigeringen som ett komplement till den egna isradarbilden och möjliggör att se isen från "andra hållet" därigenom skulle styrman lättare kunna identifiera passager och bästa väg. Radarbilder från fartyg eller isbrytare på större avstånd används för den strategiska isnavigeringen och erbjuder mer information om isens beskaffenhet längre fram, något som kan underlätta valet av rutt för egen isbrytare och för omgivande fartyg som isbrytaren rådgör. På en högre nivå i planeringen kan aggregerad information där data från olika fartygsradar fusioneras med satellitradar dito leda till bättre prognoser för isdriften, öppning av råkar och bildandet av isvallar.

3.2.3 Operationsanalys

En operationsanalys inom isnavigering syftar till att optimera fartygsrörelser i isbelagda vatten genom att samla in, analysera och visualisera data om isförhållanden. Genom att kombinera olika sensorer och verktyg kan man få en mer heltäckande bild av isläget och fatta bättre beslut.

Med en kombination av satellitbilder, radarbilder och AIS-data kan man skapa mer exakta iskartor som uppdateras i realtid. Detta möjliggör en bättre bedömning av isläget och minskar risken för överraskningar.

Isnavigering kan delas in i fyra faser och kan med utökad is-observationsöverblick innehålla följande aspekter, (Bhattacharjee, u.d.) men ej begränsat till:

A. Bedömning av isläget

- Genom satellitbilder kan en övergripande lägesbild erhållas, men satellitens tidsintervall kan göra att isläget förändras snabbt beroende på väderförhållandena. För att förbättra noggrannheten kan radar- och satellitbilder kombineras, vilket gör att isläget bättre återspeglar de aktuella förhållandena.
- Isläget kan påverkas kraftigt av väderförhållanden som temperaturförändringar, vindar och nederbörd, vilket gör det viktigt att kontinuerligt uppdatera isinformationen med hjälp av både satellit- och radardata.

B. Planering

- Data och historik: Genom insamling av mer data kan historiska isrörelser analyseras, vilket förbättrar förståelsen för isens dynamik. Detta kan leda till mer precisa prognoser och bättre planering av isrutter.
- Ruttplanering (dirways): Vid utformning av isrutter tas olika faktorer i beaktande. Ruttvalen kan sedan valideras av fartyg som planerar eller färdas längs samma väg, vilket ger en ökad transparens i systemet och möjliggör utvärdering av ruttens effektivitet.
- Detaljerad information om isvallar: Istället för att använda generaliserade områdesbeskrivningar kan detaljerad information om specifika isvallar och hinder ges för att säkerställa en exaktare ruttplanering.
- Isbrytarförhållanden: Om isbrytare har passerat en rutt och isläget är stabilt kan bilder och analyser ge en detaljerad bild av förhållandena längs hela eller stora delar av rutten.
- Bränsleförbrukning: Förbättrade prognoser för bränsleförbrukningen kan estimeras baserat på aktuella isförhållanden genom att detaljrikedomen ökar.
- Visuell bedömning: Visuell bedömning av isförhållandena kan göras för att bedöma inträde till isområden på basis av radar- och satellitdata och där identifiera potentiella risker.
- Förberedelser för isvallar eller råkar: Proaktiva åtgärder kan vidtas för att förbereda för eventuella isvallar eller råkar, vilket minskar risken för driftstopp.

C. Genomförande

- Optimerat ruttval: Genom ökad radarräckvidd kan fartygen bättre avgöra om de ska följa en isränna eller välja en annan väg för att optimera framfarten genom isen. Detta underlättar beslut om den mest effektiva ruttstrategin.
- Bättre detektion av isvallar: Genom att förbättra perceptionsförmågan från vissa vinklar och radarstationer samt användning av högre upplösning på radarbilden kan isvallar och andra hinder detekteras mer effektivt, vilket underlättar navigeringen genom svåra områden.
- Referensradarbilder: För oerfarna navigatörer kan en optimerad isradarbild från en isbrytare fungera som referens för att justera egna radarinställningar, vilket förbättrar navigationssäkerheten och effektiviteten.

D. Uppföljning

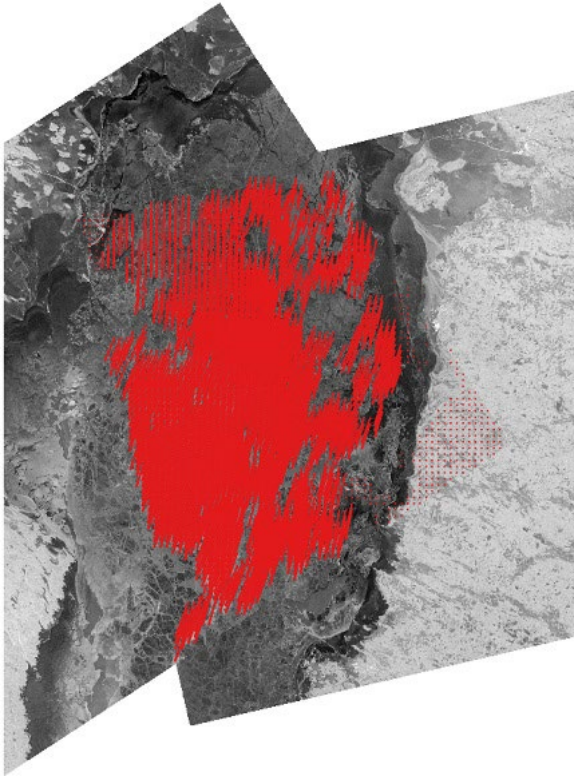
- Detaljerad isanalys: Användningen av isradar ger möjlighet till detaljerad uppföljning av isförhållandena och gör det möjligt att snabbt upptäcka förändringar i isläget. Detta gör det möjligt att justera rutter och strategier i realtid och säkerställa säker passage genom isiga farvatten.
- Underlag till förbättrade historiska analyser

