

Plovidba u ledu

Jakelić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:527145>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

LUKA JAKELIĆ

PLOVIDBA U LEDU

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**PLOVIDBA U LEDU
THE ICE NAVIGATION**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Pomorska meteorologija i oceanografija

Mentor: doc. dr. sc. Tatjana Ivošević

Student: Luka Jakelić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083642

Rijeka, rujan 2023.

Student: Luka Jakelić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083642

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom PLOVIDBA U LEDU izradio samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Tatjana Ivošević.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezoao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student:



Luka Jakelić

Student: Luka Jakelić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083642

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student:



Luka Jakelić

SAŽETAK

Ekstremni klimatski uvjeti polarnih područja Arktika i Antarktike svojim iznimno niskim temperaturama zraka i smrznutim vodenim površinama predstavljaju veoma izazovno i rizično okruženje za pomorstvo. U odnosu na povijesne pokušaje plovidbe u ledu, hrabre ekspedicije ka istraživanju prohodnih ruta te kasnije otkriće sjeverozapadnog i sjeveroistočnog prolaza, sa današnjeg gledišta tehnološkog razvitka shvaćamo da su znanje i opremljenost broda tek polazište planiranja uspješne i sigurne plovidbe kroz led. Podvodne ledene površine, kompleksno međudjelovanje struja, vjetrova i magle zahtijevaju precizno planiranje plovidbe u ledu. Smanjenje nesreća u plovnim područjima s ledom, rezultat je napredne obuke pomoraca i prilagodbi konstrukcije brodova za sigurnu plovidbu.

Ključne riječi: klimatski uvjeti, led, ledolamac, planiranje plovidbe u ledu.

SUMMARY

The extreme climatic conditions of the polar regions in the Arctic and Antarctica, with their exceptionally low air temperatures and frozen water surfaces, present a challenging and high-risk environment for maritime activities. In comparison to historical attempts at ice navigation, the courageous expeditions aimed at exploring navigable routes, and later the discovery of the Northwest Passage and Northeast Passage, from today's perspective of technological advancement, we understand that knowledge base and ship navigational equipment are merely the starting point for planning successful and safe the ice navigation. Submerged ice surfaces, the complex interplay of sea currents, winds, and fog necessitate precise navigation planning in ice-covered waters. Reducing maritime accidents in areas for ice navigation is the result of advanced training of seafarers and adaptations to shipbuilding for safe navigation.

Keywords: climatic conditions, ice, icebreaker, ice navigation planning.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. POVIJEST PLOVIDBE U LEDU	2
2.1 SJEVEROZAPRADNI PROLAZ.....	2
2.2 SJEVERNOISTOČNI PROLAZ.....	3
3. ELEMENTI POLARNIH PODRUČJA	4
3.1. ZNAČAJKE OSNOVNIH ELEMENATA POLARNIH PODRUČJA.....	4
3.2. ZNAČAJKE OSNOVNIH METEOROLOŠKIH POJAVA I FRONTI.....	5
4. OPĆENITO O LEDU	6
4.1. MORSKI LED	7
4.1.1 Novi led.....	8
4.1.2. Nilas led.....	8
4.1.3 „Palačinka“ led (eng. <i>Pancake ice</i>).....	9
4.1.4. Mladi led	10
4.1.5 Jednogodišnji led	10
4.1.6. Stari led	10
4.2. RIJEČNI LED	11
4.3. LEDENJAČKI LED	11
4.3.1. Ledene sante.....	11
4.3.2. Ledeni brjegovi	12
4.4. PLUTAJUĆI LED	13
4.5. VEZANI LED	14
4.6. PLUTAJUĆE LEDENO POLJE	14
5. PLOVIDBA U LEDU	15
5.1. KARAKTERISTIKE BRODOVA.....	15

5.1.1. Ledene klase	16
5.2. POLARNA KLIMA ARKTIKA.....	16
5.3. POLARNA KLIMA ANTARKTIKE	18
5.4. PLIME I STRUJE U POLARNOM PODRUČJU ARKTIKA	19
5.5. PLIME I STRUJE U POLARNOM PODRUČJU ANTARKTIKE	20
5.6. KLIMATSKE PROMJENE U POLARNIM PODRUČJIMA.....	21
5.7. ZALEĐIVANJE.....	22
5.8. PROPISI O LEDU	24
5.8.1 Klasifikacija leda svjetske meteorološke organizacije.....	26
5.8.2. Međunarodna služba nadzora leda	28
5.9. VREMENSKE PROGNOZE U POLARNIM PODRUČJIMA	28
5.10. IZVJEŠTAJI O LEDU	29
5.11. PRIPREMANJE OPREME I POSADE ZA POLARNA PODRUČJA	30
5.11.1. Sigurnost i zdravlje.....	30
5.11.2. Smrzotine (eng. <i>Frostbite</i>).....	32
5.11.3. Hladni vjetar (eng. <i>Wind chill</i>).....	32
5.11.4. Snježna sljepoća	32
5.12. ZAŠTITNA OPREMA.....	33
5.12.1. Oprema za spašavanje i protupožarna oprema.....	34
6. NAVIGACIJA	36
6.1. DOKAZ LEDA	36
6.2. PLANIRANJE PUTOVANJA.....	37
6.3. DRŽANJE STRAŽE U POLARNIM PODRUČJIMA.....	38
6.3.1. Vidljivost	39
6.3.2. Ispravljanje pozicije	39
6.3.3. Vizualno detektiranje leda	40
6.3.4. Upotreba radara	40
6.4. ULAZAK U LED	41
6.5. PLOVIDBA NAKON ULASKA U LED.....	43
6.6. OPERACIJA PRIVEZA I ODVEZA.....	45

6.7. SIDRENJE U LEDU	45
7. RAD S LEDOLOMCIMA	46
7.1. ZAHTJEV ZA PODRŠKU LEDOLOMCA.....	46
7.2. Komunikacija s ledolomcem.....	47
7.3. KONVOJ	49
7.4. PRATNJA LEDOLOMCA	50
8. ZAKLJUČAK	51
LITERATURA	53
POPIS SLIKA	55
POPIS TABLICA	56

1. UVOD

Pomorska plovidba kroz ledena mora predstavlja jedno od najzahtjevnijih i najdojmljivijih područja istraživanja i operacija u svijetu brodarstva. Polarna područja Arktika i Antarktike svojom intrigantnom ljepotom ali i izazovima koje predstavljaju, već stoljećima iziskuju posebnu pažnju pomorske industrije. Primarna značajka koja ističe navedene regije su niske temperature koje prevladavaju tijekom gotovo cijele godine. Polarna područja Antarktike obuhvaćaju južni kontinent koji je okružen južnim oceanom, dok se područja Arktika nalaze oko sjevernog pola i obuhvaćaju Arktički ocean i okolne kopnene mase. Od iznimno niskih temperatura zraka do smrznutih vodenih površina, ekstremna klima stvara zahtjevno okruženje za pomorstvo.

Ovim završnim radom prikazat će se istraživanje plovidbe u ledenim morima i vodama, razmatrajući raznolike aspekte ovog kompleksnog polja. Kroz analizu povijesti plovidbe u ledu, elemenata polarnih područja, različitih vrsta leda, karakterističnih klimatskih faktora te tehnikama navigacije, sagledati ćemo kako se ljudska sposobnost prilagodbe i inovacije suočava s opasnostima koji proizlaze iz ekstremnih uvjeta. Nadalje, ovim radom sa svakim segmentom plovidbe u ledenim područjima kako bismo uspostavili sveobuhvatan uvid u izazove, tehnike i strategije koje se primjenjuju u ovoj specifičnoj pomorskoj disciplini.

2. POVIJEST PLOVIDBE U LEDU

2.1 SJEVEROZAPADNI PROLAZ

Kolumbovo otkriće Amerike u 15. stoljeću potaknulo je potragu za alternativnim trgovačkim rutama prema Kini kako bi se skratilo vrijeme putovanja iz Europe u Aziju. Međutim, svi pokušaji pronalaska sjeverozapadnog prolaza, koji su se dogodili od kraja 15. stoljeća do početka 20. stoljeća, nisu bili uspješni. Prvi koji je pokušao pronaći izravan put prema istoku 1497. godine bio je John Cabot (vjeruje se da je poginuo negdje blizu Arktičkog kruga). Martin Frobisher je 1576. godine putovao preko današnjeg kanadskog Arktika i izjavio da je pronalazak sjeverozapadnog prolaza jedino što još nije ostvareno na svijetu. Kapetan James Cook je 1776. godine krenuo na putovanje koje je uključivalo nagradu od 20 000 funti osobi koja pronađe taj prolaz. Nakon svojeg pokušaja, Cook je zaključio da ne postoji prolaz iznad 70° N jer je sve zaleđeno i neprikladno za trgovinu, što je kasnije potvrdio i George Vancouver.[1]

Brojne su se ekspedicije uputile u istraživanje sjeverozapadnog prolaza. Sir John Franklin je 1845. godine s dvama brodovima krenuo istraživati kanadski Arktik. Njegovi brodovi bili su zarobljeni u ledu blizu otoka King William. Na pola puta kroz prolaz, nakon dvije godine traženja, Franklin je umro, a ostatak posade napustio je brodove u nadi za spasom. Tijekom potrage za Franklinom, zapovjednik broda *HMS Investigator*, Robert McClure, putovao je sjevernim Pacifikom i prošao kroz Beringov prolaz, ali se također zaglavio u ledu blizu otoka Banks. McClure je pronađen 1854. godine te je postao prvi čovjek koji je otkrio sjeverozapadni prolaz. McClure je imenovan vitezom i promoviran je u kapetana. Britanski parlament dodijelio mu je nagradu od 10 000 funti a on ju je podijelio s posadom.[1]

Sjeverozapadni prolaz nije bio prohodan sve do 1906. godine kada je norveški istraživač Roald Amundsen uspješno završio trogodišnje putovanje brodom *Gjøa*. Amundsen je stigao u grad Eagle na Aljaski i kad je poslao telegram, tada je obznanjen njegov uspjeh. Unatoč postignutom uspjehu, njegovo putovanje kroz prolaz Rae suočilo se s izazovima mladog leda i ekstremno plitkih putova što je činilo rutu neprikladnom za trgovačke svrhe. [1]

2.2 SJEVERNOISTOČNI PROLAZ

Sjeverni morski put, poznat je i kao sjeveroistočni prolaz. Predstavlja morske rute sjeverno od Sibira koje povezuju Atlantski i Tihi ocean.

Ruski su istraživači i pomorci već od 16. stoljeća istraživali područja Arktika. Povijesno značajan trenutak dogodio se 1878. godine kada je finsko-švedski istraživač Adolf Erik Nordenskiöld uspješno prošao sjeveroistočnim prolazom od zapada prema istoku. Krajem 19. stoljeća, ruski admiral Makarov dao je poticaj aktivnoj navigaciji s ojačanim trupovima, što je rezultiralo izgradnjom izuzetno snažnog ledolomca *Ermak*. Odslužio je više od 60 godina i težio gotovo 9 000 tona. Ruska ekspedicija predvođena Borisom Vilkitskiyem je 1915. godine uspješno preplovila sjeverni morski put s istoka na zapad koristeći ledolomce *Taimyr* i *Vaigach*. Prvi teretni brodovi koji su prošli tim putem bili su *Iskra* i *Vancetti* 1935. godine, prevozeći teret iz Lenjingrada u Vladivostok. Nakon Drugog svjetskog rata, Rusija je intenzivno razvijala svoju flotu ledolomaca kako bi omogućila brži i sigurniji prijevoz ljudi i tereta. Godine 1960. izgrađen je prvi nuklearni ledolamac *Lenjin*, a 1971. godine, zajedno s polarnim ledolomcem *Vladivostok* uspješno su prošli sjevernim morskim putem bez konvoja. Značajni trenutak dogodio se 17. kolovoza 1977. godine kada je brod *Arktika* postao prvi površinski brod koji je stigao na Sjeverni pol, dosegnuvši tako „vrh svijeta”. [1]

3. ELEMENTI POLARNIH PODRUČJA

3.1. ZNAČAJKE OSNOVNIH ELEMENATA POLARNIH PODRUČJA

Jedna od prvih značajki koja ističe polarna područja su niske temperature koje prevladavaju tijekom gotovo cijele godine. Od iznimno niskih temperatura zraka do smrznutih vodenih površina, ekstremne temperature stvaraju zahtjevno okruženje. Na Arktiku ljetne temperature variraju od $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, a tijekom zime temperature padaju znatno niže i često su ispod $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. U unutrašnjosti Arktika i na višim nadmorskim visinama, temperature se mogu spustiti i do $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ljetne temperature na Antarktici kreću se od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a tijekom zime temperature drastično padaju. Prosječne temperature tijekom zime mogu biti od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ na obalnim područjima. Na unutrašnjim dijelovima Antarktike, temperature se mogu spustiti i ispod $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. [2. p. 358]

Ledeni i snježni pokrivači koji prekrivaju veći dio površine polarnih područja imaju ključnu ulogu u regulaciji temperature i održavanju ravnoteže klime. Ova obilježja, poput ledenih pokrivača i glečera, ne samo da reflektiraju sunčevu svjetlost, već i djeluju kao regulacijski mehanizmi. Ledeni pokrivači i glečeri imaju sposobnost apsorbirati toplinu iz okoline kako bi se omekšali ili istopili, a apsorbirana toplina koristi se za mijenjanje faze leda u vodu ili obratno. Ovaj proces hlađenja zraka oko ledenih površina doprinosi održavanju nižih temperatura u okolini. [4, p.9-10]

Fenomen polarnih dana i noći dodatno obilježava ova područja. Tijekom ljetnih mjeseci, polarna područja doživljavaju neprekidnu svjetlost tijekom dana dok zimi sunce potpuno zaobilazi horizont, stvarajući neprekidnu tamu. Ovo ekstremno osciliranje svjetla ima dubok utjecaj na prirodu, ritmove života i atmosferske procese. [2. p. 358]

Atmosferski tlak također ima svoje jedinstvene karakteristike u polarnim područjima. Varira ovisno o sezoni i specifičnim vremenskim uvjetima. Zimi, niska temperatura može rezultirati povećanim atmosferskim tlakom, dok topliji zrak ljeta može dovesti do nižeg tlaka. [2, p. 358-360]

3.2. ZNAČAJKE OSNOVNIH METEOROLOŠKIH POJAVA I FRONTI

Arktički krug i Antarktika su dvije suprotne polarne regije planete Zemlje, svaki s vlastitim jedinstvenim okruženjem. Arktički krug okružuje sjeverni pol i uključuje Arktički ocean te obližnje kopnene mase. S druge strane, Antarktika, smještena na južnom polu, obuhvaća južni kontinent okružen Južnim oceanom. Relativna vlažnost zraka u polarnim područjima uobičajeno je mala. Tijekom zime, relativna vlažnost je niža od 30 %, a tijekom ljeta, je nešto veća, ali niža od 60 % čak i kada postoje izvori vodene pare. Hladan zrak ne može primiti velike količine vodene pare, što rezultira malim količinama oborina. U Arktičkim regijama, godišnja količina oborina može biti manja od 250 mm. U unutarnjim dijelovima Antarktike, godišnja količina oborina može biti iznimno niska, obično ispod 50 mm. Oborine su najčešće u obliku snijega. [2, p.358-359]