3.3 Analys av radardata

3.3.1 Isdynamik

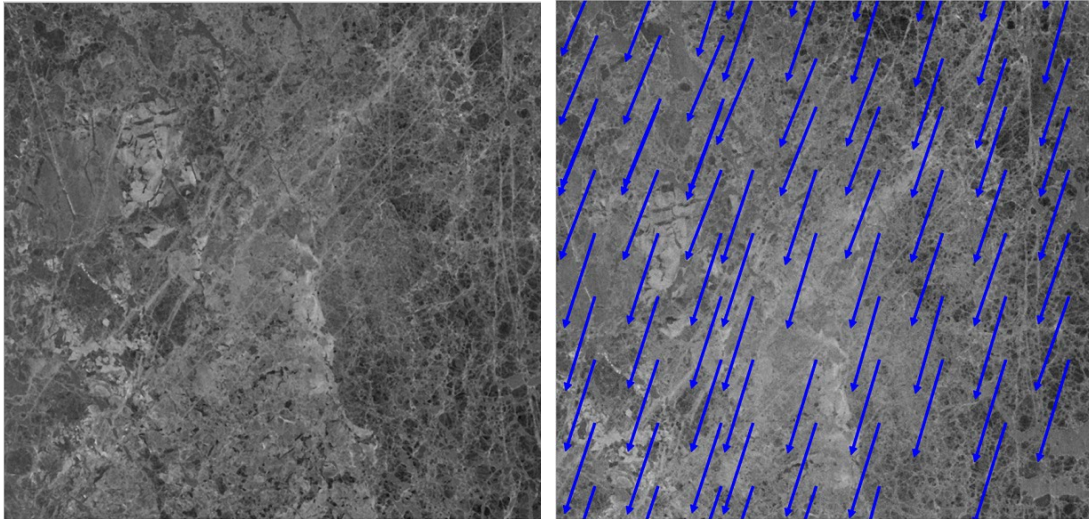
Havsis kan delas upp i fastis och drivis, där fastisen är den is som inte flyttar på sig medan drivisen rör på sig. Fastisen ligger oftast fastfrusen längs kusten, men kan också hållas på plats av öar, holmar, grund eller stora isvallar som nått havsbotten. Drivisen flyttas runt av vind och havsströmmar. Isrörelser och isdeformation beskrivs i avsnitt 2.5.2 *Isinformation från satellitdata* och de algoritmer som används för att följa isens rörelser och deformation i satellitbilder introduceras i 2.5.3 *Isdriftsalgoirtm*.

För att bestämma drivisens rörelser behövs minst två satellitbilder där tiden mellan de två bilderna inte är längre än att isdriftsalgoritmen kan identifiera samma isstrukturer i båda bilderna. Med en tidsserie av bilder kan man följa isen under en längre period. I projektet har teamet haft tillgång till alla Sentinel-1 SAR-bilder som tagits över Bottenviken och Östersjön och har valt att illustrera den isdriftsinformation som kan framställas med exempel baserade på två SAR-bilder från 2024-01-14. Bilderna är från två tidpunkter med drygt 11 timmars mellanrum. De täcker delvis olika delar av Bottenviken och omgivande landområden, men isdrift kan extraheras i det överlappande området som täcker de centrala och östra delarna av Bottenviken (se Figur 12). När isdriftsvektorer beräknats och lagts över de två SAR-bilderna ser man var gränsen mellan fastis och drivis går längs finska kusten (övergång från röda prickar till långa röda pilar). Detta är en tydlig indikation om isens stabilitet och kan ge viktig information till de som använder havsisen för transporter, isfiske, långfärdsskridskoåkning etcetera, men bör kombineras med väderprognoser då ändrad vindriktning eller höga temperaturer kan göra att delar av fastisen bryts loss eller smälter. Områden längre ut från kusten där driftvektorer saknas indikerar att algoritmen, med valt gridavstånd, inte hittat samma område i de två bilderna. Det kan exempelvis bero på att området genomgått kraftig deformation eller innehåller öppet vatten.

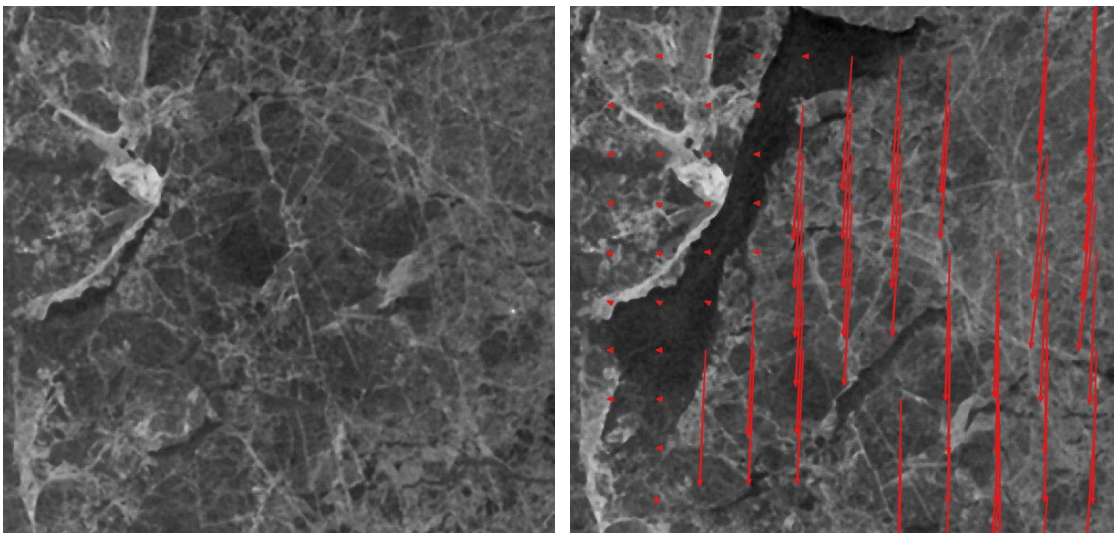


Figur 12 Två Sentinel-1A SAR-bilder över Bottenviken från 2024-01-14. Den vänstra bilden togs 05:49 CET och den högra 17:07 CET. Röda områden visar var isdrift beräknats i det överlappande området. Röda prickar visar områden som inte rört sig (land eller fastis). Bilderna täcker en yta på 245 km gånger 180 km, varav det överlappande området med havsis är 150 km gånger 110 km stort.

Zoomar bilden in på en mindre del av det överlappande området kan de enskilda driftvektorer (se exempel i Figur 13 och Figur 14) observeras och det går att studera deras längd och riktning. Det blir tydligt att isen förflyttat sig olika långt och i lite olika riktningar i olika delar av Bottenviken. Detta är naturligt då hela Bottenviken är istäckt och isens rörlighet påverkas av omgivande landmassor. I exemplet ovan är andelen öppet vatten störst i de södra delarna av Bottenviken, vilket ger is som rört sig dubbelt så långt som i de norra delarna (11–12 km i syd jämfört med runt 6 km i norr). Omräknat till drifthastighet ger detta en medelhastighet på runt 1 km per timme i de södra delarna och lite drygt 500 m per timme i de norra delarna. Skillnader i drifthastighet och driftriktning kan ge upphov till rotation, skjuvning eller isdeformation i form av sammanpressad is eller öppning av råkar och sprickor. I Figur 14 ses ett exempel på när drivisen brutit sig loss från fastisen och bildat ett nästan 20 km långt område med öppet vatten strax utanför den brutna rännan in till Luleå.



Figur 13 Delar av två Sentinel-1A SAR-bilder från 2024-01-14. Den vänstra bilden togs 05:49 CET och den högra 17:07 CET. Pilarna visar isdriften (mellan 8 km och 9,5 km) mellan de två tidpunkterna. Gridavståndet mellan pilarna har valts till 6 km. Bildutsnittet täcker en yta på 48 km gånger 50 km.



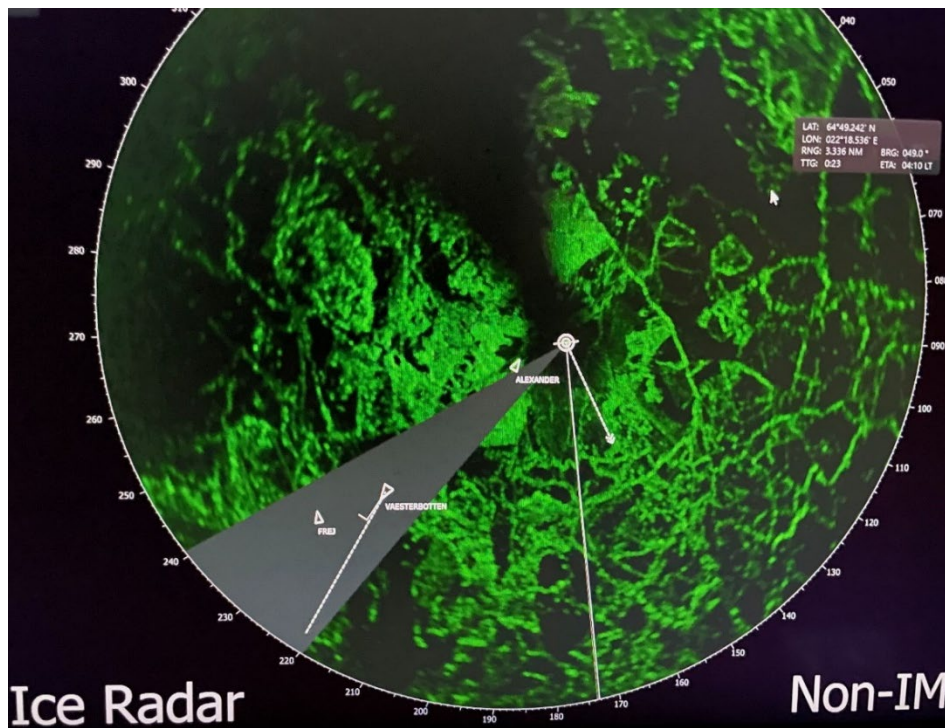
Figur 14 Bildutsnitt från samma Sentinel-1A bilder som i föregående figurer. Bilden till höger visar hur drivisen brutit sig loss från fastisen vid svenska kusten och bildat ett område med öppet vatten. Isdriften i detta område är mellan 5,3 km och 6,2 km (0 m för fastis). Gridavståndet mellan pilarna har valts till 2 km. Bildutsnittet täcker en yta på 21 km gånger 22 km.

3.3.2 Fusionering av fartygsradar och satellitradar

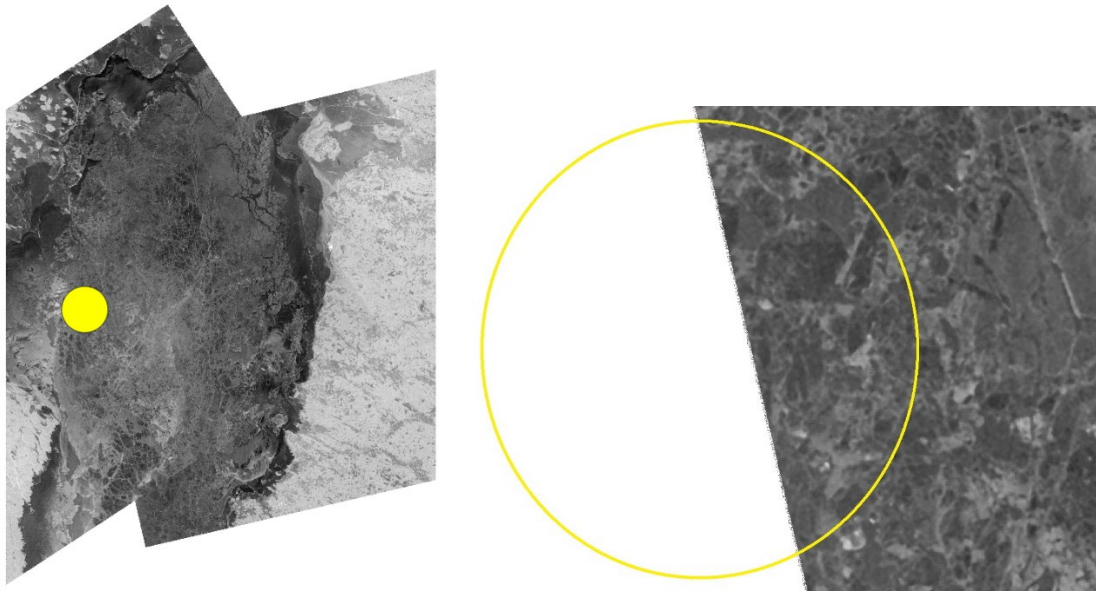
Både fartygsradar och satellitradar skickar ut radarvågor och bygger med hjälp av den reflekterade signalen upp en bild av det område radarantennen riktas mot, men att systemen är designade för fartyg respektive satellit ger olika styrkor och begränsningar. En fartygsradar ger kontinuerlig och högupplöst lägesinformation om närområdet omkring fartyget, men har en begränsad räckvidd. En satellitradar kan avbilda stora områden utan att fysiskt befinna sig i området, men kan bara ta bilder när satellitbanan passerar över området och bilderna har en rumslig upplösning som är betydligt lägre än en fartygsradar.

Både fartygsradar och satellitradar används sedan länge av isbrytare, men informationen presenteras i separata system. Med fusionering är målsättningen att isinformation från fartygs- och satellitradar ska finnas tillgänglig i samma system. Lägesbilden bortom fartygets radarhorisont kan då fyllas i med isinformation från senaste satellitbilden och information om hur isen rört sig den senaste dagen eller dagarna. För att testa fusionering var avsikten att bygga upp ett testdataset med samtidiga radarbilder från satellit och fartyg under issäsongen i Bottenviken. Detta var dock inte möjligt eftersom fartygsradardata från de fartyg vi hade kontakt med inte gick att spara. I de flesta fall beror detta på att tillverkaren av radarsystemet inte tillåter tillgång till denna radardata.

Figur 15 visar ett foto av en isradarbild som togs på en av de svenska isbrytarna 2024-01-14, samma dag som satellitbilderna i Figur 12. Ett fotografi lämpar sig inte för fusionering, men kan användas för visuell jämförelse med en satellitbild vad gäller informationsinnehåll och geografisk täckning. I Figur 16 visas det uppskattade område som täcktes av isradarbilden. Isradarbilden togs 03:35 lokal tid och den första av de två satellitbilderna 05:49. Om vi antar samma medeldriftshastighet som mellan de två satellitbilderna (800 m/tim i detta område) så har isen förflyttat sig ca 1 NM i syd-sydvästlig riktning på de 2 timmar och 14 minuter som gått mellan isradarbilden och satellitbilden. Isdriften, osäkerheter i fotografiets koordinater, partiell överlapp mellan bilderna och olikheter i radarsystemens upplösning och infallsvinkel gör att det i detta fall är svårt att identifiera samma isstrukturer i de båda radarbilderna. Vid fusionering kommer koordinaterna för fartygsradarbilden att vara mer exakta, i de allra flesta fallen kommer hela fartygsradarbilden att täckas av satellitbilden och satellitbilden bör korrigeras för uppskattad isdrift.