Zimi je atmosferski tlak u polarnim područjima visok i doseže do 1040 hPa dok je ljeti atmosferski tlak niži te on iznosi od 990 hPa do 1015 hPa, a najveći tlak proteže se do visina od 3 km. Iznad tog područja nalazi se polarni vrtlog niskog tlaka, koji postaje sve izraženiji s porastom visine. Na sjevernoj polutki, prizemni visoki tlak ima varijacije tijekom godine, s čestim poremećajima uzrokovanim vrtlozima niskog tlaka. Južna polarna područja imaju visoki tlak koji je izraženiji i postojaniji zbog svoje izdignute ledene ploče i manjih vremenskih promjena. [2. p. 359]

Vjetrovi u polarnim područjima imaju istočne komponente. Visok tlak dominira polarnim područjima, dok niži tlak prevladava prema manjim geografskim širinama. Ova dinamika rezultira polarnim prizemnim vjetrom. Taj vjetar posjeduje istočne komponente strujanja zahvaljujući djelovanju Coriolisove sile. Vjetrovi su na sjevernoj polutki sjeveroistočni, dok iznad visina od dva kilometra, gdje je polarni vrtlog niskog tlaka, strujanje ima zapadni smjer. Prilikom vrtložnog podizanja zraka zbog niskog tlaka u središtu dolazi do povećanja brzine vjetra i smicanja vjetra. Smicanje je promjena smjera što uzrokuje da vjetar mijenja smjer od istočnog prema zapadnom. [2. p. 359]

4. OPĆENITO O LEDU

Led dijelimo na morski i kopneni led koji se međusobno razlikuju prema slanoći i načinu postanka. Morski led nastaje smrzavanjem morske vode saliniteta većim od 24.7 ‰, dok kopneni led nastaje smrzavanjem riječnih, jezerskih i ledenjačkih masa iz planinskih masiva i to salinitetom manjim od 24.7 ‰. Rijeke i jezera također sadrže sol, ali koncentracija soli rijeka i jezera je znatno niža od saliniteta mora i oceana. Inače, da bi led nastao moraju se zadovoljiti dva osnovna uvjeta: niska temperatura i salinitet. [4. p. 1]

Led koji nastaje iz slatkih voda rijeka ili jezera čišće je kristalne strukture i čvrstoće 35 MPa što je približno čvrstoći betona.[6] Led koji nastaje kristaliziranjem morske vode drugačije je strukture. Taj led sadrži takozvane „džepove“ slane vode između kristala leda. Zbog toga je morski led slabije čvrstoće od leda slatkih voda i daleko osjetljiviji na sniženje temperaturu jer soli u morskoj vodi smanjuju temperaturu ledišta morske vode, te se slatkovodni led formira prije od morskog leda. Naime, kako led stari, usporedno opada temperatura ledišta te se ti „vodeni džepovi“ zamrzavaju prema krajevima, dok se povišenjem temperature unutrašnje stijenke „vodenih džepova“ tope i razrjeđuju. Nakon godinu dana led ispušta sol i on je skoro u potpunosti sastavljen od slatke vode. [4. p. 1]

Razlikujemo tri vrste leda morskih područja: slatkovodni led iz rijeka i jezera, morski i ledenjački led. Led slatke vode formira se i topi svake godine i ne prelazi debljinu od 70 cm, iako se javljaju klanci i nabori. Morski led nastaje smrzavanjem morske vode. Na polarnim područjima može opstati nakon zime i tijekom ljeta te nastaviti rasti sljedeće zime. Zbog toga razloga tijekom višegodišnjeg rasta, debljina morskog leda može biti veća od 3 m. [3. p. 34] Ledenjački led čine ledenjaci dospjeli u more odlamanjem kopnenih ledenjaka. Mogu biti debljina i nekoliko desetaka metara. Ono što polarne regije razlikuje od drugih područja s ledom je veća prisutnost višegodišnjeg leda i ledenjačkog leda. Višegodišnji, odnosno stari led, obično je veće debljine, veće tvrdoće, i veće gustoće od slatkovodnog leda. [3. p. 34]

U Tablici ,1 prikazan je sažeti pregled zimskih uvjeta koji se mogu susresti u Kanadskom Arktiku. Ove vrijednosti predstavljaju prosječne najteže uvjete koji se obično javljaju, ali ne smiju se koristiti kao osnova za projektiranje jer ne uzimaju u obzir lokalne ekstremne vrijednosti.[5]

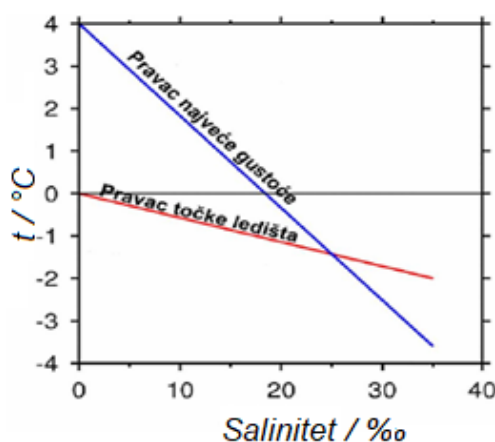
Tablica 1: Meteorološki uvjeti u Kanadskom Arktiku
 (http://repositorij.fsb.hr/1149/1/30_11_2010_Diplomski_rad_MP.pdf (20.6.2017.)) [5]

Područje	Razdoblje	Debljina leda	Grebeni	Ledeni brijegovi
Beaufortovo more	listopad-srpanj	180 cm (FY) 320 cm (MY)	5 -15 grebena/km 10-15 m visine	rijetko
Baffinov zaljev	listopad - kolovoz	160 cm (FY) 280 cm (MY)	-	>2000/godini 12 mjeseci prisutni
Davisov prolaz	listopad - kolovoz	160 cm (FY) 280 cm (MY)	-	>2000/godini 12 mjeseci prisutni
Kanadski arktički arhipelag	listopad - kolovoz	220 cm (FY) 350 cm (MY)	15-20 m visine	par/godini 12 mjeseci prisutni
Greenland	siječanj - svibanj	50 cm (FY) 200 cm (MY)	-	12 mjeseci prisutni
Newfoundland	siječanj - svibanj	80 cm (FY)	6 m visine	450/godini travanj- srpanj
Obala Labradora	prosinac - srpanj	100 cm (FY) 150 cm (MY)	10 m visine	1000/godini 12 mjeseci prisutni

FY: jednogodišnji led; MY: višegodišnji led

4.1. MORSKI LED

Morski led se formira za najmanje 0.2 °C niže od slatkovodnog leda, zbog razlike u gustoći i salinitetu vode. Ledište morske vode ovisi o slanosti vode. Mladi morski led sadrži slanu otopinu, ali kako se led hladi, ta se slanost mijenja. Niske temperature utječu na čvrstoću leda, a sezonske promjene poput proljetnog i ljetnog topljenja dovode do postupnog gubitka soli iz leda i na taj način led postaje veće čvrstoće. [3, p.43-45]



Slika 1: Prikaz linija najviše gustoće i točke ledišta, ovisne o temperaturi i salinitetu.

Izvor: http://skola.gfz.hr/d3_1.htm [7]

Za salinitet 0 ‰, voda ima najveću gustoću pri 4°C i ona iznosi 1000 kg/m³. To znamo jer led manje gustoće od vode pluta na vodi. Porastom saliniteta najveća gustoća vode se spušta prema nižim temperaturama. Za salinitet od 10 ‰, najveća gustoća vode je pri 2°C. Za salinitet od 25‰, najveća gustoća je pri temperaturi -1,5 °C. [7]

Pri salinitetu 0 ‰, ledište vode je na 0°C. Porastom saliniteta voda se ledi pri nižim temperaturama. Pri salinitetu od 25 ‰, ledište je na -1,5°C (slika 1).

Postoji nekoliko jasno definiranih faza u procesu formiranja morskog leda, koje se razlikuju prema njihovom stupnju razvoja i unutarnoj strukturi. Glavne faze u razvoju leda su sljedeće: [4, p, 4]

1. novi led
2. nilas led
3. palačinka“ led
4. mladi led
5. led prve godine ili jednogodišnji led te
6. stari led.

4.1.1. Novi led

Novi led je opći termin za novo nastali led, koji uključuje frazilski led (eng. *frazil ice*). Ove vrste leda sastoje se od nasumično vezanih ledenih kristala veličina nekoliko milimetara. Nastaju zimi u turbulentnim hladnim vodama uzrokovanim valovima i morskim strujama [4. p. 4]

4.1.2. Nilas led

Ovo je tanka elastična kora leda koja se lako savija na valovima i nadolazećim valovima. Pod pritiskom poput valova, nilas led poprima izgled pukotina nalik isprepletenih prstiju (eng. *finger rafting*, slika 2). Nilas ima površinu bez sjaja i debljinu do 10 cm. Može se podijeliti na tamni nilas i svijetli nilas, pri čemu je tamni nilas tanji od svijetlog pa se može govoriti o tankom i debelom nilasu. Tamni nilas ima debljinu do 5 cm, a svijetli ima debljinu veću od 5 cm. [4. p. 6]



Slika 2: Nilas led

Izvor: <https://www.dreamstime.com/photos-images/ice-nilas.html>

4.1.3 „Palačinka“ led (eng. *pancake ice*)

„Palačinka“ led je naziv za kružne komade leda promjera od 30 cm do 300 cm i debljine do 10 cm. Komadi leda imaju izdignute rubove zbog sudaranja jednih s drugima. Može se formirati na laganim valovima od frazil leda, ili kao rezultat pucanja korice leda. S debljinom do 10 cm, „palačinka led“ (slika 3) ne bi trebao stvarati probleme za pomorski promet osim ako se radi o brodovima vrlo lagane konstrukcije poput brodova za riječni prijevoz putnika. Međutim, treba paziti na usise motora ako brod nije klasificiran za plovidbu ledom.[4. p. 6]



Slika 3: Palačinka led

Izvor: <https://www.pressandjournal.co.uk/fp/news/aberdeen-aberdeenshire/433731/stunning-pictures-show-ice-pancakes-forming-river-dee/>

4.1.4. Mladi led

Ovo je led u daljnjoj fazi razvoja, između faze nilasa i faze jednogodišnjeg leda. Sive je boje, ali kako se povećava debljina, postaje bjelji. Ima debljinu do 30 cm i može negativno utjecati na brodove, ovisno o njihovoj klasifikaciji za plovidbu ledom i snazi. [4. p. 6]

4.1.5 Jednogodišnji led

Jednogodišnji led može se podijeliti na:

- tanki jednogodišnji led (bijeli led) debljine do 30 cm
- prva faza debljine 30 – 50 cm
- druga faza debljine 50 – 70 cm
- treća faza debljine jednogodišnjeg leda, 70 – 120 cm
- četvrta faza jednogodišnjeg leda, debljine veće od 120 cm.

Jednogodišnji led smatra se relativno mekim ledom, ali kako postaje deblji od 1 m i kako zima napreduje, povećat će se čvrstoća i može doseći debljinu veću od 2m. [4. p. 7]

4.1.6. Stari led

Stari led je led debljine najmanje 3m i preživio je barem jednu sezonu topljenja. Prepoznaje se po plavozelenoj boji. Plovidba u prisutnosti starog leda izuzetno je opasna, čak i za ledolomce. Svaki pokušaj plovidbe u takvim uvjetima zahtijeva pažljivo razmatranje prije ulaska u stari led. Kada led postane višegodišnji, ima tlačnu čvrstoću 30 Mpa što je čvrstoća slična tvrdom drvu kao što je hrast. Tvrdo drvo poput hrasta može imati tlačnu čvrstoću od 30 MPa do 60 MPa. [10]

Dvogodišnji led je stari led koji je preživio samo jedno ljetno topljenje. Debljine je od 1 m do 3 m zbog ljetnog topljenja. Za razliku od višegodišnjeg leda, ljetno topljenje stvara pravilan uzorak brojnih malih lokvi vode unutar strukture leda koje obično imaju zelenkasto-plavu boju. Permafrostni bazeni javljaju se na Arktiku tijekom ljeta kada se snijeg i led tope na površini ledenog pokrivača, stvarajući ledene bazene. Međutim, topljenje rijetko doseže do oceana ispod. Kada zima ponovno stigne, permafrostni bazeni ponovno se smrzavaju. [4. p. 8]

4.2. RIJEČNI LED

Ovaj led formira se u vodi s udjelom soli manjim od 24,7 ‰ i negativnim temperaturama bliskim temperaturi ništice. Riječni led je led koji se formira na rijekama i drugim tekućim vodama pod utjecajem niskih temperatura, snijega te odsustva struja i brzine vode, struja može potpuno spriječiti smrzavanje vode zbog konstantne cirkulacije vode. Praćenje nastajanje i kretanja riječnog leda važno je za sigurnost plovidbe i različite aktivnosti na rijekama. [4. p. 2]

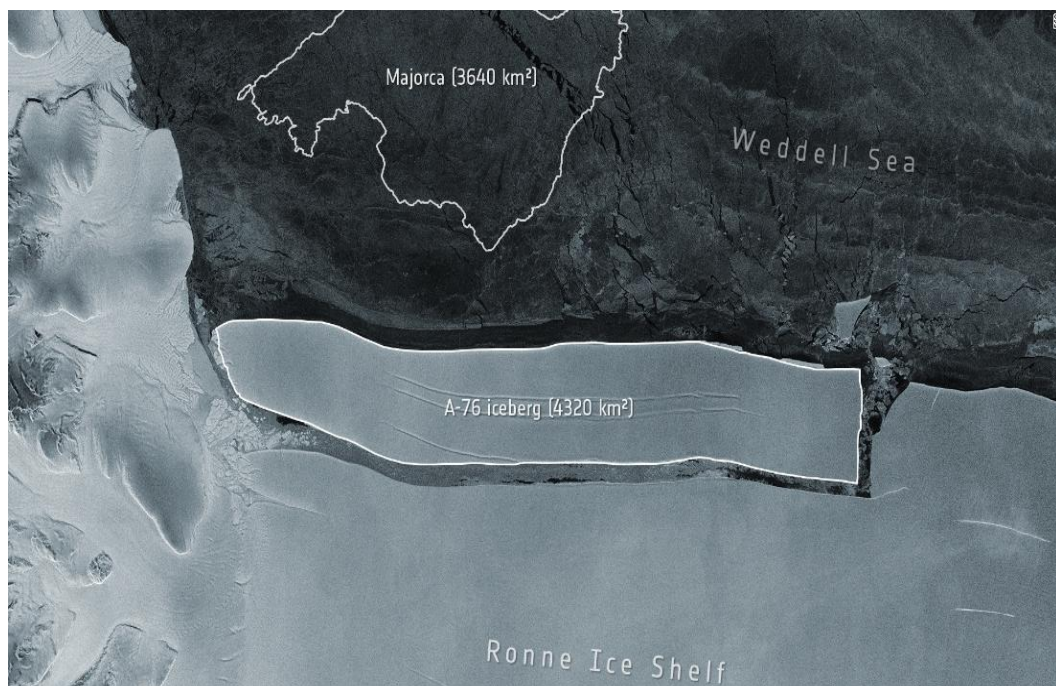
4.3. LEDENJAČKI LED

4.3.1. Ledene sante

Ledena sante je kompaktna masa leda koja pluta na vodi/moru/oceanu. To je rezultat smrzavanja morske vode ili slatke vode i može se razlikovati po veličini, obliku i debljini.

Ledene sante mogu biti opasne za plovidbu jer mogu uzrokovati sudare što oštećuje plovila. Ledene sante mogu biti opisane kao tabularne, kupolaste, nagnute, sa šiljcima, ili ledenjaci. [4. p. 9]

Trenutno najveća zabilježena ledena santa, poznata kao A76, ima površinu oko 4 320 km², što je približno jednako veličini Luksemburga. Također, procjenjuje se da ima dužinu oko 170 km i širinu oko 25 km. Ova ogromna ledena santa otpala je sa ledenog otoka Ronne u Weddellovom moru na Antarktici (slika 4). [11]



Slika 4: Prikaz sante leda A-76 i dio antarktičke ledene ploče Ronne od koje se odlomila

Izvor: <https://johnrieber.com/2021/05/23/worlds-largest-iceberg-a-76-forms-in-antarctica-another-example-of-the-catastrophe-of-global-warming/> [11]

4.3.2. Ledeni brjegovi

Tisućljetno akumuliranje snijega stvara ledenjake koji se, spuštajući s polarnih područja prema moru, formiraju u ledenim brjegovima. Ledeni brjegovi nepravilnog su oblika i mogu se izdizati čak do 30 m iznad razine mora. Njihova duljina varira od nekoliko stotina metara do 10-15 kilometara, a u moru ostaju prosječno četiri godine (Tablica 2).

Približno 90 % površine ledenog brjega nalazi se ispod površine mora, što ih čini iznimno opasnim za plovidbu. Iako je poznat tragičan sudar broda *Titanic* s ledenim brjegovom 1912. godine, danas su poboljšane mjere detekcije dubinskih prepreka pa je opasnost od sudara s ledom smanjena na minimum. [4, p. 9]

Tablica 2: Klasifikacija ledenih brjegovova po veličini [13]

Izvor: <https://www.egu.eu/>

Kategorija veličine	Visina / m	Duljina / m
"Growler"	< 1	<5
"Bergy Bit"	1-4	5-14
Mala	5-15	15-60
Srednja	16-45	61-122
Velika	46-75	123-213
Vrlo velika	>75	>213

4.4. PLUTAJUĆI LED

Plutajući led, poznat i kao „drift“ led, predstavlja ledeni sloj koji pluta na površini mora pod utjecajem vjetrova i morskih struja. Karakterizira ga raznolika veličina i oblik, sastoji se od ledenih ploča, komadića i krhotina. Može se formirati kao rezultat lomljenja morskog leda ili nastanka novog leda koji je guran vanjskim silama. Plutajući led se uglavnom nalazi u polarnim regijama osobito u središnjem i sjevernom djelu Arktika. [4. p. 11]



Slika 5: Plutajući led različitih oblika na Grenlandu

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Drift_ice

4.5. VEZANI LED

Vezani led (eng. *fast ice*) opisuje led koji je pričvršćen za obalu, proteže se prema moru i ostaje na istom mjestu tijekom cijele zime. Na sjevernoj polutci može se pronaći u kanadskom arhipelagu, Hudsonovom zaljevu, sjeverno od Aljaske, duž cijele sibirske obale, Bijelog mora i sjeverno od Grenlanda. Vezani led može biti različite dobi i stupnja razvoja i deformacije. Može nestati tijekom ljetnog perioda i ponovno se formirati tijekom zime.[4. p. 12]

4.6. PLUTAJUĆE LEDENO POLJE

Plutajuće ledeno polje (eng. *ice field*) su velike ploče leda koja se nalaze na površini mora i slobodno se gibaju uzrokovano morskim strujama. Ove ledeno-plutajuće ploče formiraju se kada led iz kopnenih ledenjaka ili ledenih polja doseže more i odvaja se od kopna. Plutajuće ledeno polje može biti različitih veličina, od manjih ploča do ogromnih ledenih otoka koja mogu biti veća od nekoliko stotina kvadratnih kilometara. Ove ploče leda često su izuzetno debele i čvrste, pružajući stanište za morske organizme poput tuljana, ptica i riba.[4. p. 13]

5. PLOVIDBA U LEDU

5.1. KARAKTERISTIKE BRODOVA ZA PLOVIDBU U LEDU

Ledolomci su specijalno dizajnirani brodovi koji se koriste za probijanje leda i održavanje plovnih putova u zaleđenim područjima, uključujući i polarna područja. Također, imaju ulogu istraživačkih brodova. Ledolomci su sposobni probiti led debljine do 4m . Njihov naglašeno kosi pramac omogućuje im da se penju po ledenoj površini i lome led koristeći svoju težinu. Opremljeni su velikim balastnim tankovima koji se brzo ispuštaju kako bi se oslobodili od zamrznutog leda. Ledolomci imaju dva do četiri brodska vijka, a neki čak imaju i dodatni vijak ispod pramca. Taj dodatni vijak izvlači vodu ispod ledenog pokrova, olakšavajući probijanje leda. Kako bi bili učinkoviti i sigurni pri plovidbi kroz led, brodovi koji su namijenjeni za takve uvjete moraju zadovoljiti određene tehničke zahtjeve, uključujući oblik trupa, ojačanja za led i snagu pogonskog sustava. Plovidba kroz led može uzrokovati oštećenja na trupu, kormilu, brodskom vijku i porivnom sustavu, posebno u ekstremno hladnim klimatskim uvjetima. Brodovi koji plove u arktičkim područjima moraju također zadovoljiti dodatne zahtjeve u vezi s čvrstoćom trupa, materijalima izloženim niskim temperaturama i ojačanjima prema klasifikacijama za plovidbu u ledu. [8]

5.1.1. Ledene klase

Prema baltičkom sustavu pravila, brodovi se svrstavaju u ledene klase na sljedeći način: [3, p. 114]

Ledena klasa IA Super: brodovi klasificirani za plovidbu u ledu od jednog metra. Imaju snagu od 6100 kW do 6300 kW, njihov ojačani pramac je nakošen koji im omogućuje normalnu plovidbu u teškim baltičkim uvjetima leda bez pomoći ledolomaca.[9]

Ledena klasa IA: brodovi klasificirani za plovidbu od jednog metra koji razvijaju snagu od 5400 kW do 5600 kW nešto manje snage nego klasa IA Super.[9]

Ledena klasa IB: brodovi građeni s klasičnim pramcem, klasificiran je za plovidbu ledom debljine do 0.8 metara. Ovi brodovi imaju snagu od 4800 kW do 5000 kW što im omogućuje plovidbu u umjerenim baltičkim uvjetima leda uz pomoć ledolomaca kada je potrebno.[9]

Ledena klasa IC: brodovi klasificirani za plovidbu ledom debljine 0.6 metara, imaju snagu od 4400 kW do 4600 kW. Brodovi s konstrukcijom klasičnog ojačanog pramca koje im omogućuje plovidbu u laganim uvjetima leda uz pomoć ledolomaca kada je potrebno.[9]

Ledena klasa II: brodovi s čeličnim trupom koji su konstrukcijski prikladni za plovidbu otvorenim morem i koji, iako nisu ojačani za plovidbu po ledu, mogu ploviti u vrlo laganim uvjetima leda svojim pogonskim strojevima.[9]

Ledena klasa III: brodovi koji ne pripadaju gore navedenim ledenim klasama. [9]

5.2. POLARNA KLIMA ARKTIKA

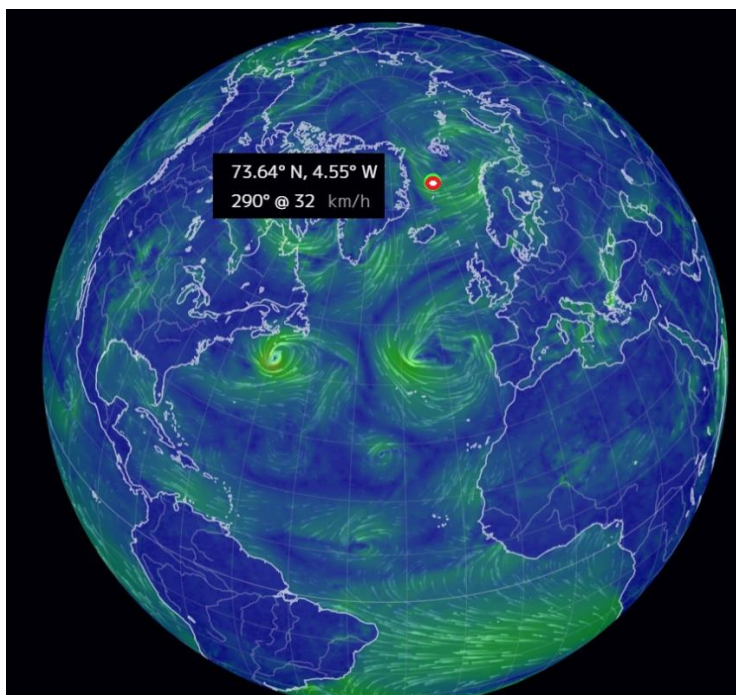
Arktička klima može biti polarno kontinentalna i polarno morska. Uglavnom prevladavaju polarno pomorski uvjeti u područjima koja su zanimljiva za pomorce, ali se mogu pojaviti uvjeti kontinentalnog tipa kada južni vjetrovi unose promjene u polarne uvjete na morskoj površini. [3. p. 4]

Arktička ljeta su uglavnom blaga i oblačna. Otopljenje tla događa se samo do dubine od dva metra. Na višim širinama, dugi ljetni dani doživljavaju do 24 sata Sunčeve svjetlosti. Utjecaj na obrasce spavanja ne smije se zanemariti. [3. p. 4]

Godišnje količine oborina variraju od 60 cm do 125 cm, pri čemu većina pada kao kiša tijekom ljeta. Inverzije (niska topla zračna masa iznad hladnijeg zraka na površini) rijetke su

tijekom ljetnih mjeseci, što rezultira dominantnim djelovanjem ciklona niskog tlaka u Arktiku. [3. p. 5]

Zime su općenito karakterizirane sušim uvjetima, suprotno široko prihvaćenom uvjerenju o većoj količini snijega u polarnim regijama. Vremenski uvjeti su hladni i olujni, ali zbog veće prevalencije inverzija u odnosu na ljetne mjesece, brzine vjetra na površini manje su nego što bi se očekivalo (slika 6). [3. p. 5]



Slika 6: Brzina vjetra u polarnom području 73.64°N 4.55°W dana 5. rujna 2023. iznosi 32 km/h [16]

Izvor:

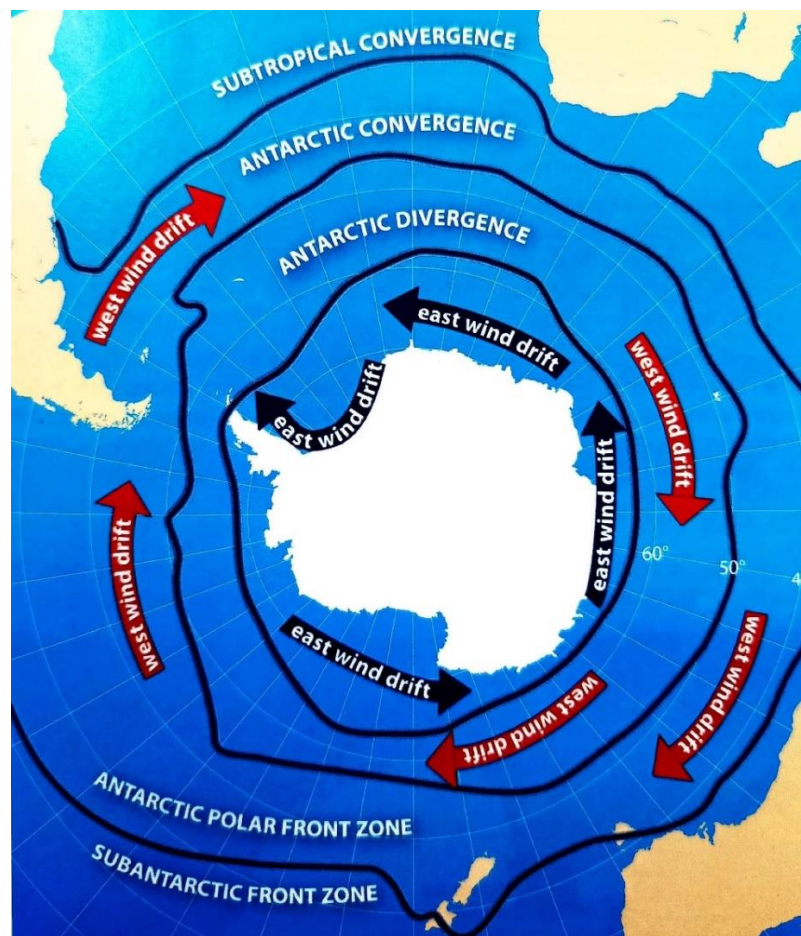
<https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/orthographic=39.88,40.47,322/loc=-5.193,73.684>

Tlak zraka u polarnom području Arktika ima značajan utjecaj na vremenske uvjete. Beaufortski anticiklon je najstalniji i najpoznatiji anticiklon, donoseći stabilne i suhe uvjete. Istočnoeurazijski niskotlačni sustavi poput Sibirskog ciklona te Mongolskog ciklona primjer su ciklona koji mogu uzrokovati oblačno vrijeme i obilne oborine. Tlak zraka u Arktiku može varirati tijekom godine te ima velike oscilacije, što utječe na atmosferske uvjete, temperaturu zraka i formiranje oblaka. Prosječni tlak zraka ljeti na Arktiku kreće se između 980 hPa i 1000 hPa, a zimi između 1020 hPa i 1030 hPa. [3. p. 6]

5.3. POLARNA KLIMA ANTARKTIKE

Južni ocean (50°S – 60°S) smatran je najvjetrovitijim mjestom na svijetu., Antarktička konvergencija, gdje hladna antarktička morska voda teče prema sjeveru ispod toplije subantarktičke vode (slika 7), predstavlja liniju koja definira klimatologiju i vremenske uvjete Južnog oceana jer temperature morske vode na sjeveru i jugu odstupaju i imaju veliki utjecaj na razvoj vremena. [3. p. 7]

Antarktička divergencija događa se između Antarktičke konvergencije i obale Antarktike, općenito sjeverno od granica ledenog pokrivača između 5°S i 10°S geografske širine i karakterizira se uzdižućim strujanjem površinskih voda. Prevladavajući tlakovi u antarktičkom području dominiraju kružnom dolinom, skupinom niskotlačnih sustava koji se nalaze između 60°S i 70°S. Niskotlačni sustavi kreću se prema istoku ili jugoistoku. Vrlo jasne i određene hladne i tople fronte često su prisutne u ovom području. Olujni vjetrovi najčešći su početkom i krajem zime te u proljeće (slika 7). [3. p. 8]



Slika 7: Konvergencija zraka u Antarktici [3. p. 7]

Izvor: Cap. Snider, D,2012, Polar ship operations, the nautical institute, London

Kao što je uobičajeno za niskotlačne sustave, vrijeme je često promjenjivo, vedro vrijeme izmjenjuje se oblačnim s padalinama. Ustvari, duž obalnih područja južnog polarnog područja općenito je oblačno, a oborine padaju uglavnom kao snijeg. Visoke kontinentalne ravnine smatraju se pustinjama i godišnje imaju manje od 50 mm oborina, dok se u obalnim područjima oborine mogu kretati između 500 mm i 1 000 mm godišnje. Ljetne temperature na obali se kreću oko nule, ali mogu postići 9 -12 °C, pri čemu su najtopliji mjeseci siječanj i veljača. Varijabilnost je norma za vremenske uvjete na Antarktiku tijekom ljetnih mjeseci jer je promjena tlaka relativno brza u odnosu na ostala geografska područja [3. p. 9]