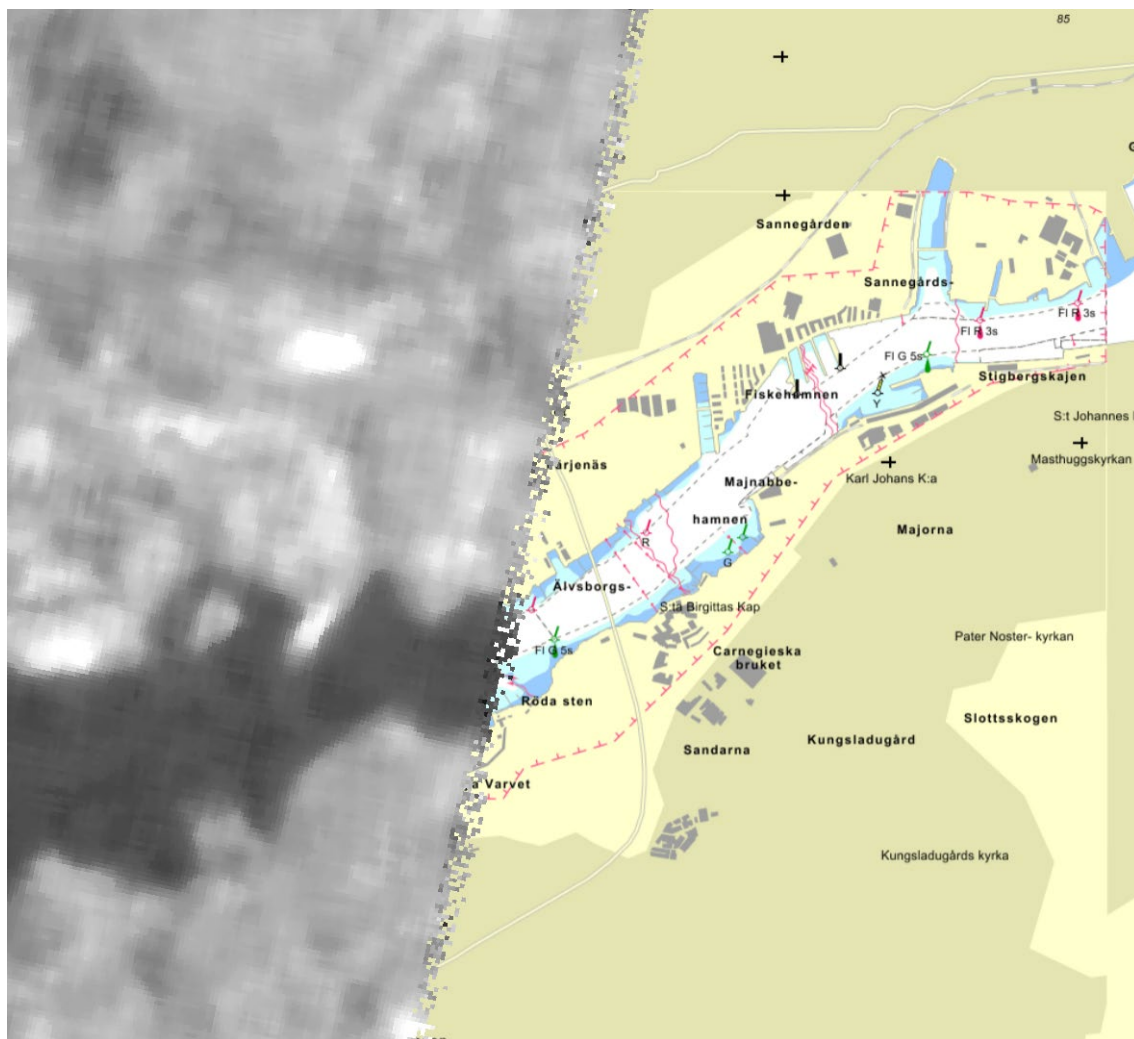
Figur 15 Foto av isradarbild tagen 2024-01-14 klockan 03:35 lokal tid på en av de svenska isbrytarna. Avståndet från isbrytaren till den vita pilen (övre högra delen av bilden) är 3,336 NM (6,178 km). Pilens position är 64°49,242' N och 22°18,536' E (64,8207° N, 22,3089° E).



Figur 16 I den vänstra bilden visar den gula punkten ungefär det område som täcks av isradarbilden i Figur 15. Den högra bilden har zoomats in till isradarns täckningsområde och visar bara den satellitbild som ligger närmast i tid till isradarbilden (satellitbilden togs 2 timmar och 14 minuter efter isradarbilden). Satellitbilden har inte justerats för isdriften som skett under tiden mellan bilderna. Isbrytaren ligger strax utanför satellitbilden, men de östra delarna av isradarbilden täcker västra delen av satellitbilden. Den gula cirkelns radie är ungefär 5 NM.

Tester med fartygsradar där vi har tillgång till den radardata som genereras har genomförts i och kring Göteborg, men utan havsis. Vi har även haft tillgång till SAR-bilder från Sentinel-1 från samma område. Utan havsis spelar tidsskillnaden mellan fartygsradarbild och satellitbild mindre roll eftersom de strukturer man kan jämföra huvudsakligen är statiska såsom kustlinje, hamnar, byggnader och fartyg som ligger förtöjda. I hamnar och älvar blir dock skillnaden i rumslig upplösning mellan en fartygsradar och SAR-bilder från Sentinel-1 extra tydlig. Försöken med att integrera satellitdata i ett navigationssystem illustreras i Figur 17. En slutsats är att för att fusion av satellitradar och fartygsradar i hamninlopp ska bli meningsfull krävs SAR-data med bättre upplösning än de 20 m vi får från Sentinel-1. Det finns ett stort antal satelliter som kan ta SAR-bilder med en upplösning på 1–5 m, men dessa bilder täcker då betydligt mindre områden och är inte fritt tillgängliga utan måste köpas. En kombination av Sentinel-1 bilder för havsis i öppet vatten och högupplösta SAR-bilder för viktiga hamninlopp är en lämplig kompromiss.

I nästa avsnitt presenteras det tekniska konceptet, vilket inkluderar hur radar-information från fartyg kan sammanfogas med satellitdata.



Figur 17 Integrerad Sentinel-1A SAR-bild (vänster) och sjökort (höger) över Göta Älv i Göteborg.

3.4 Tekniskt koncept

För att säkerställa en effektiv och pålitlig rapportering av rådande isförhållanden, skapa situationsförståelse och tillhandahålla planeringsunderlag för olika maritima operationer har ett tekniskt koncept utvecklats för informationshanteringsflöde och -process. Konceptet exemplifierar hur radarinformation från fartyg kan sammanfogas med satellitdata genom att inkludera en kombination av automatiserade och manuella bearbetningsmetoder och distribueras till isbrytare, fartyg och andra relevanta organisationer.