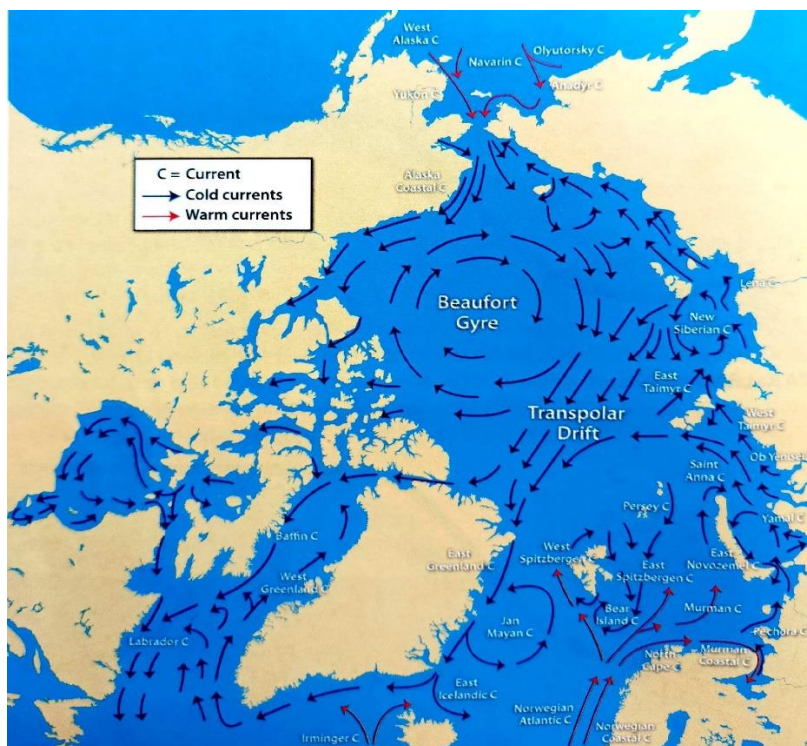
5.4. PLIME I STRUJE U POLARNOM PODRUČJU ARKTIKA

U većini slučajeva, promjena plima u arktičkim regijama je minimalna. Udaljenost obalnih područja i obilna pokrivenost ledom otežavaju ili čak onemogućuju redovita i dugoročna proučavanja plima. Najveće plimne struje zabilježene su na jugoistočnoj obali otoka Baffin u kanadskom Arktiku, na ulazu u Bijelo more u ruskom Arktiku te duž Spitsbergenbankena. Tjesnac Hudson, koji odvaja otok Baffin od sjevernog vrha Quebeca, doživljava neke od najznačajnijih plimnih struja na tom području. Plimne struje u tjesnacu Hudson mogu doseći brzine od 4 do 6 čvorova. [3, p.10-11]

Arktičke vode su najviše pod utjecajem nekoliko velikih strujnih sustava. Dvije primarne polarne struje u Arktiku su Transpolar driftna struja i Beaufort vrtlog . Transpolar driftna struja teče s obale Sibira preko Arktičke kotline i ulazi u Atlantski ocean između Grenlanda i Svalbarda. Beaufort vrtlog teče u satnom smjeru oko svog središta sjeverno od granice između Aljaske i Yukona u Sjevernoj Americi. Obje struje imaju snažan utjecaj na kretanje leda. Beaufortov vrtlog ima trend zadržavati polarni led u stalnoj cirkulaciji, dok Transpolar driftna struja tendira izbacivati led s Arktika (slika 8). [3. p. 11]

Subpolarni strujni sustavi uključuju Istočni grenlandski tok, koji je izlaz Transpolar driftna struja, topli norveški tok koji teče sjeverno iz Atlantika te utjecaj tople vode Aljaškog toka mora putem Beringovog mora. [3. p. 11]

U Hudsonovom zaljevu prevladava protustruja u protusatnom gibanju. Davisov prolaz i Baffinov zaljev doživljavaju sjevernu struju duž istočne strane i južnu duž zapadne strane. Ovaj uzorak izuzetno je važan za kretanje ledenjaka koji se odlome od istočne obale Grenlanda. [3. p. 11]



Slika 8: Arktičke struje i Beaufortov vrtlog [3. p. 10]

Izvor: Cap. Snider, D., 2012, Polar ship operations, the nautical institute, London

5.5. PLIME I STRUJE U POLARNOM PODRUČJU ANTARKTIKE

Antarktička cirkumpolarna struja glavna je istočna morska struja koja utječe na Južni ocean i jedina struja koja u potpunosti obuhvaća planet Zemlju. Općenito, obalne struje su nešto nestalne i promjenjive. Povremene struje koje teku prema zapadu često su primjetne uz samu antarktičku obalu. Unutar Weddellovog i Rossovog mora postoje trajnije obalne struje koje teku prema zapadu. [3. p. 12]

Drakeov prolaz proteže se između Južne Amerike i sjevernog dijela Antarktičkog poluotoka. Antarktička cirkumpolarna struja razdvaja se na dva dijela zapadno od Drakeova prolaza, pri čemu se primarni dio nastavlja kroz prolaz, dok se sekundarni dio okreće prema Bellinghausenovom moru (slika 9), najprije prema jugu, a zatim prema jugozapadu. Protustruja Weddell Gyre nalazi se između Antarktičkog poluotoka prema istoku do 30°E geografske dužine, dok se Ross Gyre nalazi između Rossovog mora i prema zapadu do 120°W geografske dužine. [3. p. 12]



Slika 9: Morske struje oko Antarktike [3. p. 12]

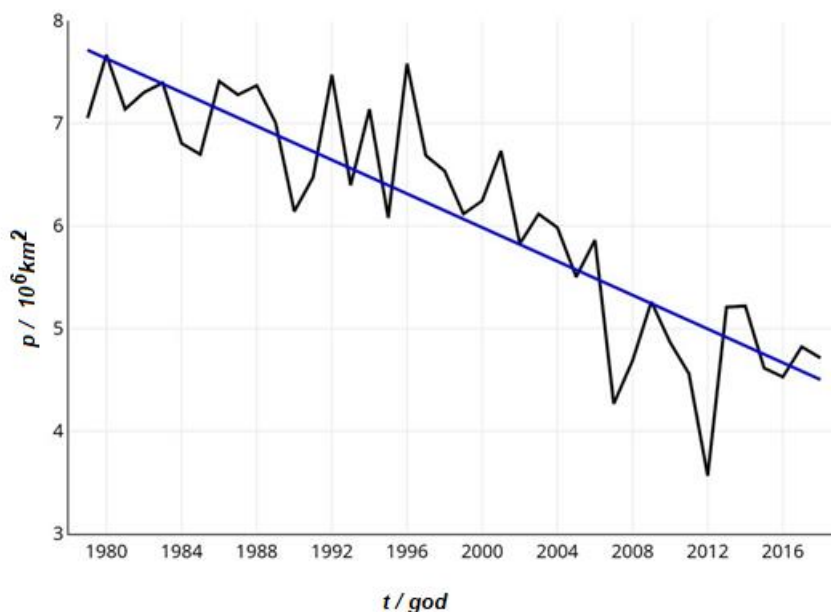
Izvor: Cap. Snider, D., 2012, Polar ship operations, the nautical institute, London

5.6. KLIMATSKE PROMJENE U POLARNIM PODRUČJIMA

Arktik i Antarktika suočavaju se s brzim gubitkom leda i značajnim promjenama u temperaturi i ekosustavima. U Arktiku, površina morskog leda dramatično se smanjuje. U rujnu 2020. godine, površina morskog leda na Arktiku dostigla je minimum od oko 3,74 milijuna kvadratnih kilometara. Ljetna morska ledena površina postiže rekordno niske razine, što ima ozbiljne posljedice za životinjske vrste poput polarnih medvjeda, tuljana i morževa koji ovise o ledenom okolišu. Također, topljenje leda na Grenlandu pridonosi porastu razine mora što može imati negativne posljedice za obalne zajednice širom svijeta. [3. p. 13]

Isto tako, u Antarktici dolazi do gubitka leda, posebno na zapadnom dijelu kontinenta. Brze promjene u ledenim strukturama, poput pucanja ledenih polica, mogu uzrokovati destabilizaciju ledenih ploča na kopnu, što doprinosi povećanju razine mora. Osim toga, promjene u temperaturi i kemijskom sastavu oceana mogu utjecati na morske organizme i hranidbene lance. [3. p. 13]

Ova smanjenja leda imaju i globalne posljedice. Gubitak površine reflektirajućeg bijelog leda u polarnim područjima doprinosi povećanju apsorpcije sunčeve energije, što ubrzava globalno zagrijavanje. Otopljanje permafrosta također može osloboditi velike količine stakleničkih plinova poput ugljičnog dioksida, metana i slično, a koji su zarobljeni u tlu, što dodatno pojačava utjecaj klimatskih promjena. [3. p. 13]



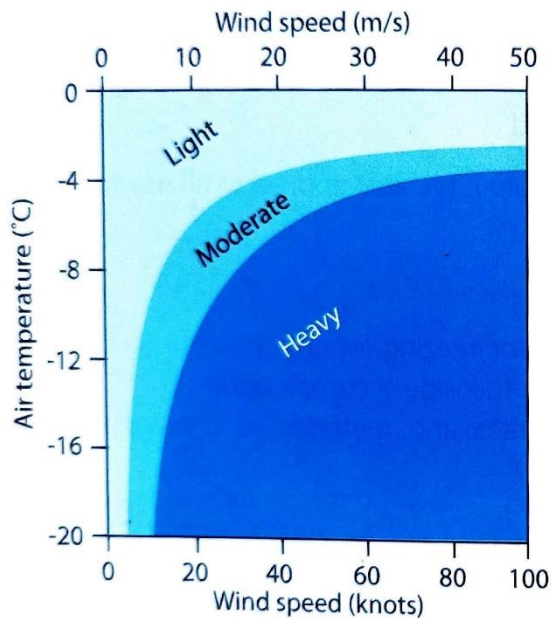
Slika 10: Prosječna pokrivenost leda na Arktiku u razdoblju od 1980. do 2016. Izvor: <https://climatetippingpoints.info/2016/10/21/arctic-sea-ice-and-positive-feedback-loops/> (21.10.2016.) [12]

Na apscisnoj osi su prikazane godine od 1980. do 2016., a na ordinatnoj osi pokrivenost leda u milijunima kvadratnih kilometara plavi pravac prikazuje trend pada pokrivenosti leda. Unazad 35 godina do 2016 godine pokrivenost leda je pala za više od 40 %. [12]

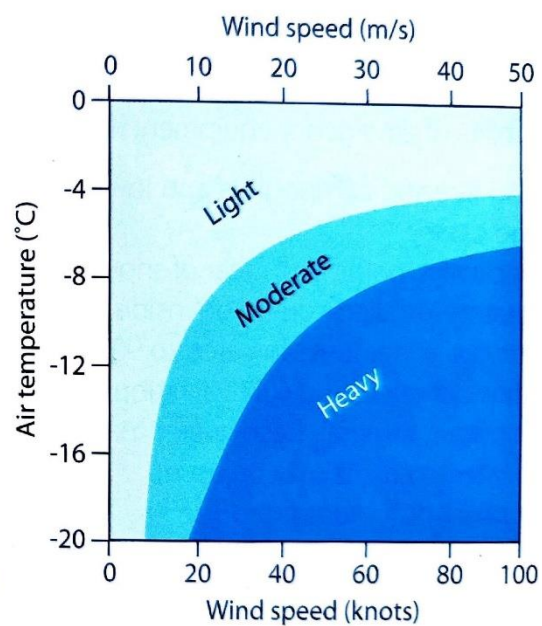
5.7. ZALEĐIVANJE

Zaleđivanje je proces stvaranja leda na površinama plovila i u lukama . To se može dogoditi na nekoliko načina: nakupljanjem snijega, padanjem vode koja se smrzava pri dodiru sa hladnom površinom ili prelijevanjem mora koja se smrzava na hladnoj površini broda ili obale pri negativnim temperaturama. Posebno je opasno zaleđivanje površinske vode na palubi jer može dovesti do poledice. [2. p. 510]

Meteorološki faktori koji utječu na zaleđivanje uključuju niske temperature, visoku vlažnost zraka, broj i veličinu hladnih kapi vode i ledenih kristala, kao i njihov raspored u prostoru. Također, prehladna kiša ili rosulja, koja se javlja kada hladne fronte prolaze kroz nimbostratus (Ns), mogu uzrokovati zaleđivanje. Vodena para može izravno prijeći u led pri ekstremno niskim temperaturama od $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$, iako je ta pojava depozicije rjeđa pojava od one u kojoj dolazi do ukapljivanja vodene pare u tekućinu pa zaleđivanja tekućine u led. [2. p. 511]



Slika 11: Uvjeti zaleđivanja za plovila koja plove prema vjetru ili su bočno u odnosu na vjetar pri temperaturi mora od $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. [3. p. 62]



Slika 12: Uvjeti zaleđivanja za plovila koja plove prema vjetru ili su bočno u odnosu na vjetar pri temperaturi mora od $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$. [3. p. 62]

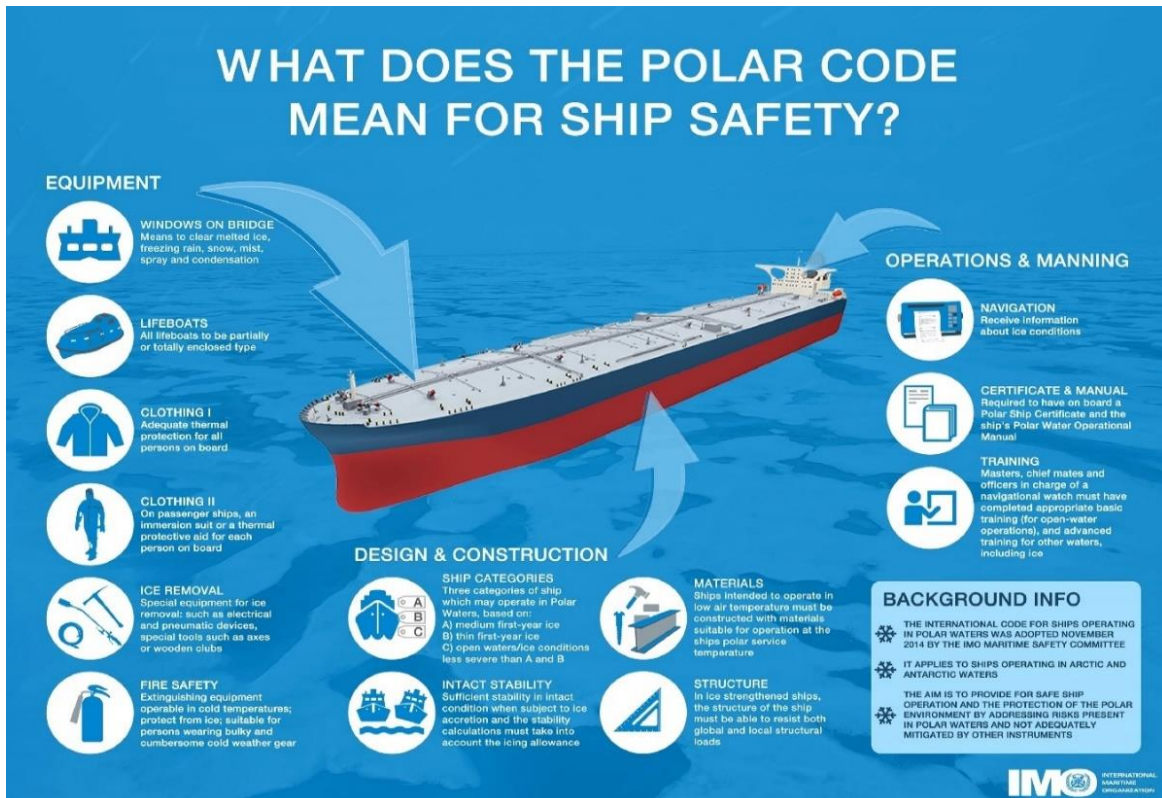
Izvor: Cap. Snider, D., 2012, Polar ship operations, the nautical institute, London

Pri temperaturi mora od $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperaturi zraka od $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ i brzini vjetra od 40 kt, uvjeti zaleđivanja za plovila su intenzivni (slika 11). Pri većoj temperaturi mora od $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ i pri jednakim uvjetima temperature zraka i brzine vjetra uvjeti zaleđivanja na plovilu su puno sporiji i blaži (slika 12). [3. p. 62]

5.8. PROPISI O LEDU

Navest će se propisi koji se koriste pri plovidbi u ledu.