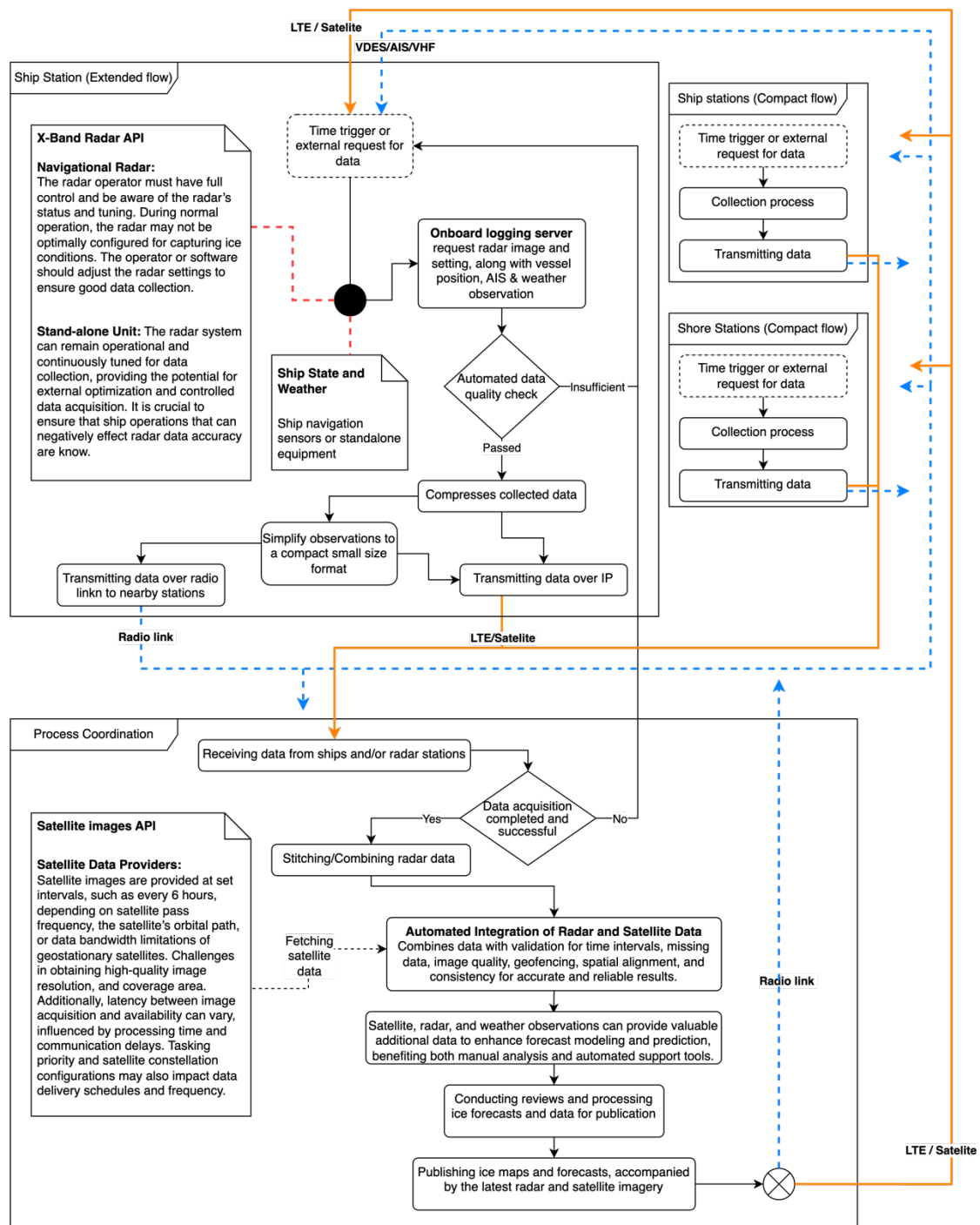
Systemet är utformat för att i hög grad automatisera datainsamlingen. Dataöverföring hanteras på en generaliserad nivå med fokus på konceptets funktionalitet snarare än på detaljer kring överföringsproblematik och redundans. Systemet tar dock hänsyn till att data kan överföras via IP-nätverk (internet) eller genom direkta radiolänkar mellan fartyg och landstationer. Analyskapaciteten är distribuerad, vilket innebär att både fartygsbaserade och landbaserade komponenter har tillgång till de olika nivåer av

rådata. Detta möjliggör att användare kan dra egna slutsatser och validera rapporter samt prognoser.

Genom en kombination av befintlig radarteknologi från flera fartyg med satellitbilder och redundanta kommunikationsvägar kan systemet leverera högkvalitativa data för visualiseringar i nära realtid. Det tekniska konceptet omfattar flera skalbara lösningar som erbjuder ett flexibelt och robust datastöd för olika aktörer inom sjöfarten.

Nedan beskrivs systemets huvudkomponenter och deras respektive funktioner i detalj, se Figur 18. Fartyg A (Ship A) presenterar en utökad vy av informationsflödet ombord, medan fartygsstationer (Ship Stations) och landstationer (Shore Stations) visar en kompakt vy av andra fartyg och landstationer. Processkoordinatoren (Process Coordinator) fungerar som en central nod för bearbetning och sammanställning av helhetsbilder samt för att utföra mer avancerade analyser. Denna nod kan vara distribuerad över flera platser, men det krävs en ansvarig part som koordinerar systemet och säkerställer kvalitetskontrollen av informationsbearbetningen.

Fartygsstation (Ship Station) är ett exempel på hur systemet utformat på en hög nivå hanterar datainsamling, kvalitetskontroll och datakomprimering inför överföring. Fartygsnoden kan även inkludera bearbetning av radarinformation, med processer som annars hanteras av processkoordinatoren. Systemet kräver en X-bandradar med ett tredjeparts-API för att hämta radarobservationer i ett väldefinierat format, helst där enskilda punktdetektioner kan avläsas. Övriga navigationsdata och väderobservationer kan antingen inhämtas från befintlig navigationsutrustning ombord eller från fristående tilläggsutrustning.



Figur 18 Informationsflöde och bearbetningsprocesssteg.

Om radarenheten inte är en fristående enhet utan även används för navigation rekommenderas att operatören manuellt godkänner datahämtningen och följer tydliga instruktioner för hur radarbilden ska justeras inför radarobservation över isläget inhämtas. Detta är avgörande för att säkerställa kompatibilitet med andra radarstationer och undvika problem som beskrivs mer ingående i kapitel 2.4, *Radar ombord*. Metadata kring radarinställningar och tillstånd måste inkluderas tillsammans med radarobservationerna, eftersom dessa är nödvändiga för att senare kunna sammanfoga och kvalitetssäkra data på ett enhetligt sätt.

Alternativet är ett radarsystem som en fristående enhet vars primära mål är att vara inställd för islägesövervakning genom en kombination av automatisering och manuell kontroll. Detta tillvägagångssätt förväntas höja datakvaliteten och tillgängligheten samt möjliggöra en mer effektiv datainsamling. Även här behöver operatören vara medveten om när och hur data inhämtningen skall göras eftersom inhämtningen möjligtvis skall ske på olika förstärkning och radarskala och därav påverkas även radar operatörens bild.

Datainsamlingen kan initieras antingen tidsstyrt eller via en extern begäran, vilket kräver att datahämtande noder är tidssynkroniserade. För detta ändamål bedöms Network Time Protocol (NTP) ge tillräcklig noggrannhet för att skapa en ögonblicksbild som kan sammanfogas med data från andra stationer. Om systemet ska användas för mer avancerade analyser, såsom aggregerade algoritmer över längre tidsperioder, kan högre krav på tidssynkronisering uppstå. Ett exempel på detta är Simultaneous Localization and Mapping (SLAM), som genererar en kartliknande representation av ett område baserat på aggregerade observationer över tid. Detta möjliggör en detaljerad och dynamisk visualisering av det område där fartyget opererar.

En ombord-loggningsserver ansvarar för att registrera radarbilden tillsammans med inställningar, kompletterande fartygsdata, väderobservationer, fartygsposition och möjligtvis annan information som kan vara till värde. Automatisk kvalitetskontroll utförs på den insamlade data, och vid otillräcklig kvalitet signaleras fel automatiskt. Godkända data komprimeras för att minimera överföringsmängden och skickas via två redundanta kommunikationsvägar:

- Radio Link för sändning till närliggande stationer
- LTE/satellit för fjärrkommunikation när radiolänkar inte är tillgängliga.

Dataformat och innehåll behöver optimeras för de enskilda datalänkarna och slutliga användningsområdet.

Flertalet stationer representeras i Fartygsstationer (Ship stations) och landstationer (Shore stations) visas i förenklat dataflödes vy men dessa stationer anholder likvärdig process som Fartygsstation.

Satellitbildskällor, som beskrivs mer detaljerat i kapitel 2.5.1 *Satellitdatakällor*, tillhandahålls med fasta tidsintervall, exempelvis var tolfte timme, beroende på satellitens omloppsbana. Bland utmaningarna med satellitbilder finns fördröjningar samt begränsningar i upplösning och täckningsområde.

I Process koordinering (Process Co-ordinator) tas radar- och annan fartygsdata emot från de olika stationerna och sammanställs till en dataset. Därefter kombineras radar- och satellitdata och transformeras för att matcha radarobservationerna, vilket ger en nära realtidsbild av isförhållandena. Insamlade data valideras automatiskt baserat på tidsintervall, kvalitet, geofencing, spatialjustering och konsistens. Detta resulterar i mer frekventa och pålitliga uppdateringar av isförhållandena över stora geografiska områden. Om datainsamlingen misslyckas avbryts flödet, och en ny insamling triggas vid behov.

Både manuell och automatiserad analys av insamlade data utförs för att förutsäga isförhållanden. Prognoser och bearbetad isdata presenteras tillsammans med den senaste radarbilden och tillgängliga satellitbilder. De analyserade resultaten distribueras

sedan till slutanvändare för att stödja operativa behov, genom webapplikation. Distribution till slutanvändare sker via radiolänk eller LTE/satellit för att säkerställa snabb och tillgänglig kommunikation.

Kommunikationsflödet kan sammanfattas i tre steg:

1. **Från fartyg till landstationer** – Data överförs via Radio Link eller LTE/Satellit.
2. **Bearbetningscenter** – Inkommen data kombineras, valideras och analyseras för att skapa tillförlitliga prognoser och visualiseringar.
3. **Publicering** – De analyserade resultaten distribueras till slutanvändare för att stödja operativ nytta.

Systemet är utformat för att automatisera hela processen med inventioner av manuella korrigeringar, från datainsamling till publicering. Genom att integrera radar- och satellitteknik förbättras såväl precision som rapporteringsfrekvens, och redundanta kommunikationsvägar säkerställer snabb och pålitlig överföring av information. Systemet möjliggör dessutom utökad funktionalitet genom delning av nära realtidsradardata mellan fartyg, som ökar den lokala radartäckningen för isobservationer. Detta är särskilt fördelaktigt vid operationer där isbrytare samarbetar inom samma insatsområde.

Denna helhetslösning bör erbjuda hög tillgänglighet, redundans och noggrannhet, vilket är avgörande för att säkerställa säkra och effektiva maritima operationer i isbelagda områden.

3.5 Möjliga tillämpningar

Radardata från satelliter och fartyg tillhandahåller information med olika upplösning (både i tid och rum) och med olika geografisk täckning. Fartygsradar ger information om området närmast runt fartyget med hög upplösning och hög uppdateringsfrekvens. Satellitradar ger information för stora områden, en bild täcker ofta hela Bottenviken, men med lägre upplösning och betydligt lägre uppdateringsfrekvens, en eller ett fåtal bilder om dagen. Genom fusion av radarbilder från flera fartyg och från satellit kan man få en lägesbild inte bara runt eget fartyg. Runt positioner med fartygsradar kommer lägesbilden att uppdateras ofta, medan bakgrundsinformationen uppdateras när en ny satellitbild blir tillgänglig.

Frågeställningar som behöver adresseras för att få en fusion av olika radarkällor handlar bland annat om:

- Hur skall man hantera inhämtningssekvens med olika radardatainställningar som range, gain (förstärkning) mm.?
- Hur gör man detta; optimerat för en tillämpning eller skall det vara en standard range och gain?

För att gå vidare bör det undersökas om lämpliga strategier för meddelande med format, frekvens och storlek för både IP- och radionätverk med tanke på dataöverföringsbegränsningar och användning. Det rekommenderas att i första hand enbart gå vidare med insamling av radardata från isbrytare i vilket i flesta fall har en dedikerad radarstation för insamling av data.

4 Rekommendationer

4.1 Slutsatser

När flyg- och helikopterövervakning slutade användas försämrades möjligheterna till förstärkta isobservationer avsevärt för isbrytarna. Drönare testas nu som ett alternativ, dock för närvarande begränsat till operationer i gynnsamma väderförhållanden. Satellitbilder fyller delvis behovet, men tiden mellan satellitpassagerna skapar informationsluckor som tidigare kunde fyllas med hjälp av helikopterspaning då sikt, väder- och vindförhållanden tillät det. Det pågår arbete med att inkludera kustradarstationer på den finska sidan, vilket har visat värdet av mer markbaserad radarinformation. Däremot görs inget arbete för att inkludera isbrytarnas radarinformation eller integrera radarbilderna till en gemensam vy. Genom att utöka insamlingen och delningen av radarinformation från både isbrytare och kuststationer på svenska sidan kan den taktiska och strategiska förståelsen av issituationen förbättras drastiskt.

En återkommande kommentar från ombordintervjuerna (kap 2.1) är värdet av frekventare uppdateringar av satellitdata. Då detta styrs av tillgängliga satelliter och när dessa passerar över Bottenviken kan det vara värt att studera vidare på vilka sätt det går att öka värdet av den information som satellitbilderna som de facto finns tillhands kan ge. Ett sätt är att stärka prognoserna över isens rörelser och möjligheten att validera prognosen i väntan på ny passage och nya bilder. Kan en aktuell radarbild bekräfta prognosticerade data eller ge underlag för en justering med hjälp av identifierbara "features" för att korrigera uppskattad isdriftshastighet i olika delar av isen?