1. *Konvencija Ujedinjenih naroda o pravu mora (UNCLOS)*: UNCLOS utvrđuje pravila o pravima i odgovornostima država u vezi s uporabom mora i oceana. Konvencija regulira plovidbu i uporabu resursa u međunarodnim vodama, uključujući polarna područja.
2. *Antarktički sporazum*: potpisan 1959. godine, regulira aktivnosti u Antarktici. Sporazum uključuje obveze zaštite okoliša, zabranu nuklearnih ispitivanja, slobodu znanstvenog istraživanja i obveze konzervacije u interesi budućih generacija.
3. „Egg Code“ je međunarodni standard za izvještavanje o uvjetima leda. Razvila ga je Kanada u suradnji s drugim državama za potrebe *Svjetske meteorološke organizacije (WMO)* tijekom 1980-ih godina.
4. *Međunarodni kodeks za plovidbu u polarnim vodama („Polar Code“)*: usvojen 2014. godine od strane *Međunarodne pomorske organizacije (IMO)*, donosi međunarodne smjernice za plovidbu u polarnim područjima. Kodeks se odnosi na sigurnost plovidbe, zaštitu okoliša i upravljanje rizicima.
5. *Kodeks zaštite Arktičkog morskog okoliša*: iako nije obvezujući međunarodni sporazum, ovaj kodeks, koji je razvilo Arktičko vijeće, sadrži smjernice za zaštitu okoliša i održivo upravljanje resursima u Arktiku.
6. Regionalni sporazumi: pored globalnih sporazuma, postoje i regionalni sporazumi koji se bave specifičnim pitanjima u polarnim regijama. Na primjer, *Arktički savjet* donosi smjernice za sigurnost i zaštitu okoliša. [3-4]



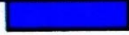



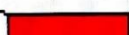



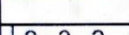
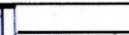
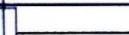
Slika 13: „Polar code“, mjere za zaštitu broda i posade, slika 13 prikazuje posebnu opremu koja je nužna za obavljanje poslova u polarnim područjima, dizajn i konstrukciju broda (posebna ojačanja oplata, izgled pramca, klasu brodu), radne operacije, održavanje opreme i sustava te uvježbavanja posade. [18]

Izvor:

https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/Polar%20Code%20Ship%20Safety%20-%20Infographic_smaller_.pdf

5.8.1. Klasifikacija leda Svjetske meteorološke organizacije

Svjetska meteorološka organizacija (WMO) sastavila je popis termina i definicija koji se odnose na vrste leda, oblike i faze razvoja. [3. p. 41]

Primama		RGB Model boja	Totalna koncentracija leđa (definicija WMO-a)	Broj od WMO organizacije
alternativa	prime			
		000-100-255	Bez leđa	4.2.8
		150-200-255	Manje od 1/10 leđa na površini	4.2.6
		140-255-160	1/10-3/10 jako otvoren leđ	4.2.5
		255-255-000	4/10 - 6/10 otvoren leđ	4.2.4
		255-125-007	7/10-8/10 zatvoren leđ	4.2.3
		255-000-000	9/10-10/10 jako zatvoren	4.2.2
		150-150-150	Brzi leđ	1.1.1
		210-210-210	Ploče leđ	10.3
		255-255-255	nedefinirani leđ	
		255-175-255	7/10-10/10 Novi leđ	2.1
		255-100-255	9/10-10/10 nilas leđ, sivi leđ	2.2, 2.4

Slika 14: Sažeti popis WMO klasifikacija leđa [13]

Prepravio Luka Jakelić za potrebe završnog rada na hrvatskom jeziku

Izvor: www.nautinst.org/PSO

Unutar klasifikacije, morski leđ se identificira ili razlikuje prema koncentraciji ili pokrivenosti površine mora, fazi razvoja i debljini leđa te obliku leđa ili veličini ledenih ploča. Pokrivenost ili koncentracija morskog leđa mjeri se u desetinama pokrivenosti. Voda bez leđa označava se s 0/10, režim leđa s 50 % otvorenog mora i 50 % pokrivenosti leđom označava se s 5/10 koncentracijom, dok potpuna pokrivenost leđom označava 10/10 (slika 14). [3. p. 41]

Faza razvoja morskog leđa odnosi se na njegovu debljinu i starost.

Tablica 3: Faza razvoja morskog leda prema *Svjetskoj meteorološkoj organizaciji*. [14]

Izvor : www.nautinst.org/PSO

Faze razvoja morskog leda	d/ cm	Boja
Novi led	< 10	Sivi
Mladi led sivi	10 - 30	Sivi
Mladi led sivo-bijeli	10 - 30	Sivo-bijeli
Tanki prvogodišnji	30 - 70	Bijeli
Srednje debeli prvogodišnji	70 - 120	Svijetlo plavo-bijeli
Debeli prvogodišnji	> 120	Svijetlo plava
Stari led - drugogodišni	120 - 200	Plavi
Stari led – višegodišnji	> 200	Plavi

Faza razvoja leda povećava se kako se led zamrzava, ali se ne smanjuje kako se led topi jer se led ne topi jednolično. Led se lomi dok se topi i može se topiti sa strana, kao i s vrha i dna. [3. p. 42]

Oblik leda prvotno se identificira prema izgledu novijih oblika leda, a zatim prema veličini ledenih ploča koristeći pojmove poput palačinke, ledenih kolača/krhotina/skupljenih ledenih krhotina, ledenih kolača, malih ledenih ploča od 20 do 100 metara, srednjih ledenih ploča od 100 do 500 metara, velikih ledenih ploča od 500 do 2 000 metara, ogromnih ledenih ploča od 2 do 10 kilometara i brzog leda. Veličina ledenih ploča važna je za navigaciju jer velike ledene ploče mogu blokirati plovne putove i biti izazovne, ako ne i nemoguće, za prolaz. [3. p. 42]

5.8.3. Međunarodna služba nadzora leda

Nakon potonuća broda Titanic 1912. godine, osnovana je *Međunarodna služba za nadzor leda (International Ice patrol)* sa sjedištem u SAD-u. Glavni cilj organizacije je otkrivanje i praćenje kretanja ledenih brjegova u ledenom području te obavještavanje brodova koji plove tim područjem o njihovom položaju. Tijekom razdoblja od ožujka do kolovoza, kada je aktivnost kretanja ledenih brjegova najveća, služba intenzivno djeluje. Svake godine prati se između 10 000 i 15 000 ledenih brjegova koristeći različite metode poput zrakoplova, brodova, obalnih radarskih sustava te primajući izvješća s brodova. Također, procjenjuju buduće kretanje leda za sljedećih 12 sati. Izvješća o položaju leda šalju putem različitih komunikacijskih kanala. Troškove službe snose države na temelju postotka brodova svake države koji plove tim područjem, pri čemu SAD i Kanada snose najveći dio troškova. [4, p. 251-252]

5.9. VREMENSKE PROGNOZE U POLARNIM PODRUČJIMA

Vremenske prognoze u polarnim područjima, posebno u arktičkim i antarktičkim regijama, predstavljaju izazov zbog ekstremnih vremenskih uvjeta i prisutnosti leda. Ove prognoze pružaju ključne informacije o vremenskim uvjetima, temperaturi, padalinama, vjetrovima te stanju i kretanju leda. [3. p. 47]

Prognoze za polarna područja objavljuju različite meteorološke službe i istraživački instituti koji prate razvoj vremena u tim regijama. Neki od tih servisa uključuju:

1. *Arktički i antarktički istraživački institut (Rusija)*
2. *Kanadski ledeni servis*
3. *Danski meteorološki institut*
4. *Islandski meteorološki ured*
5. *Nacionalni centar za led (SAD)*
6. *Norveški meteorološki institut*

Ove prognoze su od vitalnog značaja za navigaciju i sigurnost plovidbe u tim regijama, posebno kada je prisutno ledeno pokrivanje. Pomažu pomorcima, znanstvenicima i drugim korisnicima u planiranju ruta, izbjegavanju opasnih ledenih brjegova i procjeni uvjeta za različite aktivnosti. [3. p. 47]

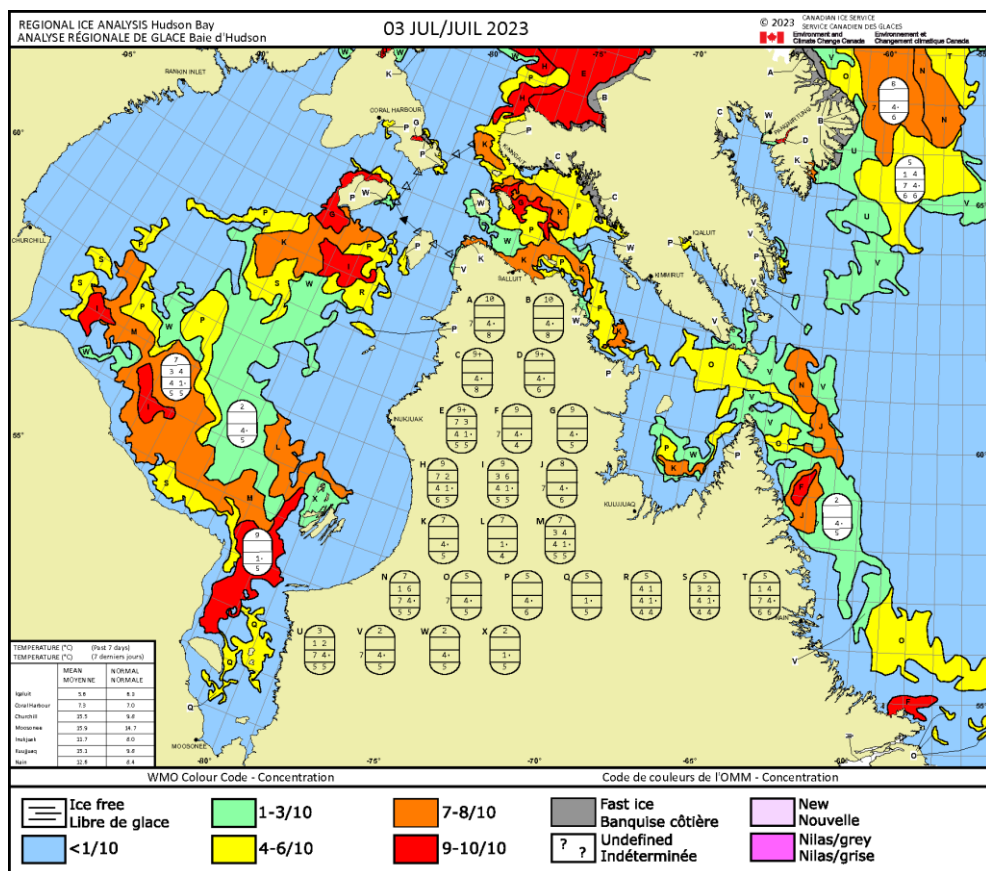
Vremenske prognoze u polarnim područjima razlikuju se od običnih prognoza koje se daju za druga područja. Uz osnovne elemente poput temperature, vjetra i padalina, ove

prognoze obuhvaćaju i informacije o ledenom pokrivanju, koncentraciji leda, debljini leda te kretanju ledenih brjegova. S obzirom na ekstremne vremenske uvjete u polarnim područjima, prognoze se često ažuriraju češće i prate se posebni meteorološki i ledeni modeli kako bi se pružile točne i pouzdane informacije. [3. p. 48]

5.10. IZVJEŠTAJI O LEDU

Iako se većina pružatelja usluga koncentrirana prikazati na kartama za prikaz uvjeta leda, prognoze i analiza teksta dostupne su izravno putem web stranica usluga, kao dio emitiranja NAVTEX-a i u formatu radiofaksimila. Treba se obratiti web stranicama usluga i relevantnim publikacijama o radijskim pomagalicama za navigaciju. [3. p. 47]

Uz stvarna promatranja leda s broda ili iz zraka, satelitske slike različitih vrsta i radarske slike iz zraka neprocjenjivi su izvori podataka za analizu uvjeta leda. Svaka vrsta slike ima svoje prednosti i nedostatke. [3. p. 48]



Slika 15: Primjer tjedne karte leda s koncentracijama leda za Hudsonov zaljev [19]

Izvor: <https://ice-glaces.ec.gc.ca/cgi-bin/getprod.pl?prodid=WIS54CT&wrap=1&lang=en>

Nekoliko službi za praćenje leda koristi zrakoplove za pružanje stvarnih promatranja u područjima s velikom količinom leda. Ti zrakoplovi obično su opremljeni bočnim radarskim uređajem (SLAR, eng. *Side-looking airborne radar*) ili sintetičkim otvorom radara (SAR, eng. *Synthetic aperture radar*) ili infracrvenim senzorima (IRR). Letovi zrakoplova vrlo su specifični za rutu i uglavnom su usredotočeni na prometno opterećene ili rizične pomorske rute. [3. p. 49]

Infracrvene satelitske slike temelje se na površinskoj temperaturi leda. Budući da led često ima nižu temperaturu od okolne vode, može se lako detektirati. Međutim, tijekom ljeta, otapanjem leda dolazi do povećanja temperature leda i vrlo slične temperaturu kao okolna morska voda, što prikriva razliku. Te se satelitske slike mogu koristiti u mraku, iako temperature oblaka mogu narušiti pregled površine. [3. p. 49]

Radarske ili satelitske slike nisu ometane oblacima ili tamom i često su najpouzdaniji izvor informacija o ledu. Sateliti poput RADARSAT-a ili Envis satelita najpouzdaniji su izvor informacija o ledu (slika 15). [3. p. 50]

5.11. PRIPREMANJE OPREME I POSADE ZA POLARNA PODRUČJA

Tijekom onoga što se obično smatra ljetnom plovnom sezonom u oba polarna područja, temperature i vremenski uvjeti s kojima se susrećemo mogu biti relativno blagi. Međutim, tijekom prijelaznih godišnjih doba, proljeća i jeseni, moguće su oluje, a zimi se moraju očekivati ekstremno niske temperature. Temperature na polarnim morima i oceanima često padaju ispod -20°C , a ponekad i ispod -30°C tijekom zimskih mjeseci. Često brodovi i posade nisu dobro pripremljeni za ekstremno hladne temperature. [3. p. 53]

5.11.1. Sigurnost i zdravlje

Najveći rizik za zdravlje i sigurnost posade prilikom rada u polarnim područjima su učinci ekstremno niskih temperatura tijekom zimskih mjeseci. Potrebna je odgovarajuća termalna zaštitna odjeća i prilagodba radnih rutina uzimajući u obzir oslabljujuće hladne uvjete kako bi se suprotstavili učincima smrzotine, hladnog vjetera, hipotermije te snježne sljepoće. Preporučuje se povećanje broja posade. Također, potrebna je kvalitetna polarizirana zaštita

očiju kako bi se spriječila oštećenja vida zbog intenzivnog odsjaja sunčeve svjetlosti od leda i snijega. Vjetar i niske temperature zajedno mogu povećati rizik od smrzavanja izložene kože.
[3. p. 53]

5.11.2. Smrzotine (eng. *frostbite*)

Zamrzavanje kože i dubljeg tkiva uslijed izlaganja hladnoći poznato je kao mrazevi i smrzotine. Najčešće pogađaju izložene dijelove lica i uši, kao i prste i nožne prste, koje je često teško zaštititi i adekvatno izolirati od hladnoće. Mrazevi su obično reverzibilni, ali smrzotine mogu dovesti do smrti stanica, a ako se dopusti daljnje napredovanje, mogu oštetiti dublje tkivo i mišiće. [3. p. 53]

Simptomi mrazeva uključuju utrnulost pogođenog tkiva, tvrdu i elastičnu površinu kože, s mekoćom ispod nje, te na kraju bijelu boju voska. Smrzotine se na početku manifestiraju kao cjelokupan bijeli izgled bez krvotoka. Kako se ledeni kristali formiraju u tkivima, pojavljuju se mjehurići i mrtvo tkivo. U dubljem obliku smrzotina, koža postaje duboko crvena i gotovo ljubičaste boje; iako je hladna na dodir, pacijent na početku nema osjetljivosti. Kada se tkivo počne zagrijavati, pojavljuje se izuzetna bol. [3. p. 53]

Liječenje oštećenja tkiva od smrzavanja započinje trenutnim, ali postupnim zagrijavanjem uranjanjem u toplu vodu od oko 43,3 °C dok koža ne postane rumena. Daljnje zagrijavanje treba izbjegavati u ovom trenutku, a pacijenta treba izvući iz vode. Rane treba pažljivo prekriti sterilnim gazama, a prsti trebaju biti odvojeni s oprezom. Razmatra se evakuacija u medicinsku skrb ako osjet povratka ne nastupi unutar 30 minuta. [3. p. 54]

5.11.3. Hladni vjetar (eng. *wind chill*)

Ovo je temperatura zraka na izloženoj koži zbog vjetra i uvijek je niža od stvarne temperature zraka. Vjetar na koži uzrokuje promjenu brzine gubitka topline ovisno o brzini vjetra preko površine kože. Ne smanjuje temperaturu površine kao što se često misli, već mijenja brzinu gubitka topline. [3. p. 54]

5.11.4. Snježna sljepoća

Snježna sljepoća je oštećenje rožnice i spojnice uzrokovano izloženošću prekomjernoj ultraljubičastoj svjetlosti, može se javiti kada su oči izložene sunčevoj svjetlosti koja se reflektira od leda i snijega. Simptomi uključuju bol, suzenje očiju, grčenje kapaka i nelagodu pri gledanju u svijetlo. Liječenje uključuje upotrebu anestetičkih kapi za oči, hlađenje očiju vlažnim oblozima, izbjegavanje daljnje ozljede izolacijom u tamnoj prostoriji te nošenje

kvalitetnih polariziranih sunčanih naočala čak i u oblačnim uvjetima. Također se preporučuje izrada improviziranih zaštitnih naočala od tamnog materijala za smanjenje odbljeska. [3, p. 57-58]

5.12. ZAŠTITNA OPREMA

Kada se pomorci upućuju u ekstremno hladna područja, toplinska osobna zaštitna odjeća često nije prioritet, ali iznimno je važna. Prvi sloj odjeće koji dolazi uz kožu trebao bi biti od materijala koji upija vlagu i znoj s kože. Ako vlaga ostane uz kožu, to ometa toplinsku zaštitu drugih vanjskih slojeva. Dodatni slojevi odjeće trebaju biti labavi i fleksibilni. [3, p.58-59]

Odjeća i oprema za preživljavanje u hladnim uvjetima trebaju uključivati:

- zaštitu glave
- zaštitu vrata i lica
- zaštitu ruku
- zaštitu stopala
- izolirani kombinezon
- imerzijsko odijelo
- termalno donje rublje
- rukavice za zagrijavanje
- sunčane naočale sa UVA i UVB zaštitom i polaroidom
- svijeću za preživljavanje
- šibice
- šalicu za piće
- zviždaljku
- džepni nož
- priručnik za preživljavanje u arktičkim uvjetima
- torbu za nošenje.



Slika 16: S lijeva na desno: unutarnji sloj upijajućeg materijala; srednji sloj sprječava gubitak tjelesne topline; vanjski sloj je otporan na vjetar, ali isto tako prozračan. [3. p. 59]

Izvor Cap. Snider, D., 2012, Polar ship operations, the nautical institute, London

5.12.1. Oprema za spašavanje i protupožarna oprema

Oprema za spašavanje

Plovila koja su ojačana za rad u ledenim uvjetima obično su opremljena sustavima koji će ublažiti učinke ekstremne hladnoće na opremu za spašavanje i gašenje požara, poput tragova topline, dodatne izolacije i instalacija ispod palube ili unutar nadgrađa. Ostala plovila moraju poduzeti određene radnje kako bi osigurala operativnu sposobnost hitne opreme. [3. p. 61]

Neke od radnji održavanja i pripreme opreme za spašavanje u polarnim područjima su:

- spustiti rezervoare vode za preživljavanje na 90 % radi sprječavanja smrzavanja.
- premjestiti hranu i vodu za preživljavanje u smještaj.
- razmotriti upotrebu internih paketa svježe vode u spasilačkim čamcima uz mjere protiv smrzavanja (korištenje grijanih deka).
- postaviti priključke za spasilačke čamce.
- postaviti grijalice ili grijane deke na motore broda, vanbrodske motore, baterije itd.

- koristiti zaštitne pokrivače.
- isprazniti i očistiti izložene ili vanjske cijevi za gašenje požara na palubi s otvorenim ventilima.
- spremite kolutove za spašavanje.
- razmotriti pripremu dodatne tople odjeće za spasilačke čamce. [3. p. 61]

Protupožarna oprema

Protupožarna oprema u polarnim područjima ima neke posebnosti koje se odnose na specifične uvjete i izazove koje ta područja pružaju. Nekoliko posebnosti protupožarne opreme u polarnim područjima uključuju:

1. Otpornost na niske temperature: protupožarna oprema mora biti otporna na izuzetno niske temperature koje su karakteristične za polarna područja. Materijali koji se koriste u opremi trebaju zadržati svoje funkcionalne karakteristike čak i pri vrlo niskim temperaturama.
2. Otpornost na snijeg i led: oprema treba biti dizajnirana tako da može izdržati izazove snijega i leda. Na primjer, cijevi za gašenje požara trebaju biti postavljene tako da se ne zalede, a prskalice i mlaznice trebaju biti zaštićene od nakupljanja leda.
3. Spremnost za brzo djelovanje: u polarnim područjima, gdje su uvjeti vrlo ekstremni, protupožarna oprema mora biti spremna za brzo djelovanje. Oprema treba biti dostupna, održavana i spremna za uporabu u svakom trenutku.
4. Prilagodljivost na udaljenost: polarna područja često su udaljena i teško dostupna. Protupožarna oprema mora biti prilagođena za rad u takvim uvjetima, uzimajući u obzir ograničene resurse i mogućnost brzog odgovora na udaljena područja.
5. Obuka i svijest o sigurnosti: S obzirom na izazove i rizike koje polarna područja pružaju, važno je da osoblje ima adekvatnu obuku o sigurnosti i protupožarnim postupcima specifičnim za polarno okruženje. Svijest o sigurnosti mora biti visoka kako bi se minimizirao rizik od požara i osigurala brza i učinkovita reakcija u slučaju izbijanja požara.

Navedene posebnosti pomažu osigurati da protupožarna oprema u polarnim područjima bude prilagođena specifičnim uvjetima i pruži pouzdanu zaštitu od požara u tim izazovnim okruženjima. [4, p.192-200]

6. NAVIGACIJA

6.1. DOKAZ LEDA

Približnost ledenih formacija brodu lakše se primjećuje kada je vidljivost dobra. Kapetan broda treba biti obaviješten ako posada primijeti bilo koji od sljedećih pokazatelja leda. Najvažniji pokazatelj u polarnom području na sjevernoj polutki je temperatura mora manja od 1 °C. U tom trenutku se procjenjuje da je led udaljen 150 NM od broda. Ako temperatura mora padne ispod -0,5 °C, led je vjerojatno udaljen 50 NM od broda. Vizualno uočavanje malih ledenih fragmenata ukazuje na to da ima više leda u blizini, bilo da se radi o „drift“ ledu ili ledenjacima. Prisutnost divljih životinja na velikoj udaljenosti od kopna, poput tuljana, morskih lavova i ptica na sjevernoj polutki, vjerojatno ukazuje na prisutnost pakiranog leda u blizini. Uočavanje ptice *snow petrel* na južnoj polutki također je pozitivan pokazatelj leda ili kopna. [4, p.229-230]

Glavni znakovi leda su: ledeni sjaj (eng. *ice blink*, slika 17) što je refleksija svjetla na nebu od velike mase leda. To se također može vidjeti u vedroj noći. Ako puše vjetar, a ima malo uzburkanosti ili valova, ledeni sjaj može ukazivati na prisutnost leda u smjeru iz kojeg vjetar puše. [4, p.229-230]



Slika 17: Svjetlost koja se odbija od morskog leda na oblake poznata je kao (eng. *iceblink*) 'ledeni sjaj' [17]

Izvor: <https://nsidc.org/learn>

6.2. PLANIRANJE PUTOVANJA

Planiranje putovanja u polarnim područjima iziskuje dodatnu pozornost pri određivanju plovidbenog puta zbog prisustva leda Svaki plan plovidbe trebao bi se temeljiti na četiri glavna načela:

- procjena
- planiranje
- izvršenje
- praćenje.

Procjena rizika u plovidbi ledenim područjima zahtijeva detaljno prikupljanje informacija o prisutnosti leda, njegovoj debljini i pokretljivosti, te identifikaciju ledenih prepreka koje mogu ometati putanju broda. Posebna pozornost posvećuje se sezonalnim i vremenskim uvjetima koji utječu na formiranje i kretanje leda, kao i upotrebi dostupnih izvora informacija poput ledenih izvještaja i satelitskih snimaka. [3. p. 75]

Planiranje plovidbe u ledenim uvjetima uključuje odabir najsigurnije rute koja će minimizirati izloženost ledu, uzimajući u obzir informacije o ledenim uvjetima, slobodnom prostoru i ledenim preprekama. Potrebno je razmotriti i pripremiti dodatne sigurnosne mjere kao što su upotreba leda otpornih brodskih konstrukcija, izbjegavanje područja s većom koncentracijom leda i osiguranje opreme za rukovanje ledom. [3. p. 75]

Izvršenje plana plovidbe u ledenim uvjetima zahtijeva veću pozornost i preciznost pri upravljanju brodom, prilagodljivost promjenama u ledenim uvjetima i primjenu specifičnih navigacijskih tehnika za prolazak kroz led. Brod treba biti opremljen odgovarajućom opremom za rukovanje ledom poput ledenih kljova, sustava za otkrivanje leda i sposobnosti manevriranja u uskim prostorima. [3. p. 75]

Praćenje plovidbe u ledenim uvjetima uključuje stalno praćenje kretanja leda, promjene ledenih uvjeta i usklađivanje s planiranom rutom. Potrebno je kontinuirano praćenje ledenih izvještaja, meteoroloških uvjeta i signala drugih brodova koji se nalaze u blizini kako bi se pravodobno reagiralo na promjene i eventualne opasnosti koje se mogu pojaviti zbog leda. [3. p. 77]]

6.3. DRŽANJE STRAŽE U POLARNIM PODRUČJIMA

Prakse držanja straže u ledenim područjima zahtijevaju aktivno sudjelovanje svih članova tima na brodu, uključujući časnike za navigaciju, osoblje stroja i posadu. Osmatrači i kormilar imaju ključnu ulogu unutar tima na mostu. [4. p. 236]

Glavna uloga osoba koje drže stražu u ledenim regijama je održavanje pažljivog osmatranja, kako vizualno tako i putem radara. Kapetan broda može odlučiti udvostručiti straže kada je brod unutar granica leda tijekom sezone leda. Drugi časnik koji drži stražu na mostu odgovoran je za neprekidno praćenje radara. Nije neuobičajeno zaustaviti kretanje broda tijekom noći kada je unutar granica leda jer se veći dio leda slabo prikazuje na radaru. Udvostručavanje straže neophodno je kada je brod zaista u ledu. Jedan časnik se potpuno koncentrira na napredak broda i susretanje s ledom, što zahtijeva intenzivnu koncentraciju koja se može održati samo nekoliko sati. Nakon toga, ta uloga se prenosi na drugog časnika koji drži stražu, bez obzira na njihov čin. [4. p. 236]

6.3.1. Vidljivost

Održavanje dobre vidljivosti s navigacijskog mosta je ključno, prema naprijed i prema natrag. Neke od radnji koje moramo primjenjivati da bismo održali vidljivost s navigacijskog mosta su:

1. Treba izbjegavati vlagu u zraku na navigacijskom mostu kako bi se spriječilo zamagljivanje i stvaranje leda na prozorima.
2. Prozori mosta trebaju biti opremljeni sredstvom za čišćenje leda i drugih elemenata.
3. Ako postoji uređaj za čišćenje vlage s vanjske strane prozora, treba ga zaštititi od zamrzavanja i nakupljanja leda.
4. Grijanje prozora mosta treba biti uključeno pri temperaturama ispod nule.
5. Termalna razlika može dovesti do pucanja prozorskog stakla .
6. Alternativno, može se koristiti samoljepljiva folija na unutarnjoj strani prozora kako bi se spriječio gubitak topline i kondenzacija.
7. Mobilne strugalice za led i papirnati ručnici važni su za pripravnost.
8. Grijalice u kormilarnici trebaju biti uključene tijekom zime.
9. Vanjski prozori trebaju biti čisti od leda.
10. Treba koristiti sredstvo za odmrzavanje stakla ili isprazniti linije za pranje stakla.
11. Radari trebaju biti neprekidno uključeni.
12. Palubna i navigacijska svjetla ne smiju se zamrzavati.
13. Grijalice kanala trebaju biti uključene ako su instalirane.
14. Bočna svjetla na brodu trebaju biti funkcionalna. [4, p.241-242]

6.3.2. Ispravljanje pozicije

Pri ispravljanju pozicije mogu se javiti problemi zbog pogrešne identifikacije obalnih značajki. Led može prekriti obalu i promijeniti njezin oblik, stoga treba oprezno koristiti radar. Za ispravljanje pozicije, korisno je pratiti veći nepomični ledeni brijeg i koristiti ga kao referentnu točku koliko god je moguće. Kako bi se smanjila pogreška, preporučuje se koristiti tri linije, odnosno mjerenje azimuta i udaljenosti istovremeno prema nekom objektu. Treba izbjegavati ispravljanje pozicije temeljeno na samo dva objekta smještena na različitim

stranama plovnog puta. U područjima polarnih voda, za ispravljanje pozicije potrebno je koristiti više uređaja i ne oslanjati se samo na jedan izvor podataka. [3, p. 63-65]

6.3.3. Vizualno detektiranje leda

U dobrim uvjetima vidljivosti, led se može primijetiti na većoj udaljenosti. Obično se pojavljuje na horizontu u obliku uskog ruba koji izgleda čvrsto, čak i kada je led vrlo tanak. Približavajući se ledu, moguće je odrediti koncentraciju leda promatranjem njegovog ruba. Ako plovilo prilazi ledu s privjetrinske strane, rub leda obično je dobro skupljen zbog vjetera i mora. S druge strane, približavanje rubu sa zavjetrinske strane može rezultirati nailaskom na pojedinačne ledenice i otvoreni led. [4. p. 246]