Det pågår en mycket snabb utveckling med bildigenkänningsverktyg och olika typer av maskinlärning, en utveckling som går ännu snabbare med rätt tillämpning av AI tekniker. En kombination av bildigenkänningsverktyg och AI för att matcha isradarbilder och ordna överlapp med satellitbilder har förutsättningar för att betydligt stärka möjligheten med sensorfusion. Karakteristiska vakar, råkar eller vallar kan till exempel nyttjas för att följa hur isen rör sig och om den vrider sig. Det vore i sammanhanget värdefullt med tidserier och prognoser för isdrift och tillväxten av isvallar.

Idag spelar satellitbilderna en central roll för isbrytarna att planera den kommande verksamheten och för att kompensera för den långa uppdateringshastigheten simulerar besättning olika scenarier för isdriften utifrån rådande och förväntade ström och vindriktning och helt enkelt stegar fram satellitbilden som överlagrats på en översiktskarta över Bottenviken. Trubbigt, men bättre än inget. Genom att vidareutveckla de isdriftsalgoritmer som presenteras i avsnitten 2.5.3 *Isdriftsalgoritm* och 3.3.1 *Isdynamik* och kombinera dem med prognoser för vind och strömmar kan scenarierna för isläget förbättras betydligt.

4.2 Förslag på fortsättning

För att bygga vidare på resultaten från denna förstudie föreslås följande fokusområden för framtida fortsättningsprojekt, med fokus på teknisk innovation, operativa metoder och hållbarhet.

Metodutveckling och effektiv datakommunikation

Undersöka metoder för att överföra radar- och annan navigationsdata mellan fartyg och land. Genom en kombination av LTE och satellit kan stora mängder högupplöst data distribueras. För robusthet och redundans kan radiolänkar nyttjas för lokalt informationsutbyte mellan fartyg och land. Idag saknas en rekommendation för hur detta ska tillämpas, vilket skulle underlätta upphandling, utveckling och framtida implementering. Det saknas även strategier för effektiv meddelandehantering, med fokus på format, frekvens och storlek, för att optimera kommunikationen inom nätverksbegränsningar. Förslaget främjar att säkerställa att kritisk information kan överföras snabbt och på ett tillförlitligt sätt utan att överbelasta systemen, baserat på operativa krav från användarna.

Tillgängliggöra radardata:

Främja utveckling av öppna tredjepartsgränssnitt för att underlätta innovation och konkurrens inom maritim teknik. Detta kan inte bara sänka kostnader och minska beroendet av enskilda leverantörer, utan även ge radarsystemleverantörer möjlighet att dra nytta av ett bredare ekosystem av applikationer och tjänster som använder deras data. Genom att tillhandahålla öppna API kan leverantörer öka värdet av sina system och främja en mer dynamisk och integrerad marknad.

Radarinställningsstrategi för isobservationer:

Undersöka och utveckla strategier för insamling av radardata, anpassade efter specifika ändamål och de algoritmer som används vid efterbearbetning. Genom att justera parametrar som räckvidd och gain säkerställs att hög datakvalitet bibehålls även under varierande väderförhållanden, samtidigt som isens olika egenskaper fångas på ett tillförlitligt sätt.

Algoritmer, multi-sensorfusion, AI-stöd och analysverktyg:

Avancerade algoritmer finns på teoretisk och akademisk nivå, men få, om någon, demonstrerad användning eller integration till radardata från fartyg och satellitbilder för skapande av en sammanställd detaljerad översikt av situationen. Behovet finns av att sammanställa kunskapen från akademien till verktyg och processer för att förutsäga isrörelser, identifiera riskområden och stödja beslutsfattande om navigation och assistans, där såväl manuell analys, AI som automatisering samverkar för att säkerställa effektivitet och hög kvalitet.

Högupplöst radardata i kombination med satellitdata:

Nya möjligheter att analysera tidsserier av isens rörelser och använda AI-baserade objektidentifieringsmodeller för att matcha isformationer, simulera olika scenarier och förbättra prognoser. Kombinera isradardata och satellitbilder för att validera och justera prognoser utifrån aktuella förhållanden. En utmaning är att hantera data från olika tidpunkter samt variationer i upplösning och spektrum som framhäver olika detaljer beroende på informationskälla.

Genomföra simulering och praktiska tester:

För att säkerställa att tekniska och operativa förändringar fungerar i praktiken. Genom att demonstrera och utvärdera system för att effektivt dela islagesbilder och annan kritiska data mellan isbrytare och handelsfartyg. Nya metoder för samarbete och informationsutbyte kan öka samordningen och säkerheten till sjöss genom att skapa ett sömlöst informationsutbyte som underlättar snabbare och mer informerade beslut i realtid. Implementera innovativa kommunikationsstrategier och förbättra transparensen för att minska väntetider och optimera planeringen. Genom att ge myndigheter, redare, besättningar och hamnar bättre insyn i assistansplaner skapas förutsättningar för en effektivare operativ samordning och högre säkerhet. Företrädesvis med lösningar som integreras i STM, Sea Traffic Management systemet för datautbyte.

Energieffektiv navigation och försörjningsprioritering enligt lastens samhällsnytta:

Utveckla strategier för att minska bränsleförbrukning och koldioxidutsläpp genom optimerad användning av isbrytare och förbättrad navigationsplanering där prioritering kan göras utifrån faktiska behov och förutsättningarna i logistikkedjan för att omhänderta godset. Om det inte finns ledig kajyta eller behovet av lasten inte är omedelbar kan det övervägas att låta annan last ha företräde till isbrytarassistans då behovet av resurser är större än tillgången. Risk och nationell säkerhet behöver tas i beaktande hur observationer på nationellt territorium distribueras.

4.3 Potentiella vinster med fungerade tjänst

Bättre isprognoser

Tidsseriestudier av isen leder till bättre prognoser av isdrift, med vilken hastighet olika delar av isen förflyttar sig, var isvallar bildas och var råkar öppnas upp.

Bättre överblick och prognoser med högre tillförlitlighet ger isbrytarna bättre förutsättning för att dirigera handelssjöfarten genom istäckta vatten. Färre fartyg som fastnar i isen leder till färre assistanser. I bägge fallen leder det till stora besparingar i energi och därmed bunkeråtgång som leder till lägre kostnader och undviker icke-produktiva emissioner till luften.

Färre assistanser ökar tillgängligheten på isbrytarna som i sin tur minskar behovet av ett större antal isbrytare. Färre isbrytare sparar in såväl investeringskostnader som driftskostnader. Minskar utmaningen med att rekrytera personal med kompetens för isnavigering.

Förbättrad situational awareness

Bättre situational awareness ger isbrytarna bättre underlag för den taktiska navigeringen och minskar risken att fastna i isvallar, vilket leder till reducerad bunkeråtgång och icke-produktiva emissioner.