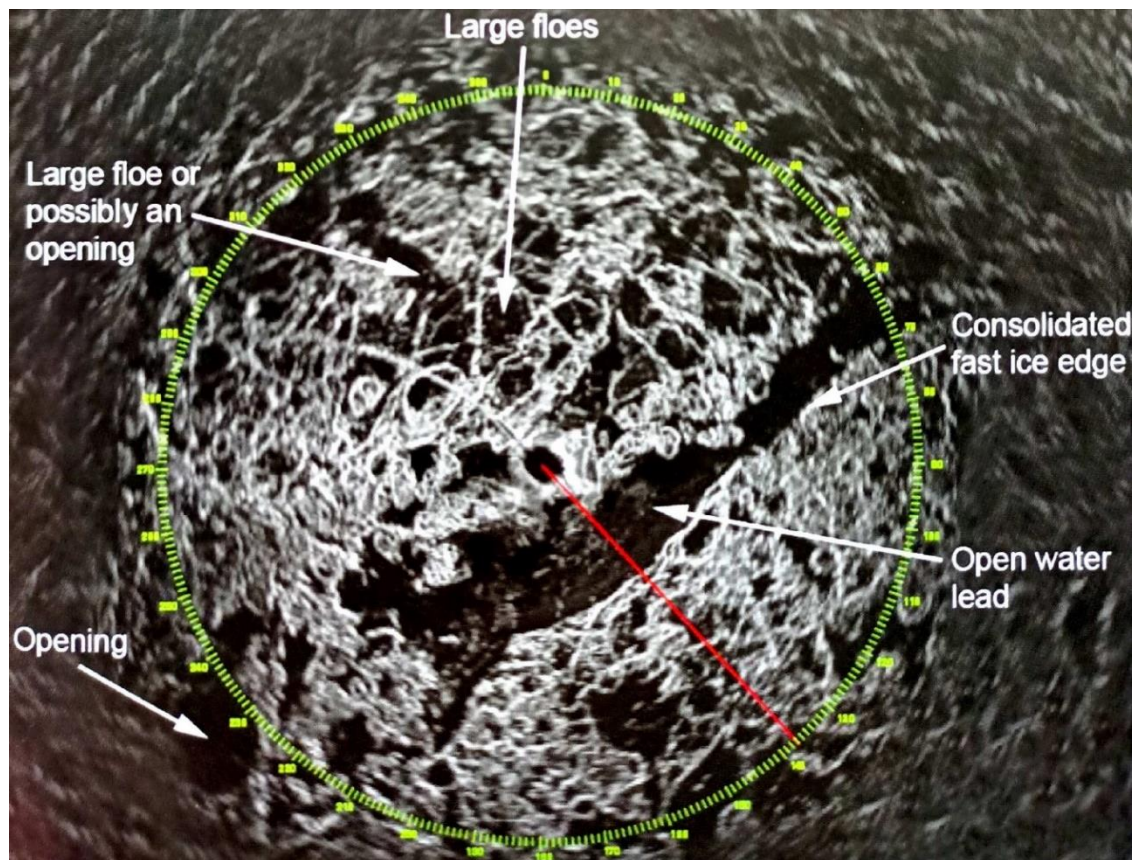
Led se lako može primijetiti po svojem odsjaju, koji je formiran refrakcijom svjetlosti. Odsjaj može biti vidljiv kao blistavi bijeli ili svijetli odsjaj na horizontu. Prisutnost leda često je najavljena maglom koja se može pojaviti oko rubova leda. Također, u oblačnim uvjetima, led na udaljenosti može se primijetiti po ledenom nebu, odnosno refleksiji bijelog leda na oblacima. U promjenjivim uvjetima plovidbe polarnim područjima, važno je obratiti pažnju na promjene na horizontu. Pojava oblaka ili tamnjenje na određenom području horizonta može ukazivati na prisutnost leda izvan vidljivog horizonta. Ako se primjećuje povećanje koncentracije leda i približavanje većoj ledenoj masi, hladni vjetrovi koji dolaze s područja gdje se nalazi led mogu služiti kao dodatni znak upozorenja. [4. p. 246]

Vizualno otkrivanje leda može biti korisno, ali se ne bi trebalo oslanjati samo na tu metodu. U plovidbi polarnim područjima preporučuje se korištenje više uređaja i tehnika za otkrivanje i praćenje leda radi osiguranja sigurne navigacije. [4. p. 246]

6.3.4. Upotreba radara

Uvjeti leda predstavljaju vlastite specifične probleme. Na primjer, ako obalne značajke poput ušća rijeka zamrznu, mogu se na zaslonu pojaviti kao kontinuirana linija, što otežava prepoznavanje. Veliki ledeni brjegovi bit će otkriveni na udaljenostima koje odgovaraju njihovoj veličini i izgledu, ali rijetko će biti moguće razlikovati ih od malih otoka na radaru. Pakirani led s malim i velikim ledenim brjegovima stvara sjenovito područje preko širokog luka zaslona. Polje ledenih brjegova uvijek izgleda manje gusto na radarskom zaslonu nego što zaista jest. Tumačenje radara treba provoditi s osviještenosti o ograničenjima i točnosti korištene

opreme. Radar nikada ne bi trebao biti korišten kao samostalna metoda određivanja pozicije, već uvijek treba biti korišten u kombinaciji sa sekundarnim sustavom. [4, p. 247-249]



Slika 18: Radarska slika broda koji plovi u ledu

Izvor: Cap. Snider, D., 2012, Polar ship operations, the nautical institute, London

Slika 18 prikazuje tipičnu radarsku sliku broda koji plovi u ledu koja navodno ukazuje na prolaz uz utvrđeni rub brzog(eng. *fast ice*) leda s velikim ledenim pločama u visokoj koncentraciji leda. [4. p. 248]

Navigacijski časnici moraju biti upoznati s tim da velike ledene ploče mogu izgledati kao otvorena voda, odnosno slobodan prolaz kao što vidimo na slici označeno crvenim pravcem. [4. p. 248]

6.4. ULAZAK U LED

Sudari s ledom najčešći su uzrok oštećenja brodova u polarnim vodama. Važno je biti svjestan brzine jer veća brzina broda znači veći rizik od oštećenja. Također, važno je izbjegavati oštre zavoje i koristiti kretanje leda u svoju korist. Časnik ima važnu ulogu u vožnji kroz led i treba dati jasne upute kormilaru kako bi se izbjegli sudari s ledom. [3, p. 96-97]

Kada se plovi u ledu, važna su četiri pravila:

1. Ne vozite se prebrzo jer može doći do oštećenja broda.
2. Nastavite ploviti, čak i sporo, kad jednom uđete u led.
3. Plovite s kretanjem leda, ne protiv njega.
4. Poznavanje manevarskih karakteristika broda je ključno.

Kinetička energija proporcionalna je kvadratu brzine tijela. Zakon fizike koji "zaslužuje biti urezan zlatnim slovima na mostu svakog broda koji djeluje u ledu" i od temeljne je važnosti za sve navigatore leda. [3, p. 96-97]

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

Silina udara = deplasman broda x kvadrat brzine

Na primjer, ako se brzina broda od 10 čvorova spusti na 7,5 čvorova, energija udara u ledenu ploču bit će skoro prepolovljena. Točnije, smanjenje brzine za 25%, smanjuje silinu sudara za 40% (izrazi (2) i (3)). Ako brod uspori na 5 čvorova i spusti brzinu za 50%, energija udara bit će umanjena četiri puta (izrazi (2) i (4)).

Račun:

$$v_1 = 10 \text{ kt} = 5,147 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 7,5 \text{ kt} = 3,86 \text{ m/s}$$

$$v_3 = 5 \text{ kt} = 2,57 \text{ m/s}$$

$$E_k = \frac{m \cdot 26,49 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2} = 13,25 m \quad (2)$$

$$E_k = 7,45 m \quad (3)$$

$$E_k = 3,3 m \quad (4)$$

U računu za energiju nije korištena mjerna jedinica džul jer nije poznata masa koja je u ovom računu za sva tri slučaja jednaka, a mijenja se samo iznos brzine. Energija je izražena na način da se uoči smanjenje siline udara sa smanjenjem brzine. [3, p. 96-97]

Postoje tri glavne posljedice ovog pravila:

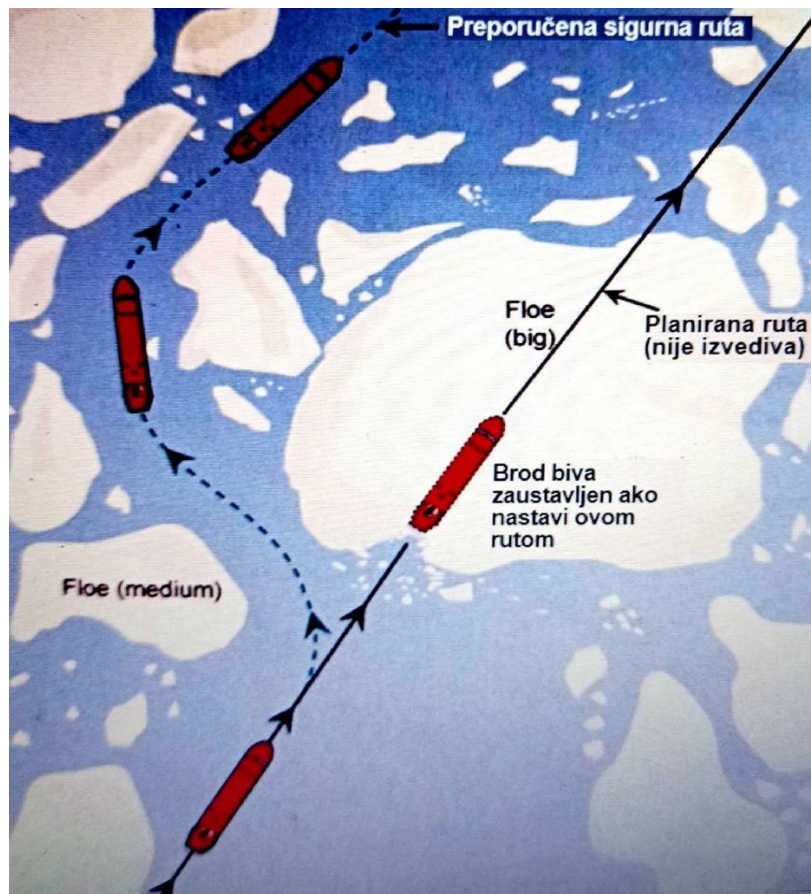
- Brzina broda od presudne je važnosti pri plovidbi ledom jer izravno utječe na silinu udara.
- Veliki brod će se više oštetiti prilikom sudara s ledom od malog broda pri jednakoj brzini.
- Pri lošoj vidljivosti i noću, mnogo je opasnije za veliki brod putovati kroz ledena mora zbog puno većeg zaustavnog puta.

Ulazak u led najbolje je pokušati s privjetrinske strane, kroz otvore ili prolaze u ledenoj pokrivenosti. Razbijeni led pruža lakši prolaz od neprekidnog leda. Prije ulaska u led, treba provjeriti opremu i vizualno promatrati prirodu leda. Ulazak treba biti pod pravim kutom na rub leda, s pramcem što bliže okomitoj poziciji (80-90°). Kut manji od 80° može uzrokovati odbijanje i dodir s većim dijelom srednjeg ili stražnjeg dijela broda. [3, p. 96-97]

6.5. PLOVIDBA NAKON ULASKA U LED

Ulaskom u led, brzina se može postupno povećavati, ali ne brzo, uzimajući u obzir sam brod i uvjete leda. Uvijek treba uzeti u obzir brzinu u odnosu na vidljivost i smanjiti je kako bi brod mogao „stati“ unutar raspoložive vidljivosti. Treba biti svjestan da u polarnim područjima leda, između prvogodišnjeg ili raspalog leda, može postojati tvrdi višegodišnji led, brda ili ledenjaci. [4. p. 261]

Osoba koja upravlja brodom treba slijediti otvorene dijelove vode, prolaze, područja manje koncentracije leda i ploča manje debljine (slika 19). Kada navigacijski časnik odstupi s planirane rute da bi iskoristio otvorene prolaze i manju koncentraciju leda, uvijek treba biti svjestan dostupne dubine u odnosu na gaz. Okreti se trebaju izvoditi, ako je moguće, u područjima otvorene vode ili svijetlog leda. Potrebno je obratiti pozornost na procjenu pomicanja krme, jer bočni udarci u tom području mogu uzrokovati ozbiljnu štetu manje ojačanim dijelovima trupa ili propelera i kormila. Pri okretanju u ledu, može biti potrebno postupno povećanje snage jer ravne strane trupa broda više lome led nego pramac. Osoba koja upravlja brodom treba biti svjesna da udarci u led mogu uzrokovati lateralno klizanje u teži led. [4. p. 262]



Slika 19: Preporučena sigurna ruta koja izbjegava velike ledene ploče u ledenom pokrovu prilikom prolaska kroz led. [4. p. 263]

Izvor: House, D, Lloyd, M, Toomey, P, Dickins, D, 2010, Witherby Seamanship International Ltd, Livingstone

Općenito, brod će težiti slijediti lakši led, zbog pružanja najmanjeg otpora, pa navigacijski časnik treba biti svjestan da će možda biti potrebna dodatna snaga za okretanje prema potrebi. Nagli porasti snage nikada se ne smiju koristiti. U koncentriranijem ledu, može biti potrebno izvesti manevre kratkog okreta uz umjereno kretanje unatrag kako bi se izvršio okret. [4, p. 261-264]

6.6. OPERACIJA PRIVEZA I ODVEZA

Pri operaciji priveza i odveza strpljenje je od velike važnosti. U polarnim regijama, luke za pristajanje su općenito ograničene, a one koje postoje često su izuzetno osnovne i jednostavne, osim specijaliziranih postrojenja za izvoz resursa. U nekim slučajevima, pristan može jednostavno biti dio brzog leda (što je posebno često u antarktičkom području). Tegljači su rijetko dostupni, a prisustvo ledolomca za pomoć nije uvijek zajamčeno. Kao rezultat toga, pomorci se moraju oslanjati na pažljivo manevriranje i vlastito strpljenje. [3. p. 104]

Često može biti potrebno izvesti nekoliko sporih prolaza kako bi se led uklonio s mjesta pristaništa. Važno je osigurati što manje leda između broda i pristana. Postupak može zahtijevati pristup pramcem pod blagim kutom i pažljivo klizanje uz pristan kako bi se uklonilo što više leda. Nakon što je pramac dobro osiguran i pramčani konopi privezani, led se može isprati, očistiti korištenjem pogonskog stroja unaprijed uz izmjenu kuta kormila ulijevo i udesno kako bi se brod ljuljao naprijed-natrag. Pramčani porivnici mogu biti od pomoći ako su ugrađeni. Nakon što je brod siguran, važno je osigurati da je brod čvrsto pričvršćen kako bi se spriječilo da plivajući led ne ulazi između broda i pristana. [3. p. 104]

6.7. SIDRENJE U LEDU

Sidrenje u otvorenom ledu može se pokušati, ali stalno treba paziti na stanje leda oko sidra jer ga može praktički zarobiti u ledu ili može doći do pucanja lanca. Zbog mogućnosti da led pluta prema brodu, pogonska snaga i snaga vitla za sidro moraju biti odmah dostupne. Led nikada ne bi trebao dolaziti u kontakt s lancem sidra kako bi se izbjegao rizik od pucanja lanca. Moguće je koristiti kormilo i lagano kretanje motora kako bi se brod usidrio pod kutom i primio lagane udarce na pramac suprotno od smjera na kojem je sidro. Treba koristiti što kraće zadržavanje u slučaju brzog podizanja sidra zbog dolaska leda. Nikada nije preporučljivo sidriti se u plutajućem ili pakiranom ledu. Ako je potrebno, sidro se može spustiti na veliku ledenu ploču, a brod pustiti da se slobodno kreće s njom. To treba pokušati samo ako smjer kretanja leda vodi prema sigurnim vodama.. Preferiraju se ledena sidra umjesto konvencionalnih sidara. Ta posebna sidra su ili velike vijčane šipke slične onima koje koriste alpinisti na ledu ili sidra od željeza u obliku slova L slična Danforthovom sidru. [4, p. 275-276]

7. RAD S LEDOLOMCIMA

Opća smjernica ukazuje da većina brodova može nastaviti u ledenim uvjetima s koncentracijom leda manjom od 5/10. U koncentracijama između 5/10 i 7/10, bit će potrebna pomoć ledolomaca, ali vjerojatno će napredak biti bez većih poteškoća. U koncentracijama većim od 7/10, treba očekivati veće izazove, s mogućnosti nepravilnih zaustavljanja, promjena kursa i većeg rizika. U koncentracijama većim od 9/10, svaki otvoreni prolaz će se brzo zatvoriti. U polarnim regijama, redovna podrška ledolomaca pomorskim uslugama općenito je dostupna samo u Arktiku. Kanada i Rusija pružaju posvećenu uslugu unutar svojih nacionalnih granica, dok SAD, Norveška i Danska (Grenland) to ne čine. U područjima odgovornosti Danske, ledolomci mogu biti prisutni zbog suvereniteta, provedbe zakona ili istraživanja, ali općenito nisu dostupni ili iskusni u operacijama podrške pomorskom prometu. [3, p.106-107]

U antarktičkoj regiji, ledolomci koji sezonski odlaze u antarktičke vode usredotočeni su na opskrbu njihovih nacionalnih stanica i općenito nisu dostupni za pomoć pomorskom prometu koji nije izravno uključen u njihove nacionalne opskrbe napore. Međutim, u slučaju potrebe za hitnim odgovorom za spašavanje, brodovi će reagirati. [3, p.106-107]

7.1. ZAHTJEV ZA PODRŠKU LEDOLOMCA

Prilikom očekivanja podrške ledolomca, što je dulje vrijeme unaprijed dano pružatelju usluge za organizaciju pomoći, to je bolje. Kao dio procesa planiranja putovanja, može biti potrebno unaprijed poslati zahtjeve nadležnom tijelu (NORDREG Kanada ili Sjeverno morski put) uz izravnu komunikaciju s odgovarajućim ledolomcem u blizini nakon što brod stigne u područje leda ili neposredno prije toga. [4. p. 285]

Opće informacije o vlastitom brodu obično se trebaju poslati uz početne zahtjeve kako bi se osiguralo da brod zadovoljava strukturalne i operativne zahtjeve za tranzit određenog područja leda, ali i kako bi se olakšalo usklađivanje između sposobnosti vlastitog broda i potrebne podrške. Informacije koje su potrebne uključuju:

- naziv broda
- luku registracije

- prisutnost ledenog navigatora, ledenog kapetana, ledenog pilota ili ledenog savjetnika ili je potrebno tražiti takvu osobu
- vrstu broda i opći opis
- bruto i neto tonažu, duljinu, širinu i gaz
- klasu leda, ako je dostupna, i klasifikacijsko društvo
- vrstu pogonske snage, broj propelera, kormila ili propulzora
- snagu motora ili pogonske snage
- brzina u otvorenoj vodi
- teret na brodu
- dostupne radijske frekvencije
- očekivano vrijeme dolaska, planiranu rutu, područje na kojem se može zatražiti ili zahtijevati pomoć [4, p. 285-286]

7.2. Komunikacija s ledolomcem

Komunikacija između ledolomca i pratnje broda od velike je važnosti. Plan plovidbe trebao bi uključivati prijavne točke, metode komunikacije i radio frekvencije. Svi članovi posade trebaju biti upoznati s vizualnim i zvučnim signalima ledolomca, a zapovjednici ledolomaca objasniti će i demonstrirati specifične signale kako bi osigurali da posade brodova budu upoznate s njima. [3. p. 107]

Tablica 4: Signali komunikacije ledolomca i broda kojem ledolomac asistira [15]

Izvor: <https://www.ccg-gcc.gc.ca/publications/icebreaking-deglacage/ice-navigation-glaces/page05-eng.html>

Kod	Instrukcije ledolomca	Odgovori drugoga broda
WM	Podrška ledolomca sada počinje. Koristite signale ledolomca, te konstantno pratite zvučne, vizualne ili radio signale	
A	Naprijed	Idem naprijed
G	Idem naprijed, slijedi me	Idem naprijed, slijedim te
J	Ne slijedi me	Neću te slijediti
P	Uspori	Usporavam
N	Zaustavi stroj	Zaustavljam strojeve
H	Preokreni stroj	Preokrećem stroj
L	Trebao bi zaustaviti brod odmah	Zaustavljam brod
4	Stani, zapeo sam u ledu	Zaustavljam svoj brod
Q	Smanji udaljenost između brodova	Smanjujem udaljenost
B	Povećaj udaljenost između brodova	Povećavam udaljenost
Y	Budi spreman za uzet, odbaciti vučnu liniju	Spreman sam uzeti, odbaciti vučnu liniju
FE	Strani s napredovanjem (odnosi se samo za brodove ispred ledolomca)	Stao sam s napredovanjem
WO	Pomoć ledolomca je gotova. Nastavi svoje putovanje	
5	Pozornost	Pozornost

7.3. KONVOJ

Konzultirajući obalu, zapovjednik ledolomca može formirati konvoj brodova radi plovidbe kroz područje leda. Konvoji se koriste kada nema dovoljno ledolomaca za pratnju svakog broda pojedinačno. Zapovjednik određuje redoslijed brodova u konvoju, a ostali brodovi su odgovorni za održavanje odgovarajućeg razmaka. Ako se uvjeti leda promijene, zapovjednik može promijeniti redoslijed brodova (slika 20). Zapovjednik također može zaustaviti ili promijeniti putanju naprijed ako se pojave neočekivane promjene leda. Crvena rotirajuća svjetla i zvuk roga označavaju da je ledolomac zaustavljen. Minimalna udaljenost između brodova u konvoju određuje se zaustavljanjem broda vožnjom krmom, a maksimalna udaljenost pratnje temelji se na uvjetima leda i vremenu potrebnom za ponovno zaleđivanje staze iza ledolomca. [4, p.286-290]



Slika 20: Brodovi u konvoju

Izvor: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2559398/The-arctic-vortex-came-ice-just-kept-going-Icebreakers-work-toughest-winter-Great-Lakes-completely-frozen.html>

7.4. PRATNJA LEDOLOMCA

Kada započinje pratnja, ledolomac će provjeriti stanje broda koji će pratiti i prikupiti informacije o njegovim karakteristikama. Širina staze koju ledolomac može stvoriti ovisi o njegovoj širini, brzini i koncentraciji leda (slika 21). Udaljenost između ledolomca i pratnje broda određuje se prema minimalnoj udaljenosti na kojoj brod može stati. Redoslijed konvoja ovisi o procjeni zapovjednika ledolomca i uvjetima leda. Pratnja treba održavati zadovoljavajuću udaljenost, a ledolomac će poduzeti radnje poput manevriranja i zaustavljanja. [3, p. 110-111]



Slika 21: Slika je snimljena s ledolomca *Katamai Bay* tijekom pratnje drugog broda

Izvor: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2559398/The-arctic-vortex-came-ice-just-kept-going-Icebreakers-work-toughest-winter-Great-Lakes-completely-frozen.html>

8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu utvrđeno je da navigacija kroz polarna područja i ledene regije predstavlja poseban izazov koji zahtijeva dodatna znanja i specijalnu opremljenost. Praktično iskustvo plovidbe tim opasnim vodama nadmašuje teorijsko znanje. Stoga, su stručno osposobljena posada i brodovi prilagođeni borbi s ledom ključni čimbenici za uspješnost i sigurnost plovidbe u ovim regijama.

Pri početku teksta, osvrtom u povijest plovidbe u ledu dan je uvid u hrabre napore istraživača i pomoraca koji su se odvažili na putovanja kroz ova opasna područja. Ustanovljeno je da ledene površine nisu jedine prepreke za plovidbu, već da i kompleksno međudjelovanje čimbenika kao što su struje, vjetrovi i magla predstavlja ozbiljne izazove za navigaciju. Dok se Antarktičke ljetne temperature kreću od -10°C do -5°C , zimske su prosječne temperature drastično niže između -30°C do -60°C na obalnim područjima, pa i do -70°C u unutrašnjim dijelovima Antarktike. Stoga je znanje i opremljenost broda samo dio planiranja plovidbe kroz led. Fenomen polarnih dana i noći odnosno ekstremno osciliranje sunčevog svjetla dodatno obilježava ova područja opasnim te ima presudan utjecaj na prirodu, ritmove života i atmosfere procese. Bitno za naglasiti je da se približno 90% površine ledenih brjegovala nalazi ispod površine mora, što izaziva dodatnu opasnost za plovidbu. Različite vrste leda, od novog leda do plutajućih ledenih polja, dodatno kompliciraju plovidbu zahtijevajući posebne pristupe i opremu. Otežana navigacija kroz navedena područja stoga zahtijeva precizno planiranje, uzimanje u obzir meteoroloških i klimatskih uvjeta, te neizostavnu upotrebu suvremenih tehnologija poput radara.

Današnje promjene klime dodatno utječu na dinamiku polarnih područja, dovodeći do sve bržeg „otapanja“ leda i promjena u morskim strujama. Iako nam je poznat tragičan slučaj sudara broda "Titanic" s ledenim brjegovom 1912. godine, poboljšanjem pomorskih mjera opasnost od leda danas je ipak smanjena na minimum. Zato su ključni faktori koji omogućuju sigurne plovidbe u navedenim izazovnim uvjetima propisi o ledu, vremenske prognoze te priprema adekvatne opreme, posade, ali i toplinske zaštitne odjeće. Rad s ledolomcima pokazuje koliko je organizacija i podrška bitna za uspješno savladavanje prepreka koje ledena mora postavljaju. Njihov naglašeni kos pramac omogućuje im da se penju po ledenoj površini i lome led koristeći

svoju težinu. Dakle, konvoji i pratnja ledolomaca čine temelj sigurnosti za plovidbu ovim područjima.

Analizom teme plovidbe u ledu može se zaključiti kako ljudska inventivnost, tehnološki napredak i istraživačka strast mogu nadići izazove koje zadaje priroda. Sveobuhvatan pristup plovidbi u ledenim morima nije samo tehničko pitanje, već i dokaz sposobnosti prilagodbe i inovacije u suočavanju s ekstremnim uvjetima u tijeku sve većih globalnih promjena.

LITERATURA

- [1] Borodachev, V. Ye. and Alexandrov v. Yu., History of the Northern Sea Route, chapter 1 in book: O. M. Johannessen, V.Yu. Alexandrov, I.Ye. Frolov, L.P. Bobylev, S. Sandven, L.H.Pettersson, K.Kloster, V.G. Smirnov, Ye.U. Mironov, N.G.Babich, Remote Sensing of Sea Ice in the Northern Sea Route: Studies and Applications (pp.1-23), Springer Praxis BooksEditors, 2007. DOI:10.1007/978-3-540-48840-8_1
- [2] Gelo, B, Opća i pomorska meteorologiju, Sveučilište u Zadru, Odjel za promet i pomorstvo, Zadar, 2010.
- [3] Cap. Snider, D., 2012, Polar ship operations, the nautical institute, London
- [4] House, D, Lloyd, M, Toomey, P, Dickins, D, 2010, The ice navigation manual, Witherby Seamanship International Ltd, Livingstone
- [5] http://repozitorij.fsb.hr/1149/1/30_11_2010_Diplomski_rad_MP.pdf (20.6.2017.)
- [6] <https://nastava.tvz.hr/gukov/pdf/predavanja-beton.pdf> (2019. godina)
- [7] http://skola.gfz.hr/d3_1.htm
- [8] <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C05/E6-178-45-00.pdf> (27.10.2012.)
- [9] [Research_on_Main_Engine_Power_of_Transport_Ship_wi.pdf](#) (9.3.2021.)
- [10] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fsb%3A4200/datastream/PDF/view> (2018. godina)
- [11] <https://johnrieber.com/2021/05/23/worlds-largest-iceberg-a-76-forms-in-antarctica-another-example-of-the-catastrophe-of-global-warming/> (23.5.2021.)
- [12] <https://climatetippingpoints.info/2016/10/21/arctic-sea-ice-and-positive-feedback-loops/> (21.10.2016.)
- [13] <https://www.egu.eu/>
- [14] www.nautinst.org/PSO
- [15] <https://www.ccg-gcc.gc.ca/publications/icebreaking-deglacage/ice-navigation-glaces/page05-eng.html> (22.9.2022)
- [16] <https://earth.nullschool.net/#current/wind/surface/level/orthographic=39.88,40.47,322/loc=-5.193,73.684> (5.9.2023.)

[17] <https://nsidc.org/learn>

[18] https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/Polar%20Code%20Ship%20Safety%20-%20Infographic_smaller_.pdf

[19] <https://ice-glaces.ec.gc.ca/cgi-bin/getprod.pl?prodid=WIS54CT&wrap=1&lang=en>

POPIS SLIKA

Slika 1: Prikaz linija najviše gustoće i točke ledišta, ovisne o temperaturi i salinitetu.

Slika 2: Nilas led

Slika 3: Palačinka led

Slika 4: Prikaz sante leda A-76 i dio antarktičke ledene ploče Ronne od koje se odlomila

Slika 5: Plutajući led na Grenlandu

Slika 6: Brzina vjetra u polarnom području 73.64°N 4.55°W dana 5. rujna 2023 iznosi 32 km/h

Slika 7: Konvergencija zraka u Antarktici

Slika 8: Arktičke struje i Beaufortov vrtlog

Slika 9: Morske struje oko Antarktike

Slika 10: Prosječna pokrivenost leda na Arktiku u razdoblju od 1980. do 2016. Izvor:

Slika 11: Uvjeti zaleđivanja za plovila koja plovo prema vjetru ili su bočno u odnosu na vjetar pri temperaturi mora od +1 °C.

Slika 12: Uvjeti zaleđivanja za plovila koja plovo prema vjetru ili su bočno u odnosu na vjetar pri temperaturi mora od +7°C.

Slika 13: „Polar code“, mjere za zaštitu broda i posade

Slika 14: sažeti popis WMO klasifikacija leda

Slika 15: Primjer tjedne karte leda s koncentracijama leda za Hudsonov zaljev

Slika 16: S lijeva na desno: unutarnji sloj upijajućeg materijala; srednji sloj sprječava gubitak tjelesne topline; vanjski sloj je otporan na vjetar, ali isto tako prozračan.

Slika 17: Svjetlost koja se odbija od morskog leda na oblake poznata je kao (eng. *iceblink*) 'ledeni sjaj'

Slika 18: Radarska slika broda koji plovi u ledu

Slika 19: Preporučena sigurna ruta koja izbjegava velike ledene ploče u ledenom pokrovu prilikom prolaska kroz led.

Slika 20: Brodovi u konvoju

Slika 21: Slika je snimljena s ledolomca *Katamai Bay* tijekom pratnje drugog broda

POPIS TABLICA

Tablica 1: Meteorološki uvjeti u Kanadskom Arktiku

Tablica 2: Klasifikacija ledenih brjegova po veličini

Tablica 3: Faza razvoja morskog leda prema *Svjetskoj meteorološkoj organizaciji*.

Tablica 4: Signali komunikacije ledolomca i broda kojem ledolomac asistira