Fusion av isradardata från isbrytare och satellitbilder ger möjlighet att validera hur väl en aktuell prognos stämmer och vid behov ge underlag för korrektion utifrån driften för olika vakar och vallar.

Objektidentifiering och AI-modeller bidrar till att matcha karakteristiska formationer i isen och matcha mot aktuellt läge i sjökorten samt möjlighet att simulera olika scenarier för isdriften. Tillsammans ger det isbrytaren bättre förutsättning att planera sina insatser och uppdatera dirways.

4.4 Utvecklingsbehov och utmaningar

Sammanfattningsvis visar detta avsnitt att det finns tekniska, operativa och strategiska utmaningarna som måste lösas för att skapa ett funktionellt och effektivt system för isnavigering med hjälp av radardata från masskällor. Dessa utmaningar sträcker sig från teknik, till exempel standardisering av datainsamling, till strategiska frågor, såsom säkerhetskonsekvenserna av att dela radarinformation. Att övervinna dessa hinder är avgörande för att förverkliga visionen om ökad säkerhet och effektivitet vid vinternavigering.

Negativa effekter ur ett totalförsvarsperspektiv:

Offentlig delning av radardata kan ha negativa konsekvenser ur ett totalförsvarsperspektiv. Det finns säkerhetsrisker kopplade till offentlig kartläggning av radarinstallationer, vilket kan äventyra känslig infrastruktur. Därför är det nödvändigt att noggrant överväga de nationella säkerhetskonsekvenserna innan ett system för offentlig delning av radardata implementeras.

Brist på standardiserade gränssnitt (API):

En avsaknad av standardiserade och branschaccepterade API för insamling av radardata mellan olika systemtillverkare skapar betydande hinder för integration. Detta kräver ofta skräddarsydda lösningar för varje radarsystem, eftersom radar utgör en operationskritisk utrustning behöver IT säkerheten tas i beaktande. För att främja innovation och konkurrens inom maritim teknik bör utvecklingen av öppna tredjepartsgränssnitt uppmuntras. Detta kan sänka kostnader, minska beroendet av enskilda leverantörer och möjliggöra för radarsystemleverantörer att dra nytta av ett bredare utbud av applikationer och tjänster.

Behov av gemensam islägesuppfattning:

Även om det pågår arbete för att inkludera kustradarstationer på den finska sidan, saknas motsvarande insatser för att integrera radarinformation från den svenska sidan eller från svenska isbrytare. Denna begränsning minskar den övergripande förståelsen av issituationen i Bottenhavet och kan påverka effektiviteten i beslutstagande och samordning mellan nationerna.

Datakommunikationsmetoder:

Det finns ett behov av att utforska alternativa metoder för att överföra radardata mellan fartyg utan att vara beroende av LTE- och satellitdatalänkar. Att använda radiolänkar för lokalt informationsutbyte kan öka robustheten. För närvarande saknas riktlinjer för hur dessa tekniker kan tillämpas effektivt.

Effektiv meddelandehantering:

Strategier för hantering av stora datamängder saknas, särskilt vad gäller format, frekvens och storlek på överförda data. Detta är särskilt viktigt med tanke på begränsningarna i olika datakommunikationslänkar som IP- och radionätverk.

Radarinställningsstrategier:

Det är nödvändigt att utveckla metoder för att samla in radardata anpassade för specifika ändamål. Detta kräver att mänsklig erfarenhet och fingertoppskänsla översätts till algoritmer som kan användas vid efterbearbetning av data.

Avancerade algoritmer för isanalys:

Akademisk och teoretisk kunskap om avancerade algoritmer för isanalys behöver omvandlas till praktiska verktyg. Dessa verktyg kan bidra till att förutsäga isrörelser, identifiera riskområden och stödja beslut inom navigation och isassistans.

Förbättrad analys med högupplöst radardata:

Genom att kombinera högupplöst radardata med satellitdata kan analysen av historiska tidsserier av isrörelser förbättras. Detta kan ge en mer detaljerad förståelse av isens dynamik och stödja framtida planering och operationer.

Praktiska tester:

Praktiska tester är avgörande för att validera tekniska och operativa förändringar. Det innebär exempelvis att demonstrera system för delning av data angående isläget mellan isbrytare och handelsfartyg.

Sammanslagning av radardata:

Att kombinera radardata från isbrytare och satelliter kan förbättra noggrannheten i isprognoser. Om avvikelser upptäcks kan dessa användas för att korrigera prognoser och förutsäga isens rörelser mer tillförlitligt.

Objektidentifiering med AI:

AI-modeller kan bidra till att identifiera och matcha karakteristiska isformationer med aktuella positioner i sjökort. Detta kan förbättra precisionen i navigationsstöd och isanalys.

Referenser

- Berg, A., & Eriksson, L. (2014). Investigation of a Hybrid Algorithm for Sea Ice drift Measurements Using Synthetic Aperture Radar Images. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote sensing*, vol. 52, 8, (ss. 5023-5033).
- Bhattacharjee, S. (u.d.). *Understanding the Principles of Passage Planning*. Hämtat från Marine Insight: <https://www.marineinsight.com/marine-navigation/understanding-the-principles-of-passage-planning/#:~:text=These%20processes%20are%20carried%20out%20through out%20the%20appraisal,into%20consideration%20various%20factors%2C%20 both%20observed%20and%20predicted%20>
- Buyssse, J. (2007). *Handling ships in ice - a practical guide to handling 1A and 1AS ships*. London: The Nautical Institute.
- Demchev D., E. L. (2023). Intercomparison of Sea Ice Tracking Algorithms from Multifrequency SAR Image in the Arctic. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Pasadena, CA, USA: IEEE.
- Demchev, D. e. (2017). Sea ice drift tracking from sequential SAR images using accelerated-KAZE features. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 55, 5174–5184. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2703084>
- Hollands, T. a. (2011). Performance of a multi-scale correlation algorithm for the estimation of sea ice drift from SAR images: initial results. *Annals of Glaciology*, 52, 311–317. doi:<https://doi.org/10.3189/172756411795931462>
- ICS International Chamber of Shipping. (2022). *Bridge Procedures guide*. London: Marisec Publications. doi:ISBN: 978-1-913993-07-6
- IMO. (2014). *STCW - International convention on Standards for Training, Certification and watchkeeping for Seafarers*. London: IMO International Maritime Organisation. doi:ISBN: 978-92-801-16359
- Karvonen, J. (2012). Operational SAR-based sea ice drift monitoring over the Baltic Sea. *Ocean Sci.*, 8, 473–483.
- Komarov, A. S. (2014). Sea ice motion tracking from sequential dual-pol RADARSAT-2 images. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 52, 121–136. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2236845>
- Muckenhuber, S. e. (2016). Opensource feature-tracking algorithm for sea ice drift retrieval from Sentinel-1 SAR imagery. *The Cryosphere*, 10, 913–925. doi:<https://doi.org/10.5194/tc-10-913-2016>
- Snider, D. (2012). *Polar ship operations - a practical guide*. London: The Nautical Institute.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Maritim
Systeminnovation
RISE Rapport :P120776 –
TrV 2023/98276
ISBN